

Experimentación in situ de desempeño térmico en módulos de mampostería contruidos con bloque cerámico empleando patrones de enfriamiento pasivo

In situ experimentation of thermal performance in masonry modules built with ceramic block using passive cooling patterns

^aMarlyn Stephanny Narváez-Ortega, ^{b*}Jorge Sánchez-Molina, ^cCarmen Xiomara Diaz-Fuentes

 a. Magister en Arquitectura Bioclimática, stephannynarvaez@outlook.com, Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia.

 b. Doctor en Avances en Ingeniería de los Materiales y Energías, jorgesm@ufps.edu.co, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

 c. Magister en Ciencia y Tecnología de Materiales, carmenxiomaradf@ufps.edu.co, Grupo de Investigación en arquitectura y materiales alternativos, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

Recibido: Junio 1 de 2021 Aceptado: Octubre 8 de 2021

Forma de citar: M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, C.X. Diaz-Fuentes, "Experimentación in situ de desempeño térmico en módulos de mampostería contruidos con bloque cerámico empleando patrones de enfriamiento pasivo", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S4 pp. 324-337, 2021.

Resumen

Se presentan los resultados de la evaluación comparativa de comportamiento térmico en 2 sistemas constructivos cerámicos de mampostería a partir de módulos experimentales contruidos a escala 1:1 bajo condiciones reales de clima cálido propias de la ciudad de Cúcuta, Colombia, en latitud 7.9°N, longitud 72.5°W y altitud a 298 m.s.n.m. El Módulo (A) de dimensiones 1300mm de altura y 1690mm de largo contruido completamente en mampostería tradicional en sus cuatro caras verticales empleando bloque cerámico H10 se toma como demostrador de patrón de construcción convencional, y un Módulo (B) que conserva la misma altura de 1300mm y presenta 1790mm de largo se edifica como demostrador experimental fabricado con un sistema de mampostería innovador que utiliza de forma mixta bloque cerámico de tipo H15 y H10 aplicando variables de enfriamiento pasivo con técnicas de aumento de espesor, disipación de calor por cámara de aire y control solar por sombreado, como estrategias pasivas para reducir la transmitancia térmica; cada módulo está aislado en las caras horizontales inferior y superior del cerramiento considerando únicamente la transferencia de calor a través de la mampostería vertical, el experimento se construye dentro de las instalaciones del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, ubicados sin ningún tipo de obstrucción natural o contruida para la toma de datos de temperatura y humedad con un sistema de monitorización exterior que registra las condiciones climáticas a las que se expone el experimento y sensores en los muros interiores que registran la temperatura y humedad interior de cada cerramiento con registrador Data Loggers EASYLOG USB durante un periodo de tiempo de 8 días. Los resultados permiten comparar el desempeño térmico de ambos sistemas y comprobar la eficiencia del SISTEMA 04-B como un patrón constructivo de enfriamiento pasivo que permite una reducción de 4°C en la temperatura final transferida respecto a un sistema constructivo convencional.

Palabras clave: Bloque cerámico, Enfriamiento pasivo, Eficiencia térmica.

Autor para correspondencia:

*Correo electrónico: jorgesm@ufps.edu.co



Asbtract

The results of the comparative evaluation of the thermal behavior of two ceramic masonry construction systems are presented based on experimental modules built at a scale of 1:1 under real conditions of hot climate in the city of Cúcuta, Colombia, at latitude 7.9°N, longitude 72.5°W and altitude 298 meters above sea level. Module (A) of dimensions 1300mm high and 1690mm long built entirely in traditional masonry in its four vertical faces using H10 ceramic block is taken as a demonstrator of conventional construction pattern, and Module (B), which maintains the same height of 1300mm and is 1790mm long, is built as an experimental demonstrator manufactured with an innovative masonry system that uses a mixture of H15 and H10 ceramic blocks, applying passive cooling variables with techniques of increased thickness, heat dissipation by air chamber and solar control by shading, as passive strategies to reduce thermal transmittance; each module is insulated on the lower and upper horizontal faces of the enclosure considering only the heat transfer through the vertical masonry, the experiment is built within the facilities of the campus of the Universidad Francisco de Paula Santander, located without any type of natural or constructed obstruction for temperature and humidity data collection with an exterior monitoring system that records the climatic conditions to which the experiment is exposed and sensors in the interior walls that record the interior temperature and humidity of each enclosure with Data Loggers EASYLOG USB recorder for a period of 8 days. The results allow comparing the thermal performance of both systems and proving the efficiency of SYSTEM 04-B as a passive cooling construction pattern that allows a 4°C reduction in the final temperature transferred with respect to a conventional construction system.

Keywords: Ceramic block, Passive cooling, Thermal efficiency.

Introducción

En Colombia la técnica constructiva de mampostería cerámica para cerramientos arquitectónicos emplea sistemas tradiciones que cumplen la función de elementos divisorios y estructurales en las edificaciones [1], sin embargo, usualmente no contemplan el componente térmico que constituye la envolvente como protectora de las condiciones climáticas exteriores en que se encuentra implantada una edificación [2], una implicación especialmente relevante en climas de alta temperatura como aquellos que constituyen la región Norte de Santander, por ejemplo, en el municipio de Cúcuta capital del departamento, donde la radiación solar se muestra alta y constante a lo largo del año con promedios de irradiancia solar entre los 622,2 - 796,8 W/m² en las horas medias del día de 11:00am a 1:00pm, por tanto, la incidencia sobre los cerramientos verticales en fachadas de gran exposición puede constituir grandes cargas térmicas interiores [3] un aspecto negativo para los consumos de energía por climatización [4].

