

Comportamiento térmico de la arcilla cocida en espacios construidos, en el clima cálido semihúmedo de Cúcuta

Thermal performance of baked clay for construction in built spaces, semi-humid climate from Cúcuta

Sanyern Y. Rico-García

Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia)
Facultad de Arquitectura

CITE

Rico-García, S. Y. (2023). Comportamiento térmico de la arcilla cocida en espacios construidos, en el clima cálido semihúmedo de Cúcuta. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 25(1), 158-172. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2023.25.3987>

Arquitecta, Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia)

Maestra en Arquitectura Bioclimática, Universidad de Colima. Colima (México)

Magister en Gerencia de Empresas, mención Finanzas, Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

<https://scholar.google.es/citations?user=8JHqGp8AAAAJ&hl=es&oi=ao>

<https://orcid.org/0000-0001-6645-381X>

sanyernyarelyrg@ufps.edu.co; sanyerngarcia@gmail.com

Resumen

La investigación determina el comportamiento térmico de la arcilla cocida en espacios construidos, mediante el levantamiento de dos módulos independientes sin aperturas y con aislamiento, en las fachadas horizontales (base y cubierta); uno de dichos módulos, con bloque en arcilla cocida N.º 5 de dimensiones 1,66 m 1,66 m h = 1,73 m, y otro, con ladrillo macizo en arcilla cocida, de dimensiones 1,67 m 1,67 m h = 1,73 m, con la aplicación de una variable independiente en mortero 1:4 de 0,015 m de espesor. Se tomó, mediante el registro horario de temperatura y humedad (interior y exterior del módulo), el comportamiento del material en las dos etapas que precisa el clima de Cúcuta; estas son: la temporada de temperaturas altas (25 días) y la de precipitación (29 días). Por ello, el objetivo principal de la investigación fue establecer el comportamiento térmico de los dos productos más usados en el sistema constructivo de mampostería confinada, siguiendo la hipótesis argumentativa de que los dos productos en arcillas ofertados por el mercado responden de forma adecuada a las determinantes climáticas de la ciudad de Cúcuta, por medio del aporte de inercia térmica y amortiguamiento, como estrategia bioclimática de diseño. Por consiguiente, de acuerdo con el análisis de resultados, se concluyó que el módulo construido con bloque N.º 5 responde mejor a las condiciones climáticas de Cúcuta, al mostrar un mejor comportamiento, en comparación al módulo construido en ladrillo macizo.

Palabras clave: bioclima; clima; comportamiento térmico; confort térmico; materiales; simulación

Abstract

The research determines the thermal behavior of baked clay in built spaces through the erection of two independent modules without openings and with insulation on the horizontal facades (base and roof). One of these modules was built with block in fired clay N.º5 of dimensions 1.66 1.66 h = 1.73 m, and the other, with solid baked clay brick of dimensions 1.67 m 1.67m h = 1.73m, with the application of an independent variable in mortar 1:4 of 0.015m thickness. The behavior of the material in the two stages required by the the climate of Cúcuta, was recorded through the hourly recording of temperature and humidity (inside and outside the module): the high temperature season (25 days) and the rainy season (29 days). Therefore, the main objective of the research was to establish the thermal behavior of the two most used products in the construction system of confined masonry, following the argumentative hypothesis that the two clay products offered by the market, respond adequately to the climatic determinants of the city of Cúcuta, through the contribution of thermal inertia and damping, as a bioclimatic design strategy. Consequently, according to the analysis of the results, it was concluded that the module built with block N.º5 responds better to the climatic conditions of Cúcuta, showing a better performance compared to the module built in solid brick.

Keywords: bioclimate; climate; materials; simulation; thermal behavior; thermal comfort

AMORTIGUAMIENTO
BIOCLIMA MAMPOSTERÍA
CÚCUTA **COMPORTAMIENTO**
CONDICIONES CLIMÁTICAS **TÉRMICO**
CHIPÓTESIS LADRILLO MACIZO
ARCILLA COCIDA
SIMULACIÓN



<http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2022.25.3987>

Recibido: abril 1 / 2021 Evaluado: junio 7 / 2022 Aceptado: octubre 10 / 2022

Introducción

La industria que trabaja con los productos derivados de la arcilla hace un importante aporte a la economía nacional, ya que Colombia es pionera en este mercado y se encuentra posicionada en la escena mundial. Su sector más representativo es el departamento de Norte de Santander, por lo que la implementación de los productos de construcción ofertados por la industria tiene gran acogida en el departamento; especialmente, en la ciudad capital: San José de Cúcuta.

El uso de la arcilla en la construcción se ve fortalecido por la experiencia a lo largo de los años en el oficio, lo cual expande las posibilidades de uso; sin embargo, aunque la acotación es positiva, dentro de esta cabe resaltar que el uso de los productos cerámicos se implementa bajo la mismas condiciones constructivas en todos los subclimas del país, demostrado ello por los datos de participación de la industria cerámica en el mercado nacional, con el 95,5% (Sánchez Molina et al., 2017), por lo que es clave analizar el comportamiento térmico de la arcilla cocida; sobre todo, en el clima cálido semihúmedo de Cúcuta, donde se encuentra la mayor concentración de ladrilleras del departamento, con una participación del 69% (Sánchez & Ramírez, 2013), y por ende, el mayor flujo de productos de arcilla en construcción; cabe considerar, además, que los productos de mayor oferta para mampostería son el bloque en arcilla cocida N.º 5, con el 77,3%, y el ladrillo, con el 31,8% (Sánchez Molina et al., 2017).

Por otro lado, en el diagnóstico climático de Cúcuta se destacaron dos etapas con variables climáticas para considerar en esta investigación. La 1 es la de altas temperaturas. La etapa 2 es la de precipitación; esto, con el fin de evaluar el comportamiento térmico de los productos bloque en arcilla cocida N.º 5 y del ladrillo de obra macizo bajo una variable específica que supone una alteración en las condiciones de temperatura interior. Dicha alteración consistió en el mortero 1:4 (pañete), debido a su uso específico para pañetes finos, de acuerdo con la Universidad Nacional de Colombia (s.f.).

Metodología

Materiales

Para la construcción experimental de la investigación se toman en cuenta dos productos cerámicos ofertados por el mercado (variable entre módulos): el bloque en arcilla cocida N.º 5 y el ladrillo macizo en arcilla cocida, con medidas estándar de producción promedio, por las ladrilleras de Norte de Santander. Para el bloque en arcilla cocida N.º 5, las medidas son: 0,30 m 0,12 m 0,20 m, con paredes de espesor de 0,007 m y una densidad de 750 kg/m³, como se muestra en la figura 1.

Para el caso del ladrillo macizo en arcilla cocida, la parte formal de este es bastante convencional: un prisma rectangular de dimensiones 0,23 m 0,11 m 0,06 m, con una densidad de 2.305 kg/m³, como se muestra en la figura 2.

Así mismo, de acuerdo con la metodología de la investigación experimental, se opta por aplicar una variable independiente, la cual es la variable de *revestimiento*, que hace referencia a la acción de cubrir un material para proteger o adornar.

En el sistema de construcción convencional de la ciudad de San José de Cúcuta, el revestimiento de pañete (mortero), estuco y pintura goza de reconocimiento en la imagen de la ciudad, debido a que es un sistema moldeable a la necesidad de plástica puntual, y que hace parte de una identidad cultural creada por y para el usuario.

Pañete

El mortero, o pañete, es una mezcla de cemento, arena y agua. De acuerdo con el porcentaje que dicha mezcla tenga de cada material, es su dosificación y, por ende, su uso.

El mortero empleado para la investigación fue 1:4, como se muestra en la tabla 1, lo que, según la Universidad Nacional de Colombia (s.f.), responde a la dosificación una parte de cemento y cuatro partes de arena, con una estimación del 9% de agua.

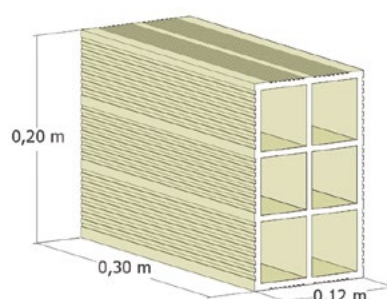


Figura 1. Medidas estándar del bloque de arcilla N.º 5. Fuente: elaboración propia (2020).

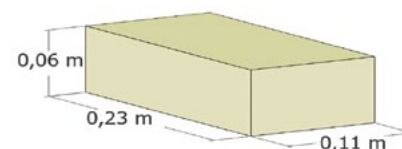


Figura 2. Medidas estándar del ladrillo de obra macizo. Fuente: elaboración propia (2020).

Mortero	Usos
1:1	Para rellenos; mortero muy rico para impermeabilizaciones.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos; también para rellenos.
1:3	Para impermeabilizaciones menores; también para pisos.
1:4	Como pega para ladrillos en muros y baldosines; también para pañetes finos.
1:5	Para pañetes exteriores; también como pega para ladrillos y baldosines, para pañetes y mampostería en general, y para pañetes muy finos.
1:6 y 1:7	Para pañetes interiores; también como pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general, y para pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Como pegas para construcciones que se van a demoler pronto; también para estabilización de taludes en cimentaciones.

Tabla 1. Dosificación y uso del mortero.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia, (s.f.).

Método

El diseño de los módulos prioriza la medición de las fachadas verticales expuestas a radiación solar; sin embargo, también se consideró importante el aislamiento térmico e impermeabilización de la cubierta, así como el aislamiento térmico, impermeabilización y suspensión de la losa; siendo estas fachadas horizontales que pese a ser una constante en la investigación, se les dio el debido tratamiento por medio de unos paneles tipo sándwich, como se muestra en las figuras 3 y 4, para optimizar los resultados de medición de las fachadas objetivo.

El *aislamiento térmico* es la capacidad que tiene un material para resistir el paso de energía por conducción, evaluada así por la resistencia térmica del material y su transmitancia (valor U). Según el Ministerio de Vivienda (2015), en el anexo N.º1 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía de Colombia, el *valor U* es la transmisión de calor en unidad de tiempo, a través de una unidad de área de un material o una construcción (las unidades de valor U son W/m^2C , Derivado de ASHRAE 90.1-2004). Mientras más bajo el valor U, mayor es la resistencia de un material al flujo de calor, y mejores, sus propiedades aislantes.

De igual forma, la *impermeabilización* y la *suspensión*, como se muestra en las figuras 5 y 6, se toman como estrategia para evitar la filtración de agua por cubierta y losa, además de permitir

el flujo de aire y evitar ganancia de energía por conducción y radiación, entre el módulo y el lugar donde se implanta dicha losa (superficie o terreno).

Para el diseño de la cubierta y losa de los módulos, se calculó la conductancia superficial exterior e interior, con las fórmulas: $h_o = 5,8 + 4.1 V$, y: $h_i = h_o/3$ (Szokolay), donde h_o es exterior W/m^2C ; h_i es interior W/m^2C y V es velocidad del aire, como se muestra en la tabla 2.