En el sector cerámica los productos fabricados

por la industria local poseen características físico-térmicas que pueden representar ventajas de termorresistencia para edificar sistemas constructivos efectivos en climas cálidos semihúmedos [5], esta investigación busca comprobar la viabilidad térmica de un nuevo sistema de cerramiento de mampostería construido con dos productos tradicionales de la industria cerámica de la región el bloque H10 y el bloque H15 [6],[7], con la intención de agregar valor a los recursos locales disponibles presentando un modelo de bajo costo como una herramienta para configurar soluciones a los requerimientos de la envolvente térmica, contribuyendo al desarrollo de construcciones con mejores rendimientos energéticos que no impliquen sobrecostos o tecnologías complejas para su desarrollo, siendo un opción accesible a cualquier condición socioeconómica y fácil de aplicar en la construcción actual.

La presente investigación se articula desde un enfoque en tecnologías convergentes en búsqueda del mejoramiento de las condiciones térmicas en edificaciones de clima cálido, desde esta perspectiva se aplican herramientas y tecnologías que

permiten evaluar el nivel desempeño a escala 1:1 de un diseño de sistema constructivo cerámico denominado SISTEMA 04-B con el objetivo de validar sus propiedades en relación a la eficiencia térmica bajo condiciones climáticas reales, verificando que una nueva interpretación constructiva de un nuevo modelo de fachada cerámica con propiedades de termorresistencia responda a los objetivos de su desarrollo, a partir de un proceso que permite cuantificar el grado de mejora en relación a sistemas constructivos tradicionales.

Esta metodología enmarcada un contexto rico en yacimientos de arcilla que desarrolla un clúster industrial de la cerámica como fuente productiva de la región de Norte de Santander y desde un contexto de clima tropical cálido que representa el 80% de las condiciones térmicas de Colombia, presenta una oportunidad de orientar tecnologías hacia un desarrollo sostenible en términos de agregar valor a los recursos locales disponibles desde una perspectiva de construcción térmicamente eficiente.

Patrón de enfriamiento pasivo

Los sistemas constructivos de mampostería tradicional de la región presentan una tipología sólida y uniforme que es utilizada como cerramiento al exterior y en divisiones espaciales interiores en la edificación, suele ser de tipo portante y su morfología es muy simétrica y homogénea, sin embargo, su acabado a la vista sin ningún tipo de revestimiento no suele ser estético, especialmente al emplear productos cerámicos de gran formato como los bloques de arcilla roja cocida (Figura 1); así mismo, se presenta en un solo plano sin ningún tipo de estrategia que inhiba la radiación solar directa o la disipación de energía, por tanto, los sus componentes están completamente expuestos al flujo calor continuo.



Figura 1. Sistemas constructivos de mampostería con bloques cerámicos.

Desde esta perspectiva, es posible determinar ventajas en piezas constructivas desde una óptica de resistencia térmica, pero se hace necesaria una reinterpretación de los sistemas constructivos utilizados para maximizar las ventajas de utilizar productos tradicionales, presentando nuevas soluciones térmicamente efectivas. En este sentido, el presente estudio hace parte del desarrollo de un sistema cerámico de patrones de enfriamiento pasivo evaluado por medio de simulaciones térmicas a través de método de elementos finitos [8] que desarrolla 5 modelos de diseño, dentro de los cuales se encuentra el SISTEMA 04-B (Figura 3) el cual presenta una efectividad en la reducción de la transmitancia térmica de 2,3°C en comparación con un sistema construido con bloque estándar H10 denominado SISTEMA 01-A (Figura 2) [9].

El modelo patrón considera una sinergia de tres estrategias para reducir la transferencia de calor: aumento del espesor del muro, un porcentaje de sombreado sobre las superficies exteriores implementando volúmenes discontinuos y, cámaras de aire en la cara externa del cerramiento para disipar las cargas térmicas acumuladas, consideradas como técnicas efectivas en la mitigación de las condiciones ambientales

extremas en climas cálidos [10],[11],[12],[13]. El comportamiento térmico de las muestras de un sistema tradicional que utiliza productos H10 y de un sistema 04-B evaluado en las horas medias del día en temperaturas de 33°C se reporta en la Tabla I [8],[9] y las figuras 2 y 3:

Tabla I. Comportamiento térmico del sistema constructivo tradicional y la muestra 04-B.

Nombre	Temperatura promedio exterior (°C)	Temperatura Promedio interior (°C)
Sistema 01-A	69,168	35,667
Sistema 04-B	56,418	33,275

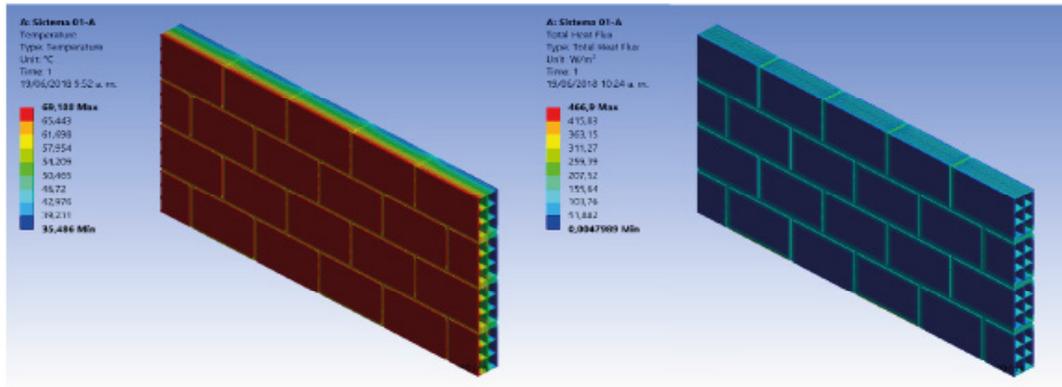


Figura 2. Distribución de temperatura y flujo de calor, termografía del sistema 01-A tradicional evaluado por método de elementos finitos.