La velocidad de aire tomada para el cálculo de conductancia superficial fue la corregida por rugosidad del terreno y altura propuesta por Fuentes Freixenet, (2004).

Cálculo de la cubierta

El diseño de la cubierta consta de un sistema tipo sándwich de tablero de madera MDF, poliestireno expandido de densidad media, y tablero de madera MDF (sándwich impermeabilizado), con una sobrecubierta en lámina de zinc.

Mediante la hoja de cálculo de sistemas de cubiertas (Herrera Sosa, s.f.), se obtuvo un valor de transmitancia (U) de $0,80 m^2C/W$, y una resistencia (R) de $1,24 W/m^2C$, considerando las propiedades térmicas expuestas por los autores citados en la hoja de cálculo; en especial, el valor de conductancia tomado en unidad de medida $K = W/m^2C$.

- Zinc (ISO 10456 DB, s.f.).
- Fibra de madera MDF (Rosales DB, s.f.).
- Madera de pino (Rosales DB, s.f.).
- Poliestireno expandido de densidad media (Uralita DB, s.f.).

Cálculo de la losa

El diseño de la losa consta de un sistema tipo sándwich de tablero de madera MDF, poliestireno expandido de densidad media, tablero de madera MDF y una placa delgada de mortero (sándwich impermeabilizado), para facilitar la adherencia de la primera hilada de las piezas en arcilla.

El diseño se elaboró mediante la hoja de cálculo de sistemas de cubiertas (Herrera Sosa, s.f.), donde se obtuvo un valor de transmitancia (U) de $0,80 m^2C/W$ y una resistencia (R) de $1,25 W/m^2C$, considerando las propiedades térmicas expuestas por los autores citados en la hoja de cálculo.

- Mortero (ISO 10456 DB., s.f.).
- Fibra de madera MDF (Rosales DB., s.f.).
- Madera de pino (Rosales DB., s.f.).
- Poliestireno expandido de densidad media (Uralita DB., s.f.).

Tipo de aparejo de la envolvente

El tipo de aparejo usado en la construcción de los módulos fue el aparejo de panderete, como se muestra en la figura 7, y el cual se va formando por ladrillos colocados en canto en su dirección más larga, unidos con mortero de cemento 1:4

Figura 3. Corte de cubierta con medidas en metros. Composición de sistema tipo sándwich.
Fuente: elaboración propia (2020).

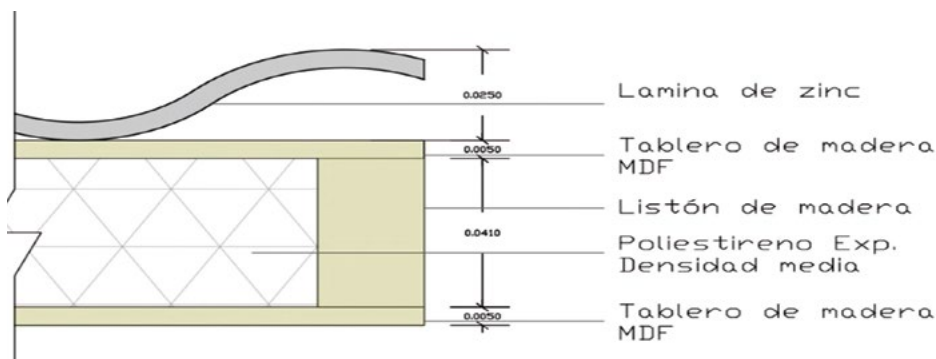
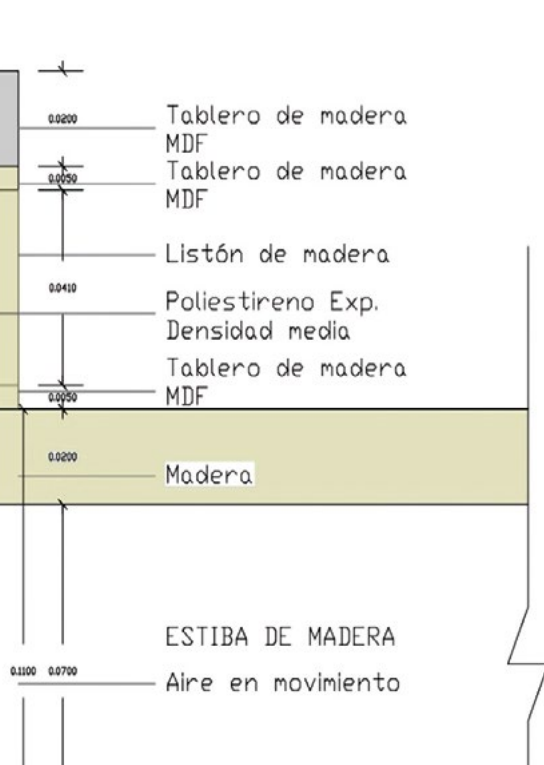


Figura 4. Corte de losa con medidas en metros. Composición del sistema tipo sándwich.
Fuente: elaboración propia (2020).



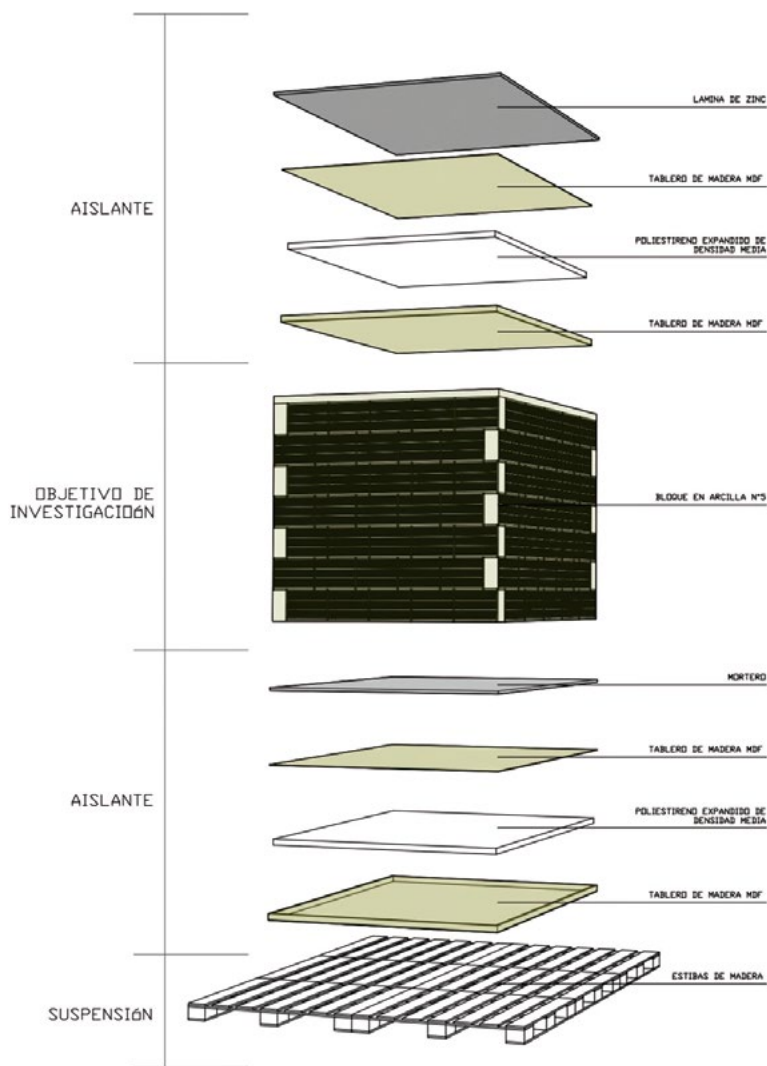
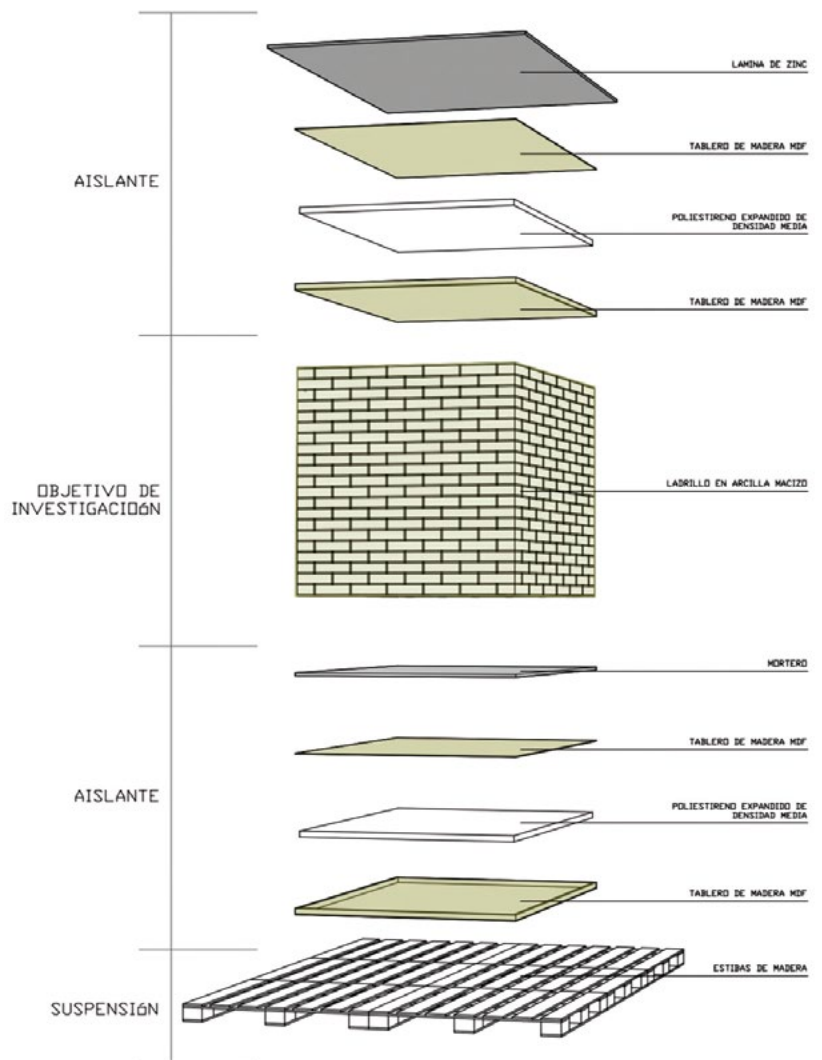


Figura 5. Despiece de módulo construido en bloque de arcilla N.º 5. Fuente: elaboración propia (2020).

Figura 6. Despiece de módulo construido en ladrillo de arcilla macizo. El diagrama muestra una sección vertical de un módulo de construcción con las siguientes capas desde arriba hacia abajo: una lamina de zinc, un tablero de madera HDF, una capa de poliestireno expandido de densidad media, otro tablero de madera HDF, un ladrillo de arcilla macizo, mortero, otro tablero de madera HDF, otra capa de poliestireno expandido de densidad media, un tercer tablero de madera HDF, y finalmente estibas de madera que sirven como suspensión.



(CONSTRUMÁTICA, 2010), con una junta de 0,010m establecida según la norma NSR-10 (1997), Título D, Capítulo D.4.- Requisitos constructivos para mampostería estructural.

Para tener una referencia de las propiedades de cada uno de los productos de arcilla usados (solos y con la aplicación de la variable), se elaboró el diseño del material mediante la hoja de cálculo de sistemas de muros (Herrera Sosa, s.f.), donde se obtuvo un valor de transmitancia (U) y un valor de resistencia (R).

Bloque en arcilla cocida N.º 5

El cálculo de transmitancia (U) y de resistencia (R) se hizo a partir del producto bloque en arcilla cocida N.º 5, considerando que este representa el 91,2% por cada cara de la envolvente; además, se lo considera uno de los principales materiales en el sistema constructivo de mampostería confinada.

Para el diseño se adoptaron las propiedades térmicas expuestas por los autores citado en la hoja de cálculo de (Herrera Sosa, s.f.): bloque en arcilla cocida N.º 5, ladrillo cerámico (Monroy, s.f.), y Aire, Air Gap 50 mm (ISO/WD 6946).

Con los cálculos realizados sin la aplicación de la variable, se obtuvo un valor de transmitancia (U) de 2,062 m²C/W y una resistencia (R) de

Velocidad del viento		
Por rigurosidad del terreno <i>Norte-Sur Promedio</i>	Por corrección de altura	ho - hi
$V_{ref} = A_0 \cdot V_{met}$	$VH = V_{met} \left(\frac{S_{met}}{H_{met}} \right)^{\alpha} \left(\frac{H}{\delta} \right)^{\alpha}$	$h_o = 5,8 + 4,1 \times V$
Contexto zona urbana de 3-6 niveles		$h_o = 18,1289 \text{ W/m}^2\text{C}$
$OA_0 = 0,16$	$S_{met} = 300$	$\delta = 300$
$V_{met} = 4,4$	$H_{met} = 4,4$	$\alpha = 0,3$
	$\alpha_{met} = 0,1$	$h_i = h_o/3$
Total = 2,024 m/s	H = 15,4	ho = 6,04W/m²C

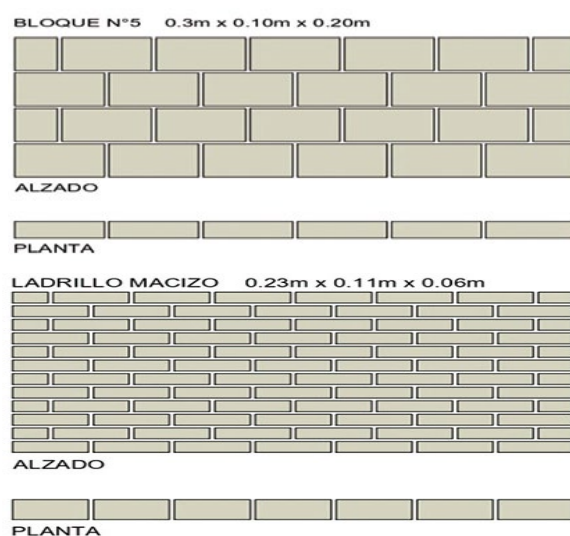


Tabla 2. Cálculo de conductancia superficial exterior e interior. Fuente: fórmulas de corrección expuestas en el libro *Clima y arquitectura* (Fuentes Freixenet V., 2004). Fórmula de conductancia superficial de Szokolay, citada por Herrera Sosa L. (s.f.).

Figura 7. Aparejo panderete. Fuente: elaboración propia (2020).

0,485 W/m²°C, y con la aplicación de la variable se obtuvo un valor (U) de 2,013 m² °CW y un valor (R) de 0.497 W/ m²°C.

Ladrillo macizo de arcilla cocida

El cálculo de transmitancia (U) y de resistencia (R) se hizo a partir del producto ladrillo macizo en arcilla cocida, considerando que este representa el 81,8% por cada cara de la envolvente; además, se lo considera uno de los principales materiales en el sistema constructivo de mampostería confinada.

Para el diseño se tomaron en cuenta las propiedades térmicas expuestas por los autores citados en la hoja de cálculo de (Herrera Sosa, s.f.): ladrillo macizo en arcilla cocida, o ladrillo de arcilla común.

Con los cálculos realizados sin la aplicación de la variable, se obtuvo un valor de transmitancia (U) de 2,844 m²°C/W y una resistencia (R) de 0,352 W/m²°C. Y con la aplicación de la variable se obtuvo un valor (U) de 2,727 m²°C/W y un valor (R) de 0,367 W/m²°C.

Isometría de los módulos

El módulo en bloque en arcilla cocida N.º 5 tiene unas dimensiones de 1,66 m × 1,66 m × 1,66 m, mientras que el módulo en ladrillo macizo de arcilla cocida tiene unas dimensiones de 1,67 m × 1,67 m × 1,73 m; una diferencia que se da por las dimensiones promedio de los productos ofertados en el mercado.

Estudio de sombras

Para la ubicación *in situ* de los módulos se hizo un análisis de sombras, con el objetivo de no tener obstrucciones naturales ni construidas que pudieran generar alteraciones en la toma de datos.

Los ángulos solares se tomaron con base en la carta solar de Cúcuta, ubicada en el hemisferio norte, a una latitud promedio de 7,9°, y considerando para el análisis los días 21, de los meses de junio (solsticio de verano), septiembre (equinoccio de otoño) y diciembre (solsticio de invierno), con la finalidad de entender el recorrido solar de los días previos y posteriores al de referencia para el análisis. Siendo así, para precisar la distancia entre módulos se toma el ángulo solar de las horas con irradiancia en un plano vertical que no supere los 400 w/m² en las fachadas norte y sur, ni en las fachadas este y oeste, los 300 W/m².

Como resultado del estudio de sombras se obtiene que la separación entre los módulos deberá ser de 4,10 m; dicha distancia es la proyección de sombra del ángulo más bajo analizado con base en los criterios ya expuestos.

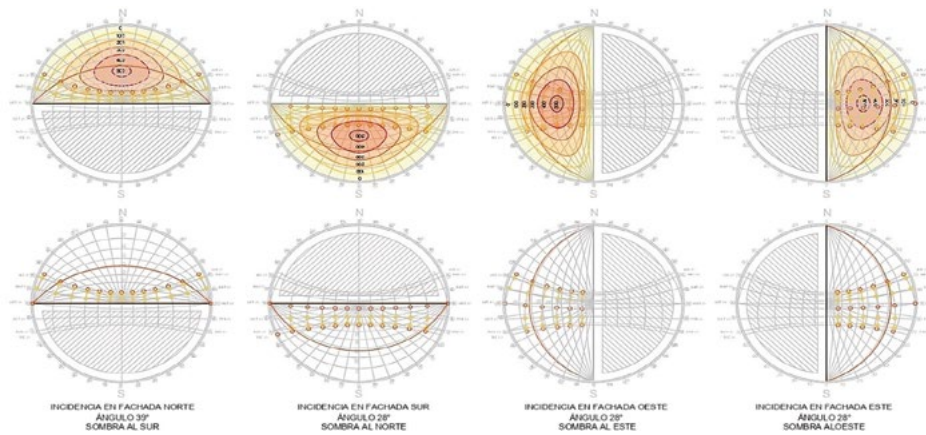
De acuerdo con lo anterior, la ubicación de los módulos se hace en orientación norte-sur, con una distancia entre ellos de 5,50 m, que resulta ser superior a los 4,10 m calculados.

Criterios de medición

En Cúcuta se evidencian dos variables climáticas. Una de ellas es la etapa A (periodo de temperaturas altas). Otra es la etapa B (periodo

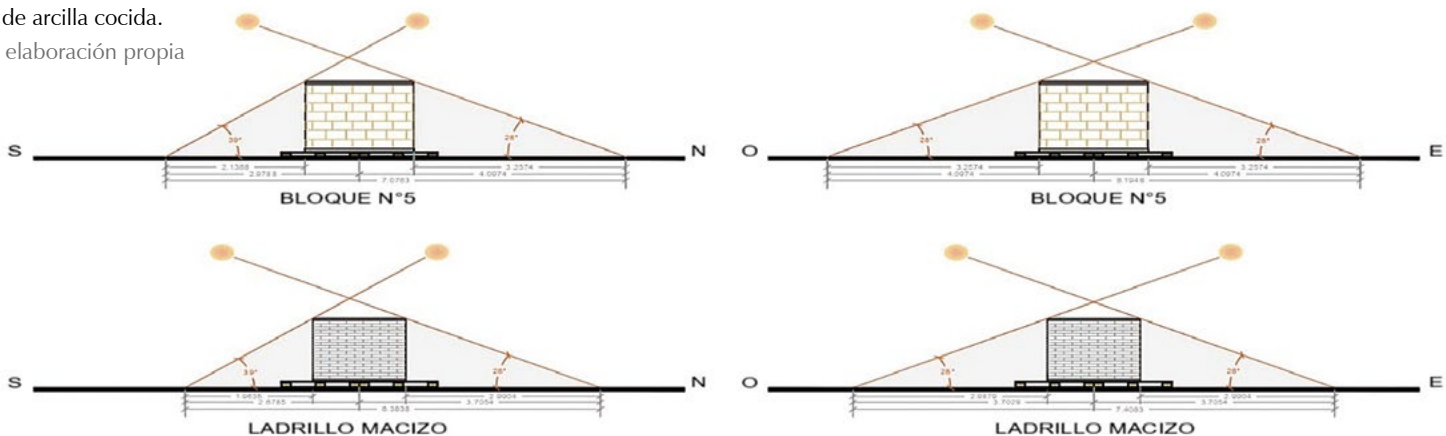
➤ Figura 8. Análisis de carta solar.

Fuente: elaboración propia (2020).



▼ Figura 9. Estudio de sombras en el módulo en bloque de arcilla cocida N.º 5, y en el módulo de ladrillo macizo de arcilla cocida.

Fuente: elaboración propia (2020).



Temperatura						
Meses	Máxima promedio (°C)	Promedio (°C)	Mínima promedio (°C)	Máxima extrema (°C)	Mínima extrema (°C)	Oscilación (°C)
Enero	31,1	26,4	20,7	38,5	16,6	10,4
Febrero	31,4	26,7	21,0	38,5	16,0	10,4
Marzo	31,7	27,2	21,8	39,0	18,0	9,9
Abril	31,8	27,3	22,2	40,5	18,0	9,6
Mayo	32,8	28,0	22,6	41,0	18,0	10,2
Junio	32,7	28,1	23,0	40,5	17,4	9,7
Julio	32,9	28,2	22,8	41,0	18,4	10,1
Agosto	34,0	28,7	23,0	42,5	18,0	11
Septiembre	34,3	28,8	22,8	42,5	18,6	11,5
Octubre	33,3	28,0	22,1	39,6	18,0	11,2
Noviembre	32,1	27,1	27,1	38,0	17,6	10,4
Diciembre	31,2	26,5	21,1	38,5	16,8	10,1
Promedio	32,44	27,58	22,07	40,01	17,62	10,38

☞ Tabla 3. Tiempo de medición del periodo A.