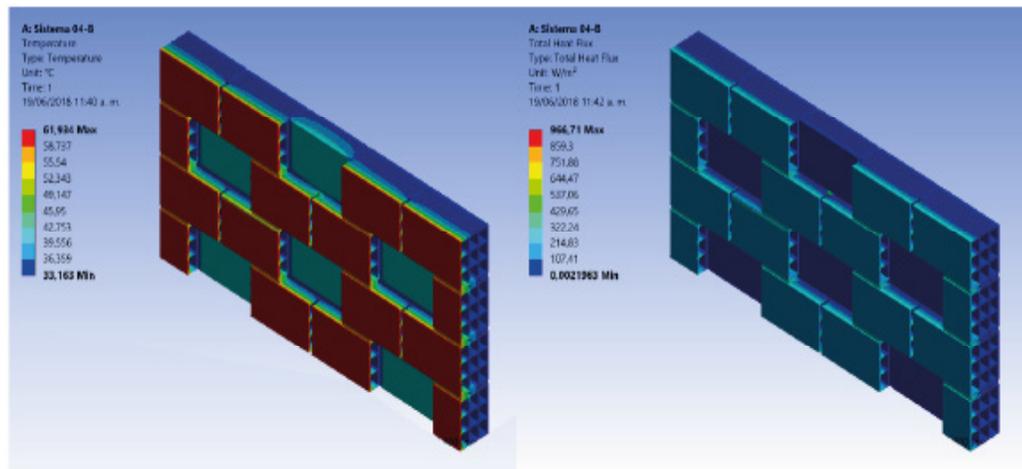


Figura 3. Distribución de temperatura y flujo de calor, termografía del sistema 04-B propuesto evaluado por método de elementos finitos.

El objetivo de la presente investigación es evaluar las características del SISTEMA 04-B bajo condiciones climáticas reales y compararlo con un sistema estándar expuesto a las mismas condiciones térmicas de temperatura y humedad relativa. Esta metodología aplicada a la validación de nuevos sistemas constructivos permite verificar a escala 1:1 el grado de mejora

que supone la introducción de innovaciones desde una perspectiva de eficiencia térmica.

Materiales y Métodos

Diseño del Experimento

Para la validación del diseño a escala 1:1 se desarrolla un modelo de análisis experimental

de desempeño térmico del SISTEMA 04-B (B) comparándolo con un sistema estándar de mampostería cerámica que nombraremos como SISTEMA 01-A (A), el procedimiento se realiza a través del análisis comparativo de la transferencia de calor en 2 módulos experimentales construidos a escala 1:1 bajo condiciones climáticas reales de clima cálido propias de la ciudad de Cúcuta, Colombia en latitud 7.9°N, longitud: 72.5°W y altitud: 298 m.s.n.m [14], con dimensiones totales (A) y (B) 1,30 metros de alto y 4 m² aproximados de mampostería, ubicados sin ningún tipo de obstrucción natural o construida registrando datos de temperatura y humedad relativa interior con registrador Data Loggers EASYLOG USB, durante (8) días.

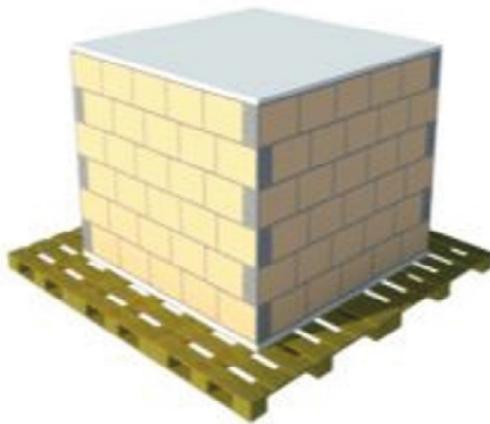


Figura 4. Módulo A

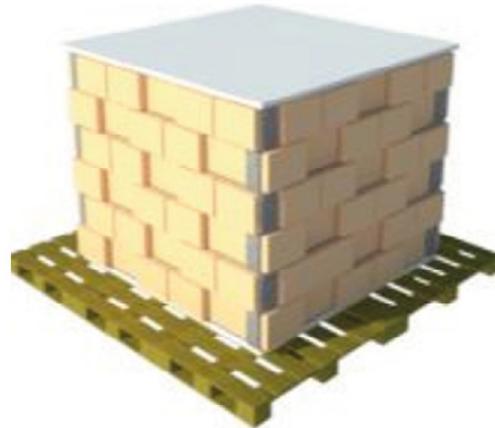


Figura 5. Módulo B

a. Características de los módulos

El Módulo (A) (Figura 4) de dimensiones 1,3m de altura y 1,69m de largo y, Módulo (B) (Figura 5) de medidas 1,3m de altura y 1,79m de largo, cada uno compuesto por una base aislante inferior con dimensiones iguales en (A) y (B) de 4m², un cerramiento de mampostería con características específicas para (A) y (B), y una cubierta aislante superior con características idénticas en (A) y (B) cuya composición material se describe a continuación:

La base aislante inferior de 0,15 m consiste en una superficie compuesta de exterior a interior por: (1) base de madera constituida, (1) capa de pintura impermeabilizante con tela de poliéster como aislante de humedad, (1) lamina de MDF de 5,5 mm que para el caso (A) presenta unas dimensiones de 2,8m² y en el caso (B) 3,2m², (1) capa de poliestireno expandido de 0,02m en el caso (A) y (B), (1) lamina de MDF de 5,5 mm que para el caso (A) presenta unas dimensiones de 2,8m² y en el caso (B) 3,2m², reforzada en las uniones con silicón impermeabilizante, y finalmente (1) capa de concreto revestido

con pintura impermeabilizante con tela de poliéster como aislante de humedad (Figura 6).

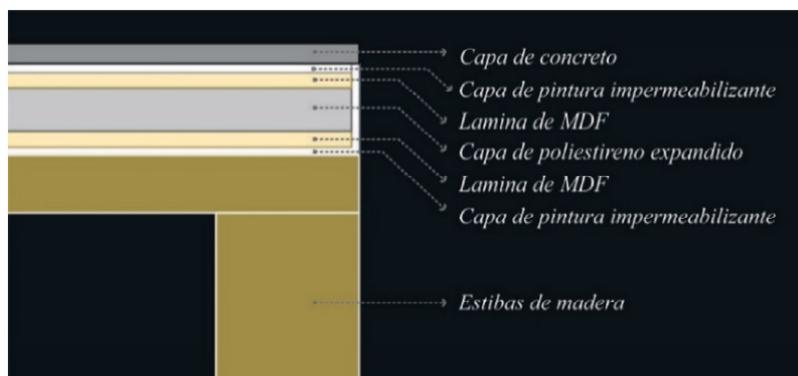


Figura 6. Materiales, base inferior aislante.

El cerramiento de mampostería para el caso (A) se construye completamente de manera tradicional empleando bloque cerámico H10 de dimensiones 200mm de altura, 100mm de espesor y 300mm de largo, y para el caso (B) con dimensiones será construido con un sistema propuesto utilizando de manera mixta bloque cerámico H10 y H15 este ultimo de dimensiones 200mm de altura, 150mm de espesor y 300mm de largo, aplicando variables de masa térmica, ventilación natural y control solar por sombreado como estrategias pasivas para el enfriamiento térmico, en ambos módulos el

acabado final es cara vista, sin ningún tipo de revestimiento.

La cubierta aislante superior de 0,04 m de espesor para ambos casos consiste en una tapa tipo sándwich compuesta de interior a exterior, por (1) lamina de MDF de 0,01 m de espesor y 2,5m², (1) capa de poliestireno expandido de 0,02m de 2,5m², (1) lamina de MDF de 0,01 m de 2,5m² y (1) capa de revestimiento de pintura impermeabilizante con tela de poliéster como aislante de humedad, encofrada en concreto y reforzada en las uniones con silicón impermeabilizante.

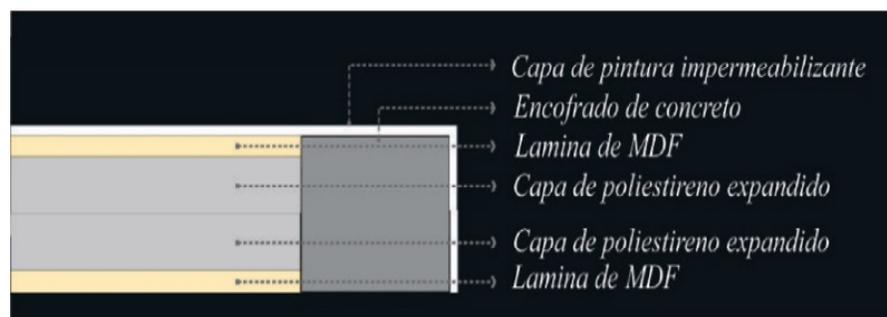


Figura 7. Materiales, cubierta aislante superior.

Los materiales utilizados para aislar las superficies superiores e inferiores de los módulos se seleccionan considerando su baja conductividad térmica, donde, la fibra de madera MDF presenta un valor de k 0,14W/m°C [15] y el poliestireno expandido de densidad media una k de 0,04W/m°C [16].

b. Localización del experimento

El experimento se construye dentro de las instalaciones del campus de la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, en la terraza del edificio de investigación y extensión, sobre la zona Norte de la edificación, en un área útil de 110,5 m², sin ningún tipo de obstrucción natural o construida en el espacio circundante que

afecte la toma de datos.