Fuente: elaboración propia (2020), con base en datos del IDEAM (1975-2015) y análisis basado en hoja de cálculo Biclimateq de Gómez Azpeitia, (2016).

☝ Tabla 4. Tiempo de medición del periodo B.

Fuente: elaboración propia (2020), con base en datos del IDEAM (1975-2015).

de precipitación). En ambas se evidencian *fenómenos climáticos* que son dignos de tener en cuenta para optimizar los resultados que se esperan para el presente estudio.

Etapa A (temperaturas altas)

La temperatura promedio anual en Cúcuta es de 27,58 °C; sin embargo, agosto y septiembre registran una temperatura media mensual que supera los 28,5 °C, como se muestra en la tabla 3. Dichos meses demarcan, pues, una variable “fenómeno”, que para el presente estudio supone una diferencia digna de consideración para optimizar resultados.

Etapa B (precipitación)

Cúcuta es considerada por la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en Colombia una ciudad con un clima cálido semihúmedo, donde la precipitación anual es de 731,60 mm, como se muestra en la tabla 4. En esta ciudad, durante octubre y noviembre se evidencia el 30,37% de su precipitación anual.

Lugar y periodo del estudio en campo

El terreno del estudio se encuentra ubicado a una altitud de 387 msnm, una latitud de 7.86° N y una longitud de -72,49° O. El criterio de elección fue la ausencia de obstrucción construida o natural que interfiriera con los resultados de la medición, como se muestra en la figura 10.

El estudio se llevó a cabo durante 2018, en dos etapas. Una de ellas fue la Etapa 1 (A. Periodo de altas temperaturas). La segunda fue la Etapa 2 (B. Periodo de precipitación). Así mismo, cada una de las etapas fue estructurada en dos pasos. El primero considera la medición pre-post, que es la medición de los módulos antes de aplicar la variable revestimiento. El segundo paso fue la

Precipitación				
Meses	Días con lluvia (N.º)	Total, en un mes (mm)	Máximo en 24 horas (mm)	Evaporación
Enero	7	45,5	21,6	153,1
Febrero	7	34,9	17,5	147,9
Marzo	8	49,6	21,9	158,5
Abril	10	91,5	34,1	157,7
Mayo	11	74,2	31,5	188,6
Junio	12	35,0	12,8	213,7
Julio	12	30,0	10,1	241,4
Agosto	10	32,5	14,0	253,0
Septiembre	10	54,6	22,7	219,7
Octubre	13	111,9	37,7	180,0
Noviembre	12	110,3	39,2	140,0
Diciembre	8	61,6	16,2	137,8
Promedio	120	731,6	279,3	2190,4



Ⓐ Figura 10. Lugar de medición.

Fuente: Google Earth (2020).

medición post-post, que es la medición de los módulos después de aplicar la variable de revestimiento, como se muestra en la tabla 5.

Construcción de los módulos

En las etapas de construcción, se orientaron los módulos norte-sur, con la ayuda de una brújula de norte magnético, sobre unas estibas de madera, como se muestra en la figura 11.

Por otro lado, la estación meteorológica fue ubicada en el centro de los dos módulos, a una altura de 2,50 m; esta medida fue tomada bajo el criterio de propiciar seguridad, además de ser una indicación suministrada por el manual de uso del equipo; así mismo, se construyó un contenedor en ladrillo con puerta metálica, a una distancia de 1,20 m, paralelo (en planta) a la ubicación de la estación, con el objetivo de proteger la consola de las condiciones climáticas exteriores.

Equipos implementados

Para las mediciones de campo en el exterior, se tomó en cuenta la lectura de las variables de temperatura, humedad y precipitación, por lo que bajo esos criterios y las condiciones a las cuales iba a ser expuesto el equipo, se eligió una estación meteorológica Vantage Vue USB, de marca Davis, debido al cumplimiento de los criterios de búsqueda mencionados.

La estación meteorológica contaba con sensores incorporados para medir la precipitación, la velocidad y la dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa y la presión barométrica, con rangos de medición para temperatura exterior de 40 °C-65 °C, humedad exterior del 0%-100%, precipitación de 0-6553 mm, velocidad del viento de 1 Km/Hr-320 Km/Hr y dirección del viento de 0°-360°.

Por otro lado, para las mediciones en campo en el interior de los módulos, se tuvo en cuenta

la lectura de las variables de temperatura y humedad, para dos fachadas del módulo (norte y al este), por lo cual, bajo esos criterios de búsqueda y las condiciones a las que iba a ser expuesto el equipo, se eligió los HOBO Datalogger de temperatura/Hr marca Onset, con dos canales externos U12-013.

Las especificaciones técnicas del *datalogger HOBO* fueron:

- Rangos de medición:
 - Temperatura: -20 °C-70 °C;
 - HR: 5 %-95 %.
 - Precisión:
 - **Temperatura: ±0,35 °C (0 °C-50 °C).**
 - **HR: ±2,5 % (10%-90 % HR).**
 - Resolución:
 - Temperatura: 0,03 °C.
 - HR: 0,05 %.
 - Vida de la batería: Aproximadamente, un año.
 - Memoria: 64 Kilobytes.
 - Peso: 46 g.
- Finalmente, las especificaciones técnicas de los dos sensores de temperatura para aire/agua/suelo TMC6-HD, de la Marca Onset, son:
- Rango de medición:
 - -40 °C-50 °C (en agua).
 - -40 °C-100 °C (en aire).
 - Precisión: ±0,25 °C (0 °C-50 °C), en series U12.
 - Resolución: 0,03 °C-20 °C, en series U12.
 - Tiempo de respuesta: 2 minutos (en aire) y 30 segundos (en agua).
 - Longitud de cable: 1,8 m.
 - Peso: 34 g.

Tabla 5. Periodo experimental (en campo). Fuente: elaboración propia (2020).

Etapas	Etapa 1										Etapa 2									
	Agosto				Septiembre						Octubre				Noviembre					
	1	22	24	1	4	17	25	1	4	17	25	1	4	17	25	3	16	23	30	
Construcción del módulo.	■																			
Medición de prueba.		■																		
Medición pre-post.			■																	
Construcción de la variable revestimiento.				■																
Medición de la variable pañete.					■															
Construcción del módulo.												■								
Medición de prueba.													■							
Medición pre-post.														■						
Construcción de la variable revestimiento.															■					
Medición de la variable pañete.																■				

Resultados

Metodología de evaluación

Todos los datos obtenidos durante cada etapa de monitoreo fueron graficados y recolectados en tablas, para analizar de manera general e individual el comportamiento de cada uno de los módulos y los datos del entorno.

Para el análisis de los datos obtenidos, se simplificó la información por medio de los periodos estructurados en la metodología del diseño experimental, donde se obtuvieron datos de temperatura y humedad del interior de cada módulo, y datos de temperatura, humedad y precipitación del entorno, los cuales fueron correlacionados.

De cada periodo (etapa 1 [temperaturas altas] y etapa 2 [precipitación]) se tomaron dos días representativos, previamente a la aplicación de la variable (PRE-V), y con posterioridad a la aplicación de la variable (POST-V), donde, a su vez, se calculó la relación de diferencia de temperatura, por sus siglas en inglés (TDR), propuesta por Givoni en el 2002, citado por Marnich et al. (2010), la cual se usa para comparar sistemas de enfriamiento pasivo con diferentes configuraciones y calculado mediante la fórmula: $TDR = (T_{maxout} - T_{maxin}) / (T_{maxout} - T_{minout})$, la cual fue aplicada por cada fachada vertical interior de los módulos.

Determinación del día representativo

El día representativo (RD, por sus iniciales en inglés) definido por Esparza López (2015), es aquel cuyo comportamiento de temperatura y humedad son lo más parecido al comportamiento de un lapso determinado, que en este caso es cada periodo. Por lo tanto, RD es aquel cuya diferencia de temperatura media más la diferencia de su oscilación térmica es lo más cercano a cero, y la cual es calculada mediante la siguiente fórmula:

$$DR = (T_{mdiaría} - T_{mtemporada}) + (OscT_{mdiaría} - OscT_{mtemporada}) = 0Ec.$$

Según Esparza López (2015), se deben tomar los registros climáticos históricos. En el presente

estudio, los datos fueron tomados de la estación meteorológica del aeropuerto Camilo Daza, de Cúcuta (IDEAM, 1975-2015), donde se establecen, por cada periodo analizado, la temperatura media y la oscilación normalizada, que serán la referencia para seleccionar el RD de cada periodo.

En la etapa 1 (periodo de temperaturas altas), la temperatura media normalizada es de 28,6 °C, y la oscilación es de 11,25 °C. Para la etapa 2 (periodo de precipitación), la temperatura media normalizada es de 27,4 °C y la oscilación normalizada es de 10,8 °C, como se muestra en la tabla 6.

El RD no siempre es 0, según se muestra en la tabla 7, por lo cual se observa que el 30 de agosto y el 13 de noviembre de 2018 el RD es uno (1); así mismo, no se tomaron en cuenta el 22 ni el 23 de agosto, ni del 1 al 3 de septiembre de 2018, ya que en esos días estaba en construcción la variable de revestimiento (pañete, mortero 1:4) en los módulos.

Etapa 1. A. Temperaturas altas

Esta etapa va del 1 de agosto al 15 de septiembre de 2018, y se divide en dos periodos: periodo previo a la aplicación de la variable (PRE-V) y periodo posterior a la aplicación de la variable (POST-V), como se muestra en la tabla 5.

Figura 11. Construcción de módulos.

Fuente: elaboración propia (2020).



	Etapa 1 (periodo de altas temperaturas)			Etapa 2 (periodo de precipitación)		
	Ago.	Sept.	Promedio	Oct.	Nov.	Promedio
Histórica máxima	42,5	42,5	42,5	39,6	38,0	38,8
Máxima	34,0	34,3	34,2	33,3	32,1	32,7
Normal	28,7	28,8	28,8	28,0	27,1	27,5
Mínima	23,0	22,8	22,9	22,1	21,7	21,9
Histórica mínima	18,0	18,6	18,3	18,0	17,6	17,8
Media normalizada	28,6	28,6	28,6	27,8	27,0	27,4
Oscilación histórica	30,3	30,5	30,4	28,8	27,8	28,3
Oscilación normalizada	11,0	11,5	11,3	11,2	10,4	10,8

Tabla 6. Referencia de temperatura media y oscilación normalizada.