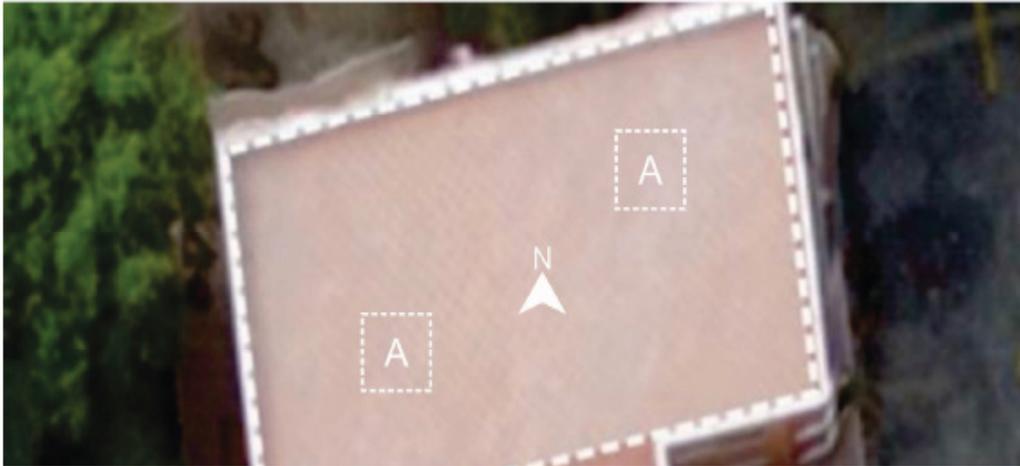


Figura 8. Localización del experimento.

c. Construcción de los módulos

Se construyen los módulos con características A y B, y se ubican en la zona de implantación equivalentes a las coordenadas norte y sur, equidistantes 8 m aproximadamente entre sí, y 1,5m con relación al borde de la baranda de la edificación para evitar la incidencia de sombra que pueda afectar la medición, sobre el área más despejada sin obstrucción natural o construida.



Figura 9. Construcción de los módulos A y B.

d. Características de los equipos de medición

El experimento mide la temperatura y humedad relativa a través de 5 equipos de registro Data Loggers EASYLOG USB (Figura 10) con propiedades: rango de medición 0 a 100% RH y -35° a 80°C , con exactitud de 2% [17], donde, 1 equipo Data Loggers EASYLOG USB es testigo

de las condiciones ambientales exteriores utilizando 1 escudo de protección de radiación solar (Figura 11).



Figura 10. Data Loggers EASYLOG USB



Figura 11. Protector de radiación.

a. Temporalidad

La ciudad de San José de Cúcuta presenta una temperatura media anual de 27,5°C y una humedad relativa media anual de 68,3% en un contexto tropical sin estaciones marcadas, presentando algunas temporadas de lluvias escasas repartidas a lo largo del año, con un promedio de lluvia total anual de 732mm, el comportamiento del viento por su topografía presenta un flujo cruzado con vientos predominantes provenientes tanto del norte como del sur con una velocidad promedio de 2.9m/s. La radiación solar anual de la ciudad de Cúcuta es de 63.755 W/m², donde los meses de mayor radiación solar se presentan en los meses de agosto a octubre con índices de energía mayor a 5.500 W/m²día [18] siendo septiembre con 6.144 W/m²día el mes que presenta mayor carga térmica incidente y una mayor cantidad de horas solar pico.

La temperatura media anual de la ciudad de Cúcuta es de 27,1°C, con una máxima promedio a lo largo del año de 32,0°C y una mínima promedio de 22,7°C, donde las temperaturas máximas pueden llegar a alcanzar rangos de 40,01°C en condiciones extremas atípicas y las mínimas extremas que no superan los 17,62°C [19]. Por tanto, la condición de temperatura predominante en el municipio de Cúcuta es alta y constante, con una oscilación térmica baja con un diferencial de temperatura de 9,2°C en promedio a lo largo del año. Los meses que presentan mayores temperaturas es el periodo comprendido entre junio y septiembre, especialmente el mes de septiembre con temperaturas de hasta 34°C promedio, donde las temperaturas mínimas no disminuyen más de 23,3°C y las máximas alcanzan los 42,5°C.

Tabla II. Datos de temperatura mensual de San José de Cúcuta.

Meses	Temperatura Mensual					
	Máxima promedio °C	Promedio °C	Mínima promedio °C	Máxima extrema °C	Mínima extrema °C	Oscilación °C
Junio	32,9	28,0	23,9	40,5	17,4	9,0
Julio	33	27,9	23,6	41	18,4	9,4
Agosto	33,9	28,3	23,7	42,5	18	10,2
Septiembre	34	28,1	23,3	42,5	18,6	10,7

Por tanto, en el desarrollo del experimento se determina el mes del año que presenta las condiciones óptimas para tomar el comportamiento térmico de los módulos bajo temperatura extrema en la ciudad de Cúcuta, donde, según los registros de temperatura mensual el mes de septiembre puede presentar promedios de hasta 34°C

como el periodo que registra la temperatura más cálida.

b. Determinación de la orientación con las condiciones más desfavorables

Para la medición se selecciona la fachada en la que se ubicaran los equipos de medición,

332

tomando como criterio las características climáticas de la ciudad de Cúcuta, a partir de los datos horarios de radiación solar [19], donde, la orientación más desfavorable es la sur, con el 55,33% horas sol al día en relación con las demás orientaciones.

Así mismo, la rosa de los vientos permite determinar un viento predominantemente norte-sur con el 19,5% -21,4 % de representación respectivamente [20] siendo las mejores orientaciones para las aberturas, sin embargo, este estudio evalúa las condiciones más extremas a la que puede estar sometida la envolvente, en este sentido la orientación de la medición en la fachada sur permite que los canales de renovación de aire estén expuestos a una ventilación en sentido este-oeste, una orientación menos favorable con el 9,1% de representación, donde el viento predominante presenta velocidades entre 2,6-3,6m/s en promedio, dentro del rango de velocidad promedio de 2,7m/s para el mes de septiembre, presentando condiciones que resulta muy convenientes para medir la efectividad de la solución en todas las fachadas.

c. Instalación de los equipos de medición

Proceso de instalación de los equipos para Módulo A y Módulo B (Figura 13) (Figura 14) con Data Loggers EASYLOG USB y Testigo Exterior con Data Loggers EASYLOG USB protector de radiación solar (Figura 12).



Figura 12. Instalación de equipo de medición de las condiciones exteriores, Testigo_C_Ext.



Figura 13. Equipo instalado para medir condiciones interiores ambientales en Módulo A y B.

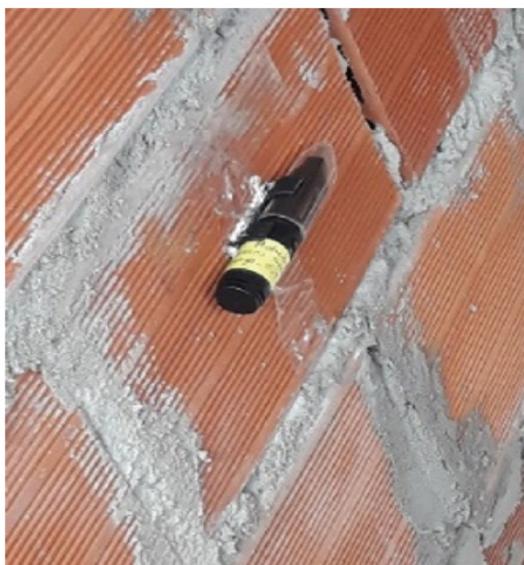


Figura 14. Equipo instalado para medir condiciones interiores superficiales en Módulo A y B.

Procedimiento

Programación de los equipos

Los equipos Data Loggers EASYLOG USB se configuran en °C para

Tabla III. Programación de los equipos de medición.

Situación 1	Condiciones Ambientales	Testigo C Ext	
Situación 2	Modulo A – Tradicional	Testigo S T A1	Testigo S T A1
Situación 3	Modulo B – Propuesto	Testigo S P B1	Testigo S P B2

En la primera situación se establece el Testigo 1 (Figura 12) como Testigo_C_Ext para medir las condiciones meteorológicas del ambiente, a través (1) equipo Data Loggers EASYLOG USB con su respectivo escudo de protección de radiación solar, ubicado a 1,1m del suelo.

La recopilación de información de la temperatura y humedad relativa en cada módulo se realiza a partir de 2 equipos de registro Data Loggers EASYLOG USB ubicado en el centro (Figura 13) y sobre la superficie sur del módulo (Figura 14), en un periodo de tiempo de 8 días.

En la segunda situación se designa el Módulo

mediciones cada 5 minutos del 9 al 19 de septiembre de 2018 desde las 00:00:00 horas, estableciendo: (1) testigo de las condiciones exteriores del ambiente como Testigo_C_Ext, y (2) Testigos de la transferencia térmica en el interior de cada módulo.

Evaluando un sistema tradicional, se denominó Testigo_S_T_A1 al registrador de las condiciones ambientales interiores del módulo 1 y Testigo_S_T_S1 de las condiciones superficiales transferidas por el muro sur del módulo 1, así mismo, se asignó la denominación de Testigo_S_P_B1 al registrador de las condiciones ambientales interiores del módulo propuesto y Testigo_S_P_B2 al equipo de medición de la temperatura transferida por el muro sur en el módulo construido con el sistema propuesto.

A como testigo del comportamiento térmico en cuanto a la temperatura y humedad relativa interior de una construcción tradicional de mampostería sin ninguna modificación, donde, Testigo_S_T_A1 es un equipo de registro Data Loggers EASYLOG USB ubicado en el centro del Módulo a 0,65 metros aproximados de las tapas inferior y superior, en una base fija en el punto medio del espacio y Testigo_S_T_S1 es un equipo de medición superficial ubicado sobre la fachada Sur próximo a la superficie interna del muro.

En la tercera situación se establece el Módulo B conformado por Testigo_S_P_B1 para medir las temperaturas y humedades

relativas interiores de una configuración de mampostería aplicando estrategias de enfriamiento pasivo a partir del uso de la configuración patrón SISTEMA 04-B, la medición se realiza a partir de 1 equipo de registro Data Loggers EASYLOG USB, ubicado en el centro del cerramiento a 0,65 metros aproximados de las tapas inferior y superior, en una base fija para captar la temperatura final transmitida por la masa térmica después de pasar por la radiación, la convección y la conducción; y, un equipo Testigo_S_P_B2 ubicado sobre la fachada sur próximo a la superficie interna del muro para captar la temperatura final transmitida a través de la pieza cerámica.

Resultados

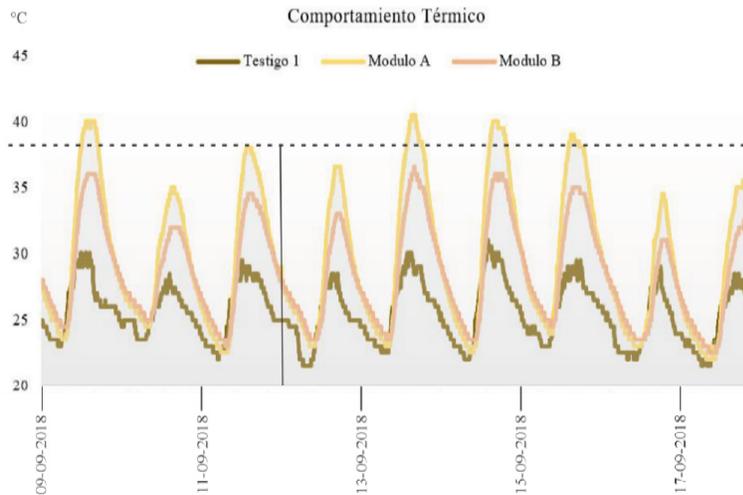


Figura 15. Resultados de Testigo 1, Módulo A y Módulo B.