Fuente: elaboración propia, con base en el registro de datos del IDEAM (1975-2015).

Paso 1. Periodo previo a la aplicación de la variable (PRE-V)

En este periodo, después de construidos los módulos, se hace una medición, la cual va del 22 al 31 de agosto de 2018, y cuyo registro fue programado tanto en la estación como en el interior de cada módulo para empezar a las 11:00 p. m. del 20 de agosto de 2018, como se muestra en la figura 12.

De acuerdo con la tabla 7, en el periodo PRE-V el día representativo fue el 30 de agosto de 2018, con un $RD = 1$, cuando la temperatura promedio exterior fue de 29,3 °C, con una oscilación de 11,3 °C; la temperatura promedio en el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.° 5 fue de 31,7 °C en la cara norte, con una oscilación de 12,6 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 31,8 °C, con una oscilación de 11,9 °C. Así mismo, la temperatura del interior del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida dio un promedio de 32,2 °C en la cara norte, con una oscilación de 11,1 °C, y en la

cara este, una temperatura promedio de 32,2 °C, con una oscilación de 12,8 °C, como se muestra en la figura 13.

En la correlación exterior e interior de los módulos en las caras norte y este del periodo (PRE- V), vemos cómo los resultados son superiores a 0.7, como se muestra en la tabla 8; ello indica una correlación positiva; es decir, aunque no es una correlación positiva perfecta (=1), sí se puede apreciar la dependencia entre las temperaturas exterior e interior; sin embargo, en el interior del módulo en ladrillo macizo (cara este), el coeficiente de determinación (r^2) es de 0,43; es decir, el 43% en la variabilidad del rendimiento, como se muestra en la figura 14.

Paso 2. Periodo posterior a la aplicación de la variable (POST-V)

Esta medición se llevó a cabo del 4 al 15 de septiembre de 2018, como se muestra en la figura 15.

De acuerdo con la tabla 7, en el periodo POST-V el día representativo fue el 10 de septiembre de 2018, con un $RD = 0$, y cuando la temperatura promedio exterior fue de 29,5 °C, con una oscilación de 10,6 °C. La temperatura promedio en el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.° 5 fue de 31,9 °C en la cara norte, con una oscilación de 15,4 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 33,0 °C, con una oscilación de 14,8 °C. Así mismo, la temperatura del interior del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida dio un promedio de 33,1 °C en la cara norte, con una oscilación de 12,9 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 32,118 °C, con una oscilación de 13,8 °C, como se muestra en la figura 16.

En la correlación exterior e interior de los módulos en las caras norte y este durante el periodo POST-V, vemos cómo los resultados superan al 0,7, como se muestra en la tabla 9, lo cual indica una correlación positiva; es decir, aunque no es una correlación positiva perfecta

Tabla 7. RD por etapa.
Fuente: elaboración propia (2020).

Periodo	Fecha	T. Máx.	T. Med.	T. Mín.	Osc.	RD	
Etapa 1 (Temp. altas)	Pre- V	30/08/2018	35,3	29,3	24,0	11,3	1
	Post- V	10/09/2018	34,4	29,5	23,8	10,6	0
Etapa 2 (Temp. altas)	Pre- V	31/10/2018	32,9	27,3	22,1	10,8	0
	Post- V	13/11/2018	32,6	26,7	21,8	10,8	1



Figura 12. Etapa 1. Meses de temperaturas altas (PRE-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

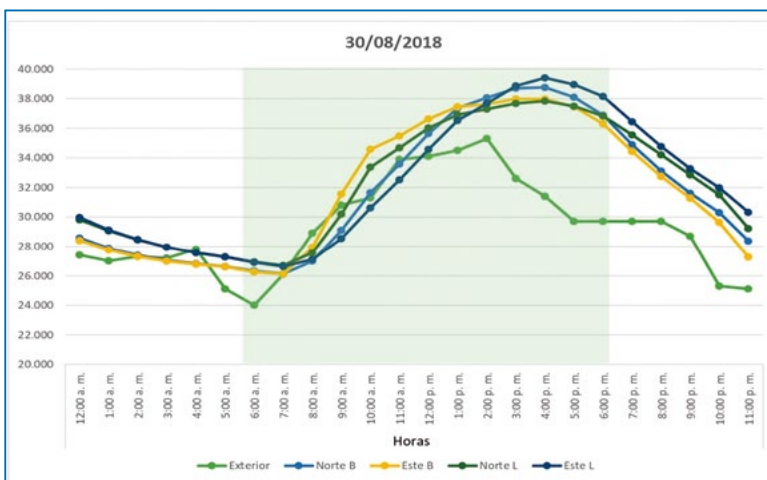


Figura 13. Etapa 1. RD del PRE-V.
Fuente: elaboración propia (2020).

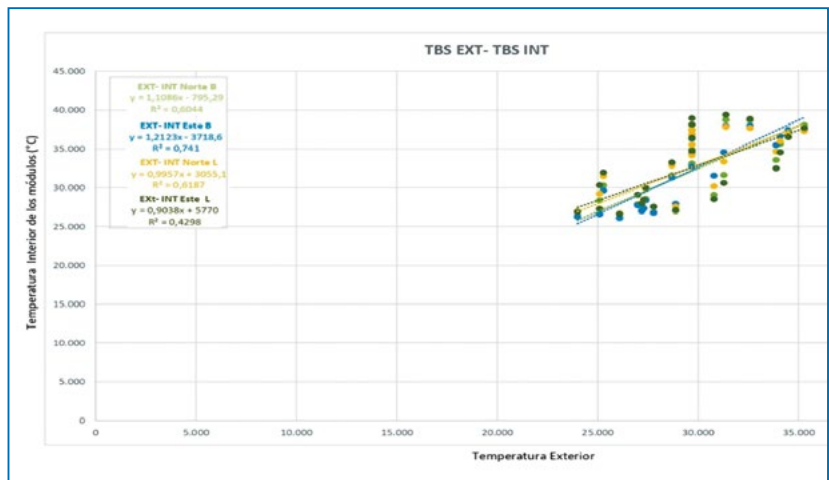


Figura 14. Etapa 1. Correlación entre exterior e interior de los módulos (PRE-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

(=1), sí se puede apreciar la dependencia entre las temperaturas exterior e interior, y donde, en el interior del módulo en ladrillo macizo (cara este), el coeficiente de determinación (r^2) es de 0,43; es decir el 43% en la variabilidad del rendimiento, como se muestra en la figura 17; o sea, datos similares a los del periodo PRE-V.

Etapa 2. B. Meses de precipitación

Esta etapa va desde del 2 de octubre al 14 de noviembre de 2018, y se divide en dos periodos: periodo previo a la aplicación de la variable (PRE-V) y periodo posterior a la aplicación de la variable (POST-V), como se muestra en la tabla 5.

Paso 1. Periodo previo a la aplicación de la variable (PRE-V)

La construcción del módulo se llevó a cabo entre el 2 y el 16 de octubre de 2018, periodo en el que se desmontaron los módulos anteriores, se adecuó el terreno y se construyeron nuevamente los módulos.

La medición se llevó a cabo del 17 al 31 de octubre de 2018, y su registro fue programado tanto en la estación como en el interior de cada módulo, para empezar a las 11:00 p. m. del 15 de octubre, como se muestra en la figura 18.

De acuerdo con la tabla 7, en el periodo PRE-V el día representativo fue el 31 de octubre de 2018, con un $RD = 0$, cuando la temperatura promedio exterior fue de $27,3\text{ }^\circ\text{C}$, con una oscilación de $10,8\text{ }^\circ\text{C}$; la temperatura promedio en el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 fue de $29,8\text{ }^\circ\text{C}$ en la cara norte, con una oscilación de $10,8\text{ }^\circ\text{C}$, y en la cara este,

Tabla 8. Etapa 1. Coeficiente de correlación (PRE-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

Coeficiente de correlación				
	Int. Norte B	Int. Este B	Int. Norte L	Int. Este L
Exterior	0,8	0,9	0,8	0,7

Coeficiente de correlación				
	Int. Norte B	Int. Este B	Int. Norte L	Int. Este L
Exterior	0,8	0,9	0,9	0,7

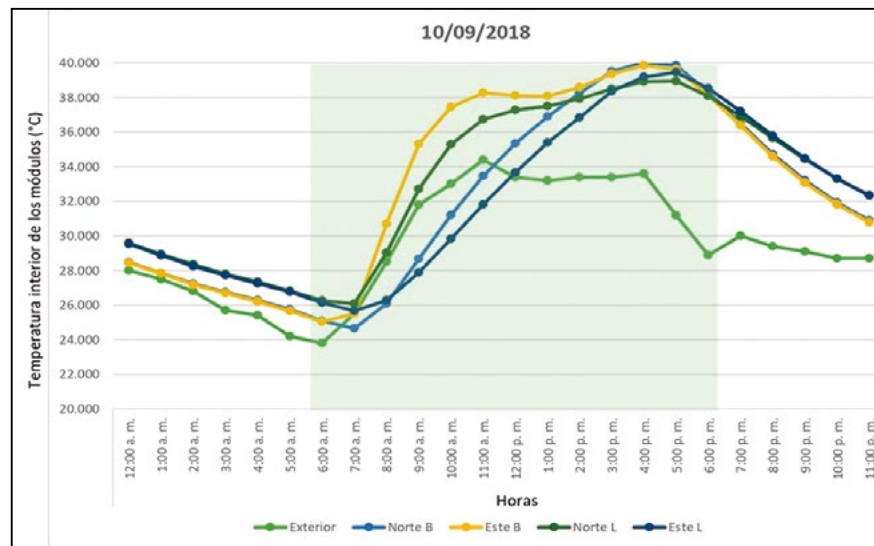


Figura 16. Etapa 1. RD del POST-V.
Fuente: elaboración propia (2020).

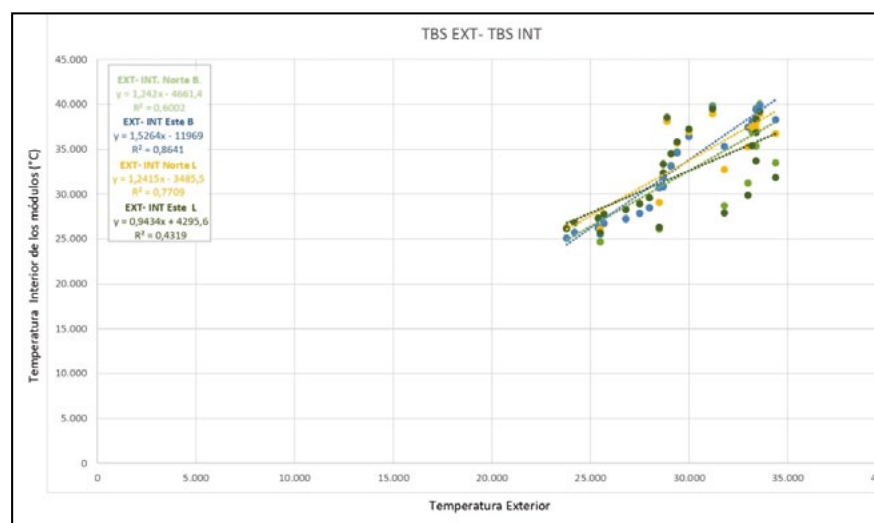


Figura 17. Etapa 1. Correlación entre exterior e interior de los módulos (POST-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 9. Etapa 1. Coeficiente de correlación (POST-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

Figura 15. Etapa 1. Meses de temperaturas altas (POST-V).
Fuente: elaboración propia (2020).



Figura 18. Etapa 2. Meses de precipitación (PRE-V).
Fuente: elaboración propia (2020).

una temperatura promedio de 31,02 °C, con una oscilación de 11,4 °C. Así mismo, la temperatura del interior del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida dio un promedio 29,3 °C en la cara norte, con una oscilación de 11,9 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 30,4 °C, con una oscilación de 12,0 °C, como se muestra en la figura 19.

En la correlación entre exterior e interior de los módulos en las caras norte y este del periodo (PRE- V), se aprecia cómo los resultados van del -0,7 al 0,8, como se muestra en la tabla 10, lo cual indica una correlación tanto negativa como positiva, donde en el interior de los módulos (en las caras norte), el coeficiente de determinación

(r^2) es del 40% (en el ladrillo macizo), y del 54% (en el bloque N.º 5), en la variabilidad del rendimiento, como se muestra en la figura 20.

Paso 2. Periodo posterior a la aplicación de la variable (PRE- V)

Esta medición se llevó a cabo del 3 al 14 de septiembre de 2018, como se muestra en la figura 21.

De acuerdo con la tabla 7, en el periodo POST-V el día representativo fue el 13 de noviembre de 2018, con un $RD = 1$, donde la temperatura promedio exterior fue de 26,7 °C, con una oscilación de 10,8 °C; la temperatura promedio en el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 fue de 23,2 °C en la cara norte, con una oscilación de 3,6 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 23,4 °C, con una oscilación de 3,4 °C. Así mismo, la temperatura del interior del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida dio un promedio de 31,3 °C en la cara norte, con una oscilación de 12,1 °C, y en la cara este, una temperatura promedio de 32,1 °C, con una oscilación de 11,7 °C, como se muestra en la figura 22.

En la correlación exterior e interior entre los módulos en las caras norte y este del periodo POST-V, vemos cómo los resultados son más cercanos a cero, como se muestra en la tabla 11, lo cual indica que, si bien no hay una independencia de las variables, estas tienen una relación lineal. Así mismo, vemos que el coeficiente de determinación (r^2) es menor que el 1% en la variabilidad del rendimiento en las dos caras de cada módulo, como se muestra en la figura 23.

Diagnóstico en las etapas 1 y 2

En la etapa 1, como se muestra en la tabla 12, los dos módulos responden de modo muy similar el 30 de agosto de 2018, RD del periodo PRE-V; sin embargo, el 10 de septiembre de 2018, RD del periodo POST-V, es el módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida el que mejor desempeño tiene. Así mismo, en la etapa 2, durante el periodo PRE-V es el módulo en ladrillo

Figura 19. Etapa 2. RD del PRE-V.

Fuente: elaboración propia (2020).

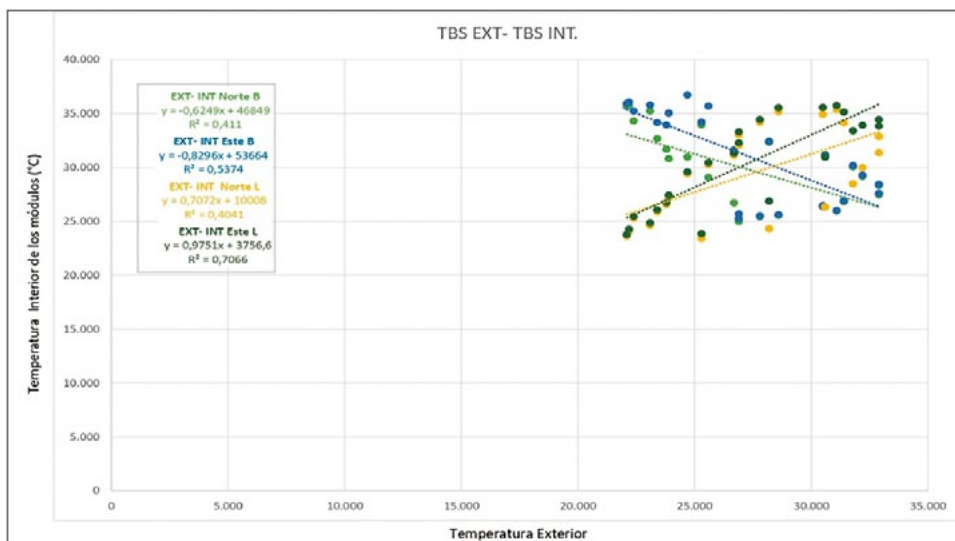
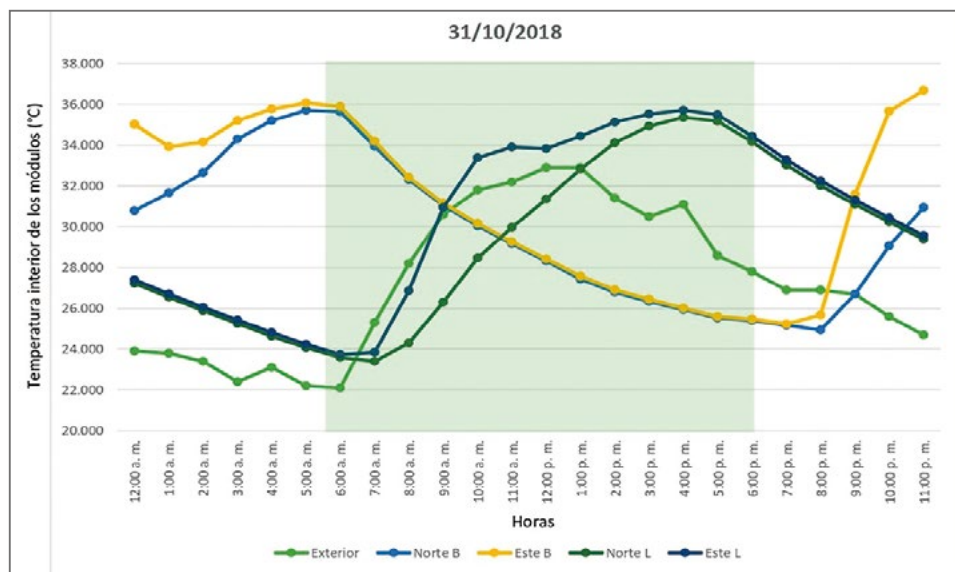


Figura 20. Etapa 2. Correlación entre el exterior y el interior de los módulos (PRE-V).

Fuente: elaboración propia (2020).

Coeficiente de correlación				
	Int. Norte B	Int. Este B	Int. Norte L	Int. Este L
Exterior	-0,6	-0,7	0,6	0,8

Tabla 10. Etapa 2. Coeficiente de correlación (PRE-V).

Fuente: elaboración propia (2020).



Figura 21. Etapa 2. Meses de precipitación (POST-V).

Fuente: elaboración propia (2020).

macizo de arcilla cocida el que mejor responde, contrario a lo que sucede en el periodo POST-V, donde vemos que es el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 el que mejor comportamiento registra, y por lo tanto, este es positivo, con un TDR del 69% y el 68%, por lo que, en promedio, en el caso de los cuatro RD, se muestra que el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 presenta un mejor desempeño en porcentaje TDR, con el -10% y el -9%, a diferencia del módulo construido en ladrillo de arcilla cocida, el cual tuvo TDR del -33% y el -39%.

Discusión

A partir de los resultados obtenidos del estudio expuesto, se argumenta o se refuta la hipótesis planteada, por lo que es importante citarla de nuevo:

El comportamiento térmico del bloque en arcilla cocida N.º 5 y el ladrillo macizo en arcilla cocida implementados en el sistema constructivo de mampostería confinada responden de manera adecuada a las determinantes climáticas de la ciudad de San José de Cúcuta, mediante el aporte de inercia térmica y amortiguamiento como estrategia bioclimática de diseño, gracias a la cual se obtiene reducción de las ganancias de energía interior por envolvente.

Según lo anterior, los dos productos que oferta el mercado en la industria de la arcilla responden de forma adecuada a las determinantes climáticas de San José de Cúcuta, bajo las mismas propiedades térmicas de la inercia térmica y el amortiguamiento.

Como se observa en la relación de diferencia de temperatura TDR promedio, como se muestra en la figura 24, el comportamiento del bloque en arcilla cocida N.º 5 y el ladrillo macizo de arcilla cocida es inverso en el TDR promedio, lo cual es una diferencia más significativa en el periodo posterior a la aplicación de la variable revestimiento POST-V, donde el bloque alcanza valores positivos, que contrastan de manera drástica con los valores negativos del ladrillo macizo en arcilla cocida.

En el TDR de RD, como se muestra en la figura 25, se puede observar que el comportamiento del bloque en arcilla cocida N.º 5 y el ladrillo macizo de arcilla cocida es similar; sin embargo, en el periodo PRE-V de la etapa 1 el bloque N.º 5 tiene un comportamiento con menor oscilación

entre las dos caras estudiadas, y en el periodo POST-V de la etapa 1 y PRE-V de la etapa 2, este tiene un comportamiento más negativo que el ladrillo macizo.

Por otro lado, también se puede observar que el módulo construido en ladrillo macizo de arcilla tiene un comportamiento más predecible, y que este es más negativo en los periodos POST-V.

Como se aprecia en las figuras 26 y 27, en temperatura máxima promedio del periodo POST-V de la etapa 2, el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 tuvo un amortiguamiento que fue, en promedio, de 1,6°C

Figura 22. Etapa 2. RD del POST-V. Fuente: elaboración propia (2020).

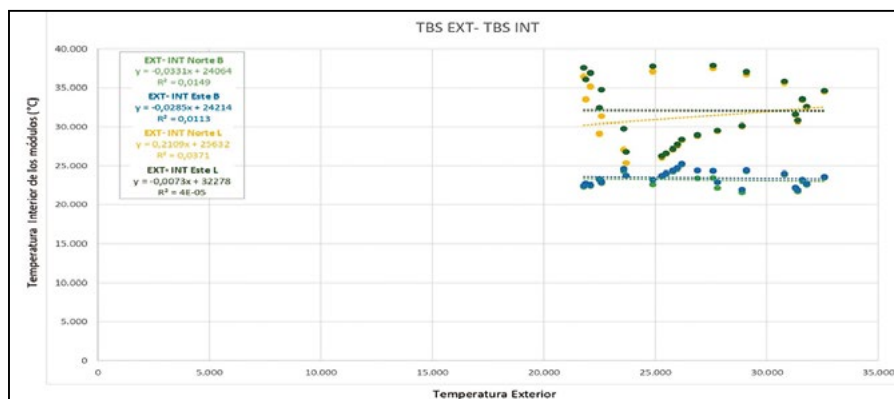
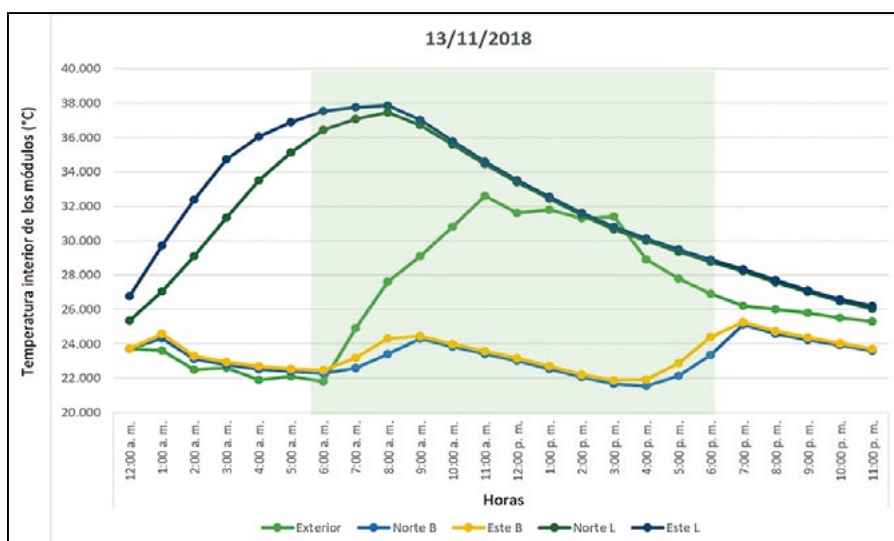


Figura 23. Etapa 2. Correlación entre exterior e interior de los módulos (POST-V). Fuente: elaboración propia (2020).

Coeficiente de correlación				
	Int. Norte B	Int. Este B	Int. Norte L	Int. Este L
Exterior	-0,1	-0,1	0,2	0,0

			Bloq. norte	Bloq. este	Lad. norte	Lad. este
Etapa 1	PRE-V	30/08/2018	-31%	-24%	-22%	-36%
	POST-V	10/09/2018	-53%	-51%	-43%	-48%
	Promedio		-40%	-38%	-33%	-42%
TDR	PRE-V	31/10/2018	-26%	-29%	-23%	-24%
	POST-V	13/11/2018	69%	68%	-45%	-49%
	Promedio		22%	19%	-34%	-36%
Promedio			-10%	-9%	-33%	-39%

Tabla 11. Etapa 2. Coeficiente de correlación, PRE-V. Fuente: elaboración propia (2020).

Tabla 12. Etapas 1 y 2. Relación de diferencias de temperatura TDR de RD. Fuente: elaboración propia (2020).

en la cara norte, y de 1°C en la cara este. Así mismo, en temperatura máxima de días representativos del periodo POST-V de la etapa 2, el amortiguamiento fue de 7,5°C en la cara norte, y de 7,4°C, en la cara este; dichos valores son los únicos positivos alcanzados durante los periodos estudiados.

Por otro lado, es importante recalcar que el módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida responde mejor sin la aplicación de la variable revestimiento, contrario a lo que se puede observar en el módulo construido en bloque N.º 5, ya que este en la etapa 2 de precipitación,

una vez se le aplica la variable revestimiento, aumenta su inercia térmica y reduce considerablemente la temperatura interior, lo que supone, a su vez, un aumento de la humedad, la cual se ve saturada debido a que la porosidad de la arcilla es revestida y, por ende, la ventilación por la transpirabilidad de la envolvente disminuye, y hace que la diferencia de temperatura entre las caras exterior e interior sea significativa.

En el periodo POST-V, donde el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 presentó un amortiguamiento de 7,5°C y 7,4°C, este, a su vez, también presentó un desfase de ocho horas, como se muestra en la tabla 13; este resultado es un punto importante para considerar, tomando en cuenta que la variable climática que cambió durante los dos periodos fue el agua (precipitación).

Finalmente, de acuerdo con los datos registrados por el estudio, es importante hacer énfasis en la propiedad térmica, a la cual se considera el principal factor de incidencia en el confort interior de una edificación, al ser este el valor de transmitancia (U), ya que según la guía de construcción para el ahorro de agua y energía en edificaciones en Colombia (Ministerio de Vivienda, 2015), mientras más bajo sea este valor, mejor desempeño tiene el material, y mejores condiciones de temperatura se alcanzan en el interior, según lo cual, el bloque de arcilla cocida N.º 5 representa un valor U más bajo, al ser este, en PRE-V, de 2,062 m²C/W, y en POST-V, de 2,013 m²C/W, a diferencia del ladrillo macizo de arcilla cocida, que presenta unos valores de transmitancia (U) en el periodo PRE-V de 2,844 m²C/W, y en el POST-V, de 2,727 m²C/W. Si bien estos datos son convenientes para el desempeño positivo que mostró el módulo construido en bloque N.º 5, también se puede apreciar que el módulo en ladrillo mostró un comportamiento similar, considerando que el valor U es más alto, lo cual supone un punto importante que recalcar, pues, de acuerdo con lo anterior, la propiedad de transmitancia térmica (U) del material no supone un factor determinante para alcanzar un nivel

Figura 24. Etapas 1 y 2. TDR promedio.

Fuente: elaboración propia (2020).

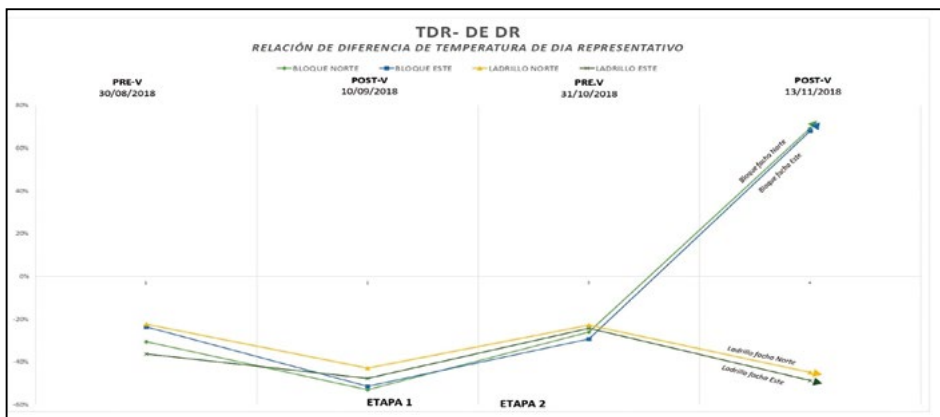
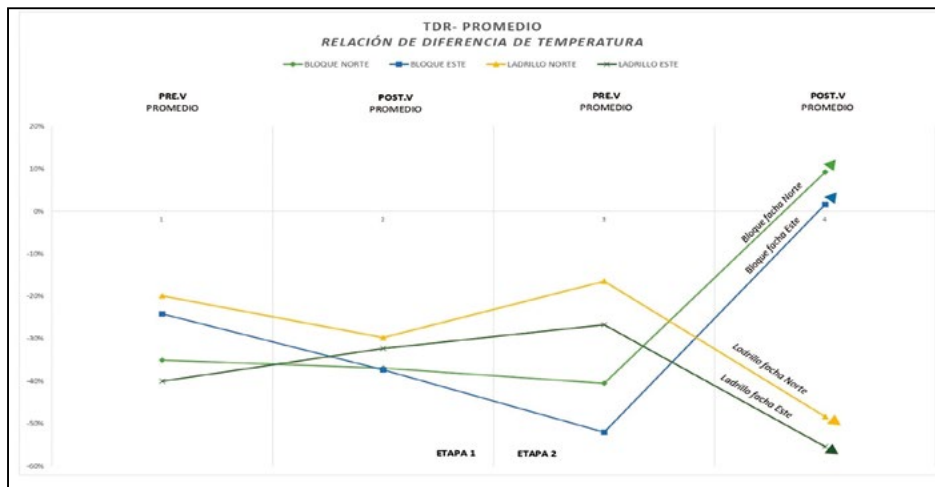


Figura 25. Etapas 1 y 2. TDR promedio de RD.

Fuente: elaboración propia (2020).

Fecha	T. Ext. Máx.	Hora	T. Máx. Bloq. norte	Hora	Amort.	T. Máx. Bloq. este	Hora	Amort.	T. Máx. Lad. norte	Hora	Amort.	T. Máx. Lad. este	Hora	Amort.
30/08/2018	35,3	2:00 p.m.	38,75	4:00 p.m.	-3,5	37,97	3:00 p.m.	-2,7	37,83	4:00 p.m.	-2,5	37,83	4:00 p.m.	-2,5
10/09/2018	34,4	11:00 a.m.	40,02	4:00 p.m.	-5,6	39,85	4:00 p.m.	-5,5	38,95	5:00 p.m.	-4,6	38,95	5:00 p.m.	-4,6
31/10/2018	32,9	1:00 p.m.	35,71	5:00 a.m.	-2,8	36,06	5:00 a.m.	-3,2	35,36	4:00 p.m.	-2,5	35,52	4:00 p.m.	-2,6
13/11/2018	32,6	11:00 a.m.	25,11	7:00 p.m.	7,5	25,25	7:00 p.m.	7,4	37,45	8:00 a.m.	-4,9	37,45	8:00 a.m.	-4,9
Promedio	33,8		34,9		-1,1	34,80		-1,0	37,40		-3,6	37,40		-3,6

Tabla 13. Etapas 1 y 2. Temperaturas máximas de los RD.

Fuente: elaboración propia (2020).

de confort interior, según los límites de confort establecidos por las determinantes climáticas específicas de cada subclima del país.

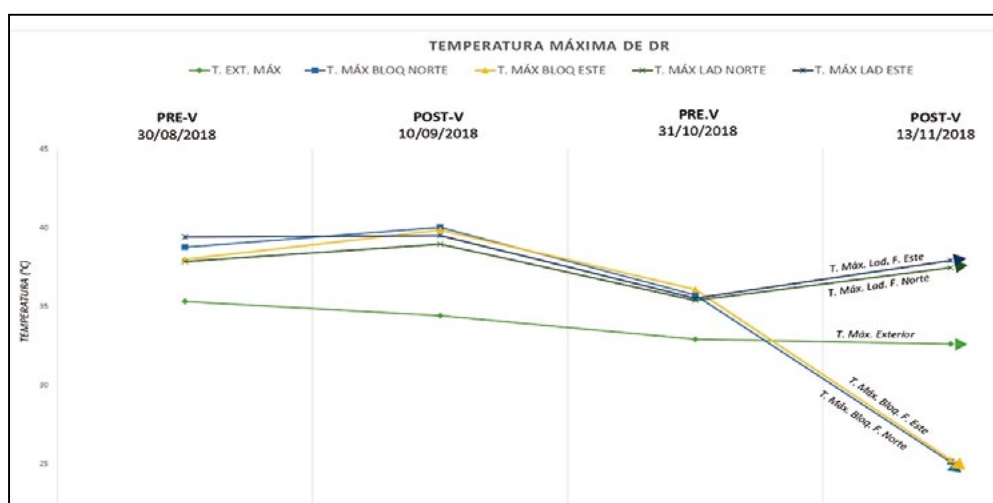
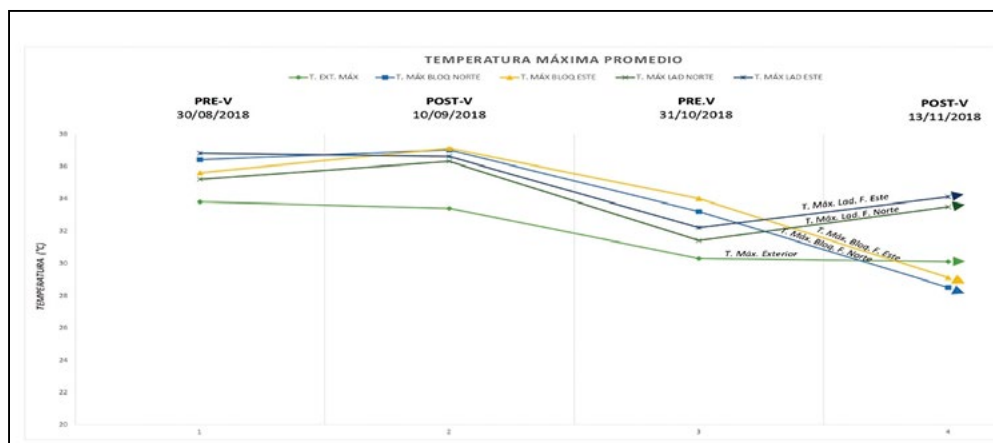
Conclusión

Con respecto a la hipótesis planteada para la investigación, cabe inferir que el aporte de inercia térmica y amortiguamiento como estrategia bioclimática de diseño es evidente en el comportamiento térmico de los dos productos cerámicos estudiados, pues se demuestra con la presente investigación que, en contraste con las condiciones estructuradas en la metodología, y bajo las cuales se hacen las mediciones del interior de los módulos, los productos bloque de arcilla cocida N.º 5 y ladrillo macizo de arcilla cocida tienen un desempeño adecuado en diferentes condiciones, pues el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 mostró un comportamiento positivo tras la aplicación de la variable revestimiento en la temporada de lluvia, inverso al comportamiento en la misma condición que mostró el módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida.

Por otro lado, el estudio supone un importante aporte para la aplicación óptima de los productos cerámicos estudiados, pues se resalta el comportamiento de cada uno de los productos en las etapas analizadas, respecto a lo cual el presente estudio es una base por considerar para los diferentes subclimas del país; así mismo, entra a colación el factor económico del sistema constructivo, pues el rendimiento en obra de los productos cerámicos estudiados, en contraste, es significativo, al ser más rentable la aplicación del bloque N.º 5 que la del ladrillo macizo; sin embargo, cabe resaltar que en situaciones específicas se requiere el uso de los dos, pues hace parte de una estrategia constructiva que solidifica las bases de la mampostería.

De la investigación se pudo concluir que el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 mostró un mejor comportamiento, con un TDR promedio del -10%, a diferencia del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida, el cual presentó un TDR promedio del -36%; esto, debido a que el módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5, después de la aplicación de la variable revestimiento, mostró una relación de diferencia de temperatura (TDR) positiva, con el 69% en la fachada norte, y del 68%, en la fachada este.

Considerando que en el periodo POST-V de la etapa 1 (de temperaturas altas), el comportamiento del bloque de arcilla cocida N.º 5 fue negativo, el factor que marcó la diferencia de los mismos periodos, pero diferentes etapas, fue el agua (precipitación), lo que supone un punto digno de resaltar para la aplicación del producto bajo esta variable del clima en un diseño bioclimático, considerando las horas específicas en



las que se puede aplicar o implementar dicha estrategia sin saturar de humedad el ambiente, por cuanto se puede generar disconfort interior.

Los datos registrados en el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 mostraron una mayor oscilación diaria, por lo que en la tabla de relación de diferencia de temperatura TDR (fórmula que considera la temperatura máxima en el cálculo) se puede apreciar que es el interior del módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida el que presenta mejor desempeño en la mayoría de días, debido a que presenta menor oscilación diaria, y por ende, el rango de temperatura máxima y mínima se mantiene más estable; sin embargo, tras la aplicación de la variable de revestimiento en la segunda etapa, fue el interior del módulo construido en bloque de arcilla cocida N.º 5 el que mostró un desempeño positivo, por lo que, al promediar las dos etapas, fue este módulo el que mejor comportamiento mostró.

El comportamiento de la envolvente con los dos productos (bloque de arcilla cocida N.º 5 y ladrillo macizo de arcilla cocida) supondría una mejora con la aplicación de estrategias óptimas de diseño, como la ventilación selectiva y el sombreado, ya que el estudio se limitó a analizar el comportamiento de la envolvente como principal factor de diseño, por lo cual el módulo, una vez construido, fue sellado en cubierta, y se obstruyó intencionalmente la ventilación

Figura 26. Etapas 1 y 2. Temperatura máxima promedio.

Fuente: elaboración propia (2020).

Figura 27. Etapas 1 y 2. Temperatura máxima de DR.

Fuente: elaboración propia (2020).

inducida, por lo que el comportamiento interior en cuanto a ventilación fue solo por infiltración, generada por la transpirabilidad y la permeabilidad de la arcilla.

El valor de transmitancia térmica (U), aunque es una propiedad para considerar dentro de un diseño bioclimático, no es un factor determinante para el comportamiento térmico de la envolvente, pues, como ya se mencionó, esta puede mitigar la radiación directa en un plano vertical considerando la aplicación de un conjunto de estrategias de diseño bioclimático. Así mismo, cabe resaltar que en las fachadas verticales sí se ve una diferencia de temperatura entre las caras norte y este en cada uno de los periodos (PRE-V y POST-V), y siendo así, en el periodo PRE-V, el bloque N.º 5 mostró una temperatura promedio de 29,89 °C en la fachada norte, y de 30,01 °C en fachada este, y el en ladrillo macizo de arcilla mostró una temperatura promedio de 30,35 °C en la fachada norte, y de 30,36 °C, en la fachada este; con estos datos se destaca que la fachada norte tiene una menor incidencia solar, que favorece el comportamiento de la pieza cerámica; sin embargo, en el periodo POST-V, los datos mostrados rompen el esquema que supone un mejor comportamiento en la fachada norte, pues en el bloque N.º 5, aunque sigue este patrón, con una temperatura promedio registrada de 30,06 °C en la fachada norte, y de 30,53 °C, en la fachada este, difiere mucho de los datos registrados en el módulo construido en ladrillo macizo de arcilla cocida, por cuanto este mostró

una diferencia a favor de la fachada este, con una temperatura promedio de 30,3 °C, a diferencia de la promediada en la fachada norte, la cual fue de 30,76 °C, lo cual supone que bajo las condiciones climáticas de lluvia, el exceso de incidencia solar puede favorecer la pérdida de energía por evaporación; sin embargo, cabe considerarla, pues debe ser aplicada a horas estratégicas, cuando el ambiente permita la inyección de humedad sin saturarlo, además de la consideración del tratamiento en material por medio del revestimiento, pues este sí supone una variable que altera el comportamiento del material, por cuanto puede complementar positiva o negativamente las propiedades de dicho material.

Agradecimientos

A mis padres, José E. Rico-Osorio y Sandra E. García-Castellanos, por su amor y su apoyo incondicional.

A mi estrella en el cielo: mi segunda mamá, Gladis Rico.

A mi hermano José E. Rico García, por ser luz en mi vida.

A los maestros que no solo me guiaron en el proceso de formación, sino que, además, hicieron parte, directa e indirectamente, del desarrollo de la investigación: PhD. Luis Carlos Herrera Sosa y PhD. Víctor Fuentes Freixenet.

Referencias

- CONSTRUMÁTICA. (2010, 25 de agosto). *Metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción*. https://www.construmatica.com/construpedia/Aparejo_de_Panderete
- Davis Instruments. (s.f.). *Vantage VUE, manual de consola*. <http://www.gisiberica.com/MANUALES/EM730.pdf>
- Esparza López, C. J. (2015). Estudio experimental de dispositivos de enfriamiento evaporativo indirecto para un clima cálido sub-húmedo [Tesis doctoral]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3925.4806>
- Fuentes Freixenet, V. (2004). *Clima y arquitectura*. UAM.
- Gómez Azpeitia, G. (2016). *Bioclimarq*. <https://www.soloarquitectos.com/estudio/bioclimarq/1069>
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (6 ed.). McGraw-Hill Education.
- Herrera Sosa, L. (s.f.). *Cálculo de sistemas de cubiertas*. http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/6927/Costo_y_rentabilidad_de_diversas_estrategias_bioclimaticas_Herrera-Sosa_L_2019.pdf?sequence=1
- IDEAM. (1975-2015). Datos climáticos de Cúcuta. <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/cucuta/temperatura.htm>
- Marnich, R., LaRoche, P., Yamnitz, R., & Carbonnier, E. (2010). Passive cooling with self-shading modular roof ponds as heat sink. En *39th ASES National Solar Conference 2010* (pp. 5548-5554). American Solar Energy Society.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). *NSR-10- Título D, Capítulo D-4. Requisitos constructivos para mampostería estructural*. República de Colombia. <https://www.idrd.gov.co/sites/default/files/documentos/Construcciones/4titulo-d-nsr-100.pdf>
- Ministerio de Vivienda. (2015). *Anexo N.º1. Guía de construcción Sostenible para el ahorro de Agua y Energía en edificaciones*. <http://ismd.com.co/wp-content/uploads/2017/03/Anexo-No-1-Gu%C3%ADa-de-contrucci%C3%B3n-sostenible-para-el-ahorro-de-agua-y-energ%C3%ADa-en-las-edificaciones.pdf>
- Sánchez, J., & Ramírez, R. (2013). *El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Universidad Francisco de Paula Santander.
- Sánchez Molina, J., González Mendoza, J., & Avendaño Castro, W. (2017). *El clúster cerámico: apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander*. Ecoe Ediciones Limitada.
- Universidad Nacional de Colombia. (s.f.). *Capítulo 3. Morteros*. https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/9302/9589322824_Parte5.pdf?sequence=4&isAllowed=y