Se selecciona un día representativo del periodo registrado con valores cercanos a 33°C como temperatura media promedio de la ciudad de Cúcuta, para evaluar de forma comparativa el comportamiento horario de las diferentes situaciones, tomando el día 11 de septiembre de 2018:

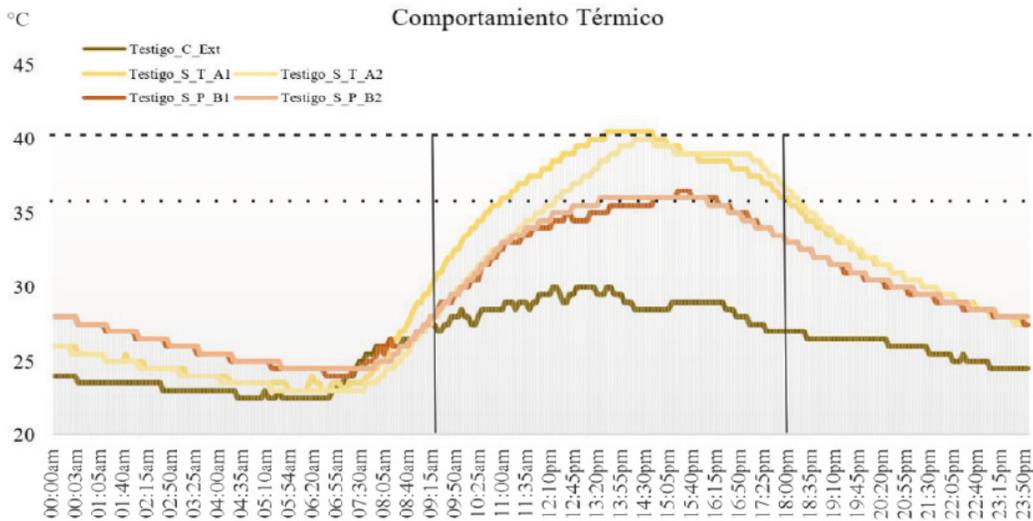


Figura 16. Resultados comparativos de Testigo 1, Módulo A y Módulo B.

Tabla IV. Resultados comparativos de Testigo 1, Módulo A y Módulo B en las horas medias del día.

Testigo C Ext		Testigo S T A1		Testigo S T A1		Testigo S P B1		Testigo S P B2	
Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad	Temperatura	Humedad
°C	%	°C	%	°C	%	°C	%	°C	%
30,00	73	37,00	71	39,5	80,5	34,5	71	35,5	80,5

Discusión

Los resultados muestran una temperatura de 37,0°C en los datos tomados del ambiente dentro del Módulo A y 39,5°C en la temperatura final transferida a la superficie sur a través del cerramiento cerámico, por su parte el Módulo B presenta 34,5°C en la temperatura media interna de la construcción y 35,5°C en la temperatura transferida sobre el paramento sur, estos datos resultan de unas condiciones exteriores de 30°C en la temperatura ambiente y una humedad relativa del 73%.

En los resultados de la medición para condiciones interiores ambiente se deriva una eficiencia térmica de 2,4°C entre Testigo_S_T_A1 edificado a partir de un sistema constructivo tradicional y Testigo_S_P_B1 construido con el patrón SISTEMA 04-B como técnica de enfriamiento térmico pasivo, por su parte los valores registrados entre Testigo_S_T_A1 y Testigo_S_P_B2 demuestran un diferencial de temperatura final transferida de 4°C, lo que demuestra un comportamiento térmico mejorado bajo temperaturas cálidas ambiente.

Los resultados de este estudio demuestran que aplicar técnicas de pasivas como canales de disipación de calor por flujo de aire natural, complementarias a características optimas en la dimensión y factor de sombra, representan mayores ventajas comparativas que el sistema tradicional de mampostería para el clima de la ciudad de Cúcuta al alterar los procesos de transferencia de calor, haciendo posible que las propiedades de los componentes puedan maximizar las oportunidades de eficiencia respecto a las

variables específicas del clima, en marcado dentro del contexto socioeconómico y estético de la región.

Agradecimientos

Los autores presentan sus agradecimientos a la Universidad Francisco de Paula Santander y Colciencias como entidades promotoras del desarrollo de la investigación y la innovación a nivel regional y nacional, así mismo, al Centro de Investigación en Materiales Cerámicos por su disposición para permitir el desarrollo de este proyecto dentro de sus instalaciones, y a los integrantes de los grupos de investigación GITEC y GRAMA por su compromiso con el desarrollo de nuevas soluciones constructivas desde una perspectiva científica.

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación permiten comprobar que a través de la aplicación de estrategias de enfriamiento pasivo sobre las superficies iniciales de la envolvente cerámica es posible aumentar las propiedades de aislamiento térmico en sistemas constructivos de mampostería sin incrementar los valores finales de la construcción, como una solución viable que alcanza una disminución de 4°C en promedio en la temperatura final respecto al sistema constructivo estándar.

Se presenta un modelo viable para envolventes arquitectónicas eficientes en climas cálidos y aplicable en construcciones de bajo costo, el patrón propuesto consigue una sinergia entre estrategias de ventilación y sombreado a través de una modulación que potencializa los valores funcionales

y formales de dos productos tradicionales bloque H10 y H15, configurando cerramientos de fácil aplicación, económicos, autoconstructivos, autoportantes, de rápida instalación, adaptables y con un espesor de 150mm, una característica funcional para la construcción actual; así mismo presenta un modelo de bajo mantenimiento, durable y con valor estético agregado, demostrando que los sistemas constructivos y productos utilizados en la región puede cumplir una función estructural, estética y térmica en la arquitectura local.

Esta investigación demuestra que es necesaria una caracterización de las propiedades físicas, funcionales y térmicas de la envolvente cerámica en la región, para identificar las ventajas de los recursos disponibles, considerando que en Norte de Santander la envolvente se encuentra inmersa dentro de un clima cálido extremo, y, por tanto, la mampostería constructiva que constituye los cerramientos verticales define las condiciones térmicas interiores de la edificación.

Procesos experimentales como los aplicados en esta investigación permiten un estudio real del comportamiento térmico de los materiales, las respuestas que arrojan perfilan las estrategias que deben contener las nuevas piezas cerámicas en materia de innovación tecnológica, fortaleciendo la toma de decisiones en los procesos productivos en pro del desarrollo industrial y la competitividad en el sector de la cerámica, así como apoya la credibilidad en los nuevos desarrollos desde el marco de eficiencia energética y sostenibilidad, con sistemas constructivos y productos testeados térmicamente.

Referencias

[1] J. Sánchez & P. Ramírez, El clúster de la cerámica del área metropolitana de

Cúcuta. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2013

- [2] J. I. Baixas, “Envolvente: la piel de los edificios”, *ARQ (Santiago)*, vol. 82, pp. 98-101. Diciembre 2012. Doi: 10.4067/S0717-69962012000300016
- [3] C. Vásquez, “El diseño del sistema de cerramiento”, *ARQ (Santiago)*, vol. 82, pp. 102-107, Diciembre 2012. Doi: 10.4067/S0717-69962012000300017
- [4] G. Y. Yun, “Influences of perceived control on thermal comfort and energy use in buildings”, *Energy and Buildings*, vol. 158, pp. 822 - 830. January 2018. Doi: 10.1016/j.enbuild.2017.10.044
- [5] 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. Doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.163
- [6] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina y C.X. Díaz-Fuente, "Experimentación comparativa de transferencia de calor por puente térmico a partir de la modificación de la geometría de los tabiques en bloque cerámico H10", *Respuestas*, vol. 25, no. s2, pp. 29-35, 2020
- [7] S. M. Rozo-Rincón, J. Sánchez 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, junio 2014. Doi: 10.18359/rcin.8
- [8] M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and J. S. Sánchez-Zúñiga, “Cámaras de aire ventiladas en un producto cerámico tradicional para envolventes de mampostería con enfriamiento pasivo”,

- Mundo Fesc*, vol. 10, no. 19, pp. 128-135, junio 2020
- [9] M. S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina & C. X. Diaz-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. 012007, November 2018. Doi: 10.1088/1742-6596/1388/1/012007
- [10] I. Guillén, V. Gómez-Lozano, J. M. Fran, P. A. Lopez-Jimenez, "Thermal behavior analysis of different multilayer façade: Numerical model versus experimental prototype", *Energy and Buildings*, vol. 79, pp. 184-190, Agosto 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.05.006>
- [11] A. Mohammadi, M. R. Saghafi, M. Tahbaz & F. Nasrollahi, "The study of climate-responsive solutions in traditional dwellings of Bushehr City in Southern Iran", *Journal of Building Engineering*, vol. 16, pp. 169 - 183. March 2018. Doi: 10.1016/j.jobee.2017.12.014
- [12] R. Yao, V. Costanzo, X. Li, Q. Zhang & B. Li, "The effect of passive measures on thermal comfort and energy conservation. A case study of the hot summer and cold winter climate in the Yangtze River region", *Journal of Building Engineering*, vol. 15, pp. 298 – 310, January 2018. Doi: 10.1016/j.jobee.2017.11.012
- [14] R. Manrique, et al. "Analysis of barriers to the implementation of energy efficiency actions in the production of ceramics in Colombia", *Energy*, vol. 143, pp. 575-584, 2018. Doi: 10.1016/j.energy.2017.11.023
- [13] Cámara de Comercio de Cúcuta (CCC) 2022, Datos geográficos, Cúcuta: Cámara de Comercio de Cúcuta
- [15] K.Y. Li, C. Fleischmann & M. Spearpoint, "Determining Thermal Physical Properties of Pyrolyzing New Zealand Medium Density Fibreboard (MDF)" *Chemical Engineering Science*, vol. 95, pp.211-220, may 2013. Doi: 10.1016/j.ces.2013.03.019
- [16] S. Yu, P. Hing & X. Hu, "Thermal conductivity of polystyrene–aluminum nitride composite", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 33, pp. 289-292, February 2002. Doi: 10.1016/S1359-835X(01)00107-5
- [17] W. Contreras, M. Galban & S. Sepulveda, "Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta", *Entre Ciencia e Ingeniería*, vol. 12, no. 23, pp. 16-22, marzo 2018, DOI: <http://dx.doi.org/10.31908/19098367.3698>
- [18] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2020, Atlas Climatológico de Colombia, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [19] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2018 Informe estación Universidad Francisco de Paula Santander, promedio horario de radiación, Cúcuta: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [20] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2021, régimen anual de viento, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales