


# Patrones constructivos de enfriamiento pasivo para mampostería cerámica de bajo costo

## *Passive cooling construction patterns for low-cost ceramic masonry*

<sup>a</sup>Marlyn Stephanny Narváez-Ortega, <sup>b</sup>Jorge Sánchez-Molina, <sup>c</sup>Carmen Xiomara Diaz-Fuentes

 <sup>a</sup>. Magister en Arquitectura Bioclimática, stephannynarvaez@outlook.com, Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica, Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia.

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

 <sup>c</sup>. 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:** Mayo 18 de 2021 **Aceptado:** Septiembre 15 de 2021

**Forma de citar:** M.S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina, C.X. Diaz-Fuentes, "Patrones constructivos de enfriamiento pasivo para mampostería cerámica de bajo costo", *Mundo Fesc*, vol 11, no. S6 pp. 79-92, 2021.

### Resumen

---

La presente investigación estudia el desempeño térmico de una nueva configuración de cerramiento de mampostería que genera un sistema mixto al emplear 2 clases de bloque cerámico hueco tradicional de la industria nortesantandereana, el bloque H10 de 100mm de espesor y el bloque H15 de 150mm de espesor, para producir modulaciones que incorporan estrategias de enfriamiento térmico al introducir canales de renovación de aire y una superficie inicial discontinua que permite un control solar por sombreado, características de inhibición y disipación de energía acumulada que mitigan la transmitancia térmica bajo condiciones ambientales de alta temperatura. Se aplica simulaciones térmicas para analizar perfiles de distribución de temperatura y flujo de calor en 6 sistemas constructivos con patrones de enfriamiento pasivo en la forma y función de las superficies exteriores, para el análisis se exponen los modelos a las condiciones climáticas más extremas de un clima cálido semiárido tomando como referencia los periodos de mayor temperatura y radiación solar en Cúcuta, Colombia para determinar el funcionamiento térmico de las diferentes configuraciones y evaluar la viabilidad de las soluciones. Los resultados demuestran que la implementación de estrategias pasivas de enfriamiento a partir de productos cerámicos de bajo costo en sistemas de mampostería resulta una alternativa eficiente y económica que favorece el rendimiento térmico de la envolvente, un aspecto especialmente importante en climas cálidos extremos.

**Palabras clave:** Bloque cerámico, Sistema constructivo, Enfriamiento térmico.

---

**Autor para correspondencia:**

\*Correo electrónico: jorgesm@ufps.edu.co



## Abstract

---

The present research studies the thermal performance of a new masonry enclosure configuration that generates a mixed system by employing 2 types of traditional hollow ceramic block from the nortesantandereana industry, the 100mm thick H10 block and the 150mm thick H15 block, to produce modulations that incorporate thermal cooling strategies by introducing air renewal channels and a discontinuous initial surface that allows solar control by shading, inhibition characteristics and dissipation of accumulated energy that mitigate thermal transmittance under high temperature environmental conditions. Thermal simulations are applied to analyze profiles of temperature distribution and heat flow in 6 building systems with passive cooling patterns in the form and function of the exterior surfaces. For the analysis, the models are exposed to the most extreme climatic conditions of a hot semi-arid climate taking as reference the periods of highest temperature and solar radiation in Cúcuta, Colombia to determine the thermal performance of the different configurations and evaluate the feasibility of the solutions. The results show that the implementation of passive cooling strategies based on low-cost ceramic products in masonry systems is an efficient and economical alternative that favors the thermal performance of the envelope, an especially important aspect in extreme hot climates.

**Keywords:** Ceramic block, Construction system, Thermal cooling.

## Introducción

Un aspecto de gran interés dentro del desarrollo de soluciones constructivas con principios de eficiencia energética es el perfeccionamiento de la envolvente como determinante de las condiciones térmicas del espacio que protege, una temática ampliamente estudiada en la configuración de cerramientos arquitectónicos en climas cálidos [1],[2],[3], donde es especialmente relevante la adición de técnicas constructivas capaces de regular los elementos atmosféricos para disminuir los consumos energéticos en la climatización interior y la generación de bienestar térmico desde una perspectiva sostenible [4].

En Colombia, especialmente en el contexto climático nortesantandereano con condiciones medioambientales de clima cálido semiárido [5] que registra temperaturas máximas promedio de 33°C y una importante radiación solar que puede alcanzar los 796,8 W/m<sup>2</sup> en las horas medias del día [6], es una necesidad inminente de la arquitectura y la construcción de los sistemas de cerramiento el reducir el impacto de los flujos de energía provocados por radiación solar directa, por tanto, es un

objetivo del diseño agregar funciones a los componentes de la envolvente para actuar como elemento protector, incrementando su potencial de respuesta frente a las condiciones desfavorables del clima [7].

El desarrollo científico presenta nuevos modelos de diseño en materia de envolventes arquitectónicas a partir lineamiento más eficaces para el control de los flujos de energía, donde, principios de control solar y disipación de calor acumulado proyectan un potencial de respuesta en soluciones efectivas para disminuir los porcentajes de energía que impactan negativamente sobre las superficies de la envolvente, técnicas como el sombreado [8], el aumento en el espesor [9,10,11] y la disipación de calor a través de sistemas de flujo de aire [12] pueden constituir soluciones efectivas en la consecución de balance térmico en las edificaciones. Así mismo, dichas soluciones deben contemplar una viabilidad efectiva determinada por los recursos materiales disponibles, las tradiciones, los componentes socioculturales, la economía y las condiciones climáticas específicas, equivalentes a los avances técnicos y tecnológicos de la región [13].

El factor sombra es una de las estrategias más implementadas para cumplir con condiciones de temperatura interior óptimas de forma pasiva, para esto los elementos de sombreado deben considerarse e integrarse en la etapa inicial de los procesos de diseño de la envolvente, a través de la introducción de barreras exteriores o volúmenes en las capas superficiales del cerramiento que funcionen como un amortiguador térmico o disminuyan el área de exposición a la radiación solar directa y por tanto los porcentajes calor transmitido. En la envolvente el control solar a través de volúmenes que generen sombras puede constituir un doble propósito, una función concerniente a la energía y una relación con la expresión estética, como una oportunidad esencial para la creación de un lenguaje arquitectónico desde el diseño.

La ventilación natural es una de las técnicas pasivas de mayor viabilidad en el diseño de envolventes arquitectónicas térmicamente efectivas en climas cálidos [14,15], a través de la manipulación del flujo natural del viento con canales de aire que incorporan propiedades a las características de las piezas o disposición constructiva para formar cámaras ventiladas de disipación de calor, alterando la transferencia de energía, para un funcionamiento efectivo algunos aspectos a considerar son: la orientación, la dimensión y la forma de las aberturas, y si además constitutivo del revestimiento externo presenta una baja conductividad térmica, representa la forma más eficiente de mejorar el rendimiento térmico de la envolvente.

En cuanto al espesor de los cerramientos, entre mayor distancia exista entre la superficie inicial de una pared y la superficie final de la misma mayor resistencia térmica presentará el modelo, retardando la transferencia de energía, si ese modelo presenta a su vez, un volumen entre la superficie inicial y la superficie final con

diferentes capas de masa térmica y éstas se caracterizan por una baja conductividad, como por ejemplo un volumen compuesto por paredes cerámicas y cámaras de aire internas como es el caso de piezas cerámicas constructivas, se generará una ventaja para la resistencia térmica del cerramiento, donde, entre mayor sea el espesor de la pieza y el volumen de aire formado dentro de esta menor transmitancia térmica se presentará hacia la superficie final.

En este sentido, el presente trabajo se orienta a generar soluciones a partir del reconocimiento de las oportunidades del contexto nortesantandereano, donde la construcción se encuentra marcada por la riqueza de su emplazamiento [16], la arcilla como materia prima vernácula y las piezas generadas a partir de los procesos de la industria ceramista para construcción de mampostería [17], donde, la mayor producción está conformada por bloques cerámicos de la industria arcillera de la región [18], por tanto, esta investigación se enfoca en la reinterpretación de los productos tradicionales de bajo costo en nuevos modelos a través del diseño de sistemas constructivos para mampostería cerámica con propiedades de aislamiento térmico, planteando posibles respuestas en materia de envolvente arquitectónica como moldeadora de las temperaturas interiores en las edificaciones locales, articulando estrategias efectivas a partir de los recursos disponibles y desde una perspectiva de bajo costo y fácil aplicación constructiva.

### ***Comportamiento térmico de sistemas constructivos tradicionales***

Tomando como punto de partida los productos cerámicos tipo bloque se seleccionan las unidades constructivas bloque H10 de 100mm de espesor (Figura 1) y bloque H15 de 150mm de espesor como objeto de estudio (Figura 2), al presentar ventajas

formales y dimensionales que permiten mayor resistencia térmica (Tabla I) respecto a diferentes muestras de su misma tipología [19], [20], puesto que el bloque H10 es una pieza con un volumen de aire del 63% dentro de su estructura interna, un buen índice considerando la baja conductividad térmica del aire respecto a la arcilla roja cosida, esta ventaja, sumada al número de paredes que separan la superficie inicial de la superficie final, así como la forma y número de tabiques que componen su estructura lo convierten en una opción eficiente dentro de un sistema de mampostería.

Así mismo, la pieza denominada Bloque H15, es un producto que aumenta en 50mm el espesor de H10, incrementando el recorrido térmico entre la superficie inicial expuesta a incidencia solar y la superficie final interna de la envolvente, presentando mayor número de pares y cámaras de aire con 9 cavidades horizontales que representan el 55% del volumen total de la pieza, conservando un mismo número de tabiques, propiedades que convierten a H15 en un excelente producto para edificar sistemas de mampostería en un clima cálido.

**Tabla I.** Características físicas de los bloques cerámicos tradicionales.

Pieza	Alto	Largo	Espesor	Número de Paredes	Número de Tabiques	Número de Cámaras Aire	Porcentaje Aire	Porcentaje Cerámica
H10-A	200mm	300mm	100mm	3	4	6	63,0%	37,0%
H15	200mm	300mm	150mm	4	4	9	55,6%	44,4%



**Figura 1.** Productos tipo bloque H10.



**Figura 2.** Productos tipo bloque H15.

En relación con el comportamiento térmico de los productos evaluados en simulaciones de distribución de temperatura se han obtenido resultados de temperatura final transferida de 35,6°C en sistemas de mampostería fabricados con bloques H10 y de 34,9°C en la superficie final implementando unidades H15 como se reporta en la Tabla II [21], los resultados previos muestran un diferencial de temperatura de 0,95°C entre las piezas utilizadas en sistemas constructivos estándar. Por tanto, reconociendo las propiedades físico-térmicas de las muestras H10 y H15 se consideran como una buena alternativa para mejorar el desempeño térmico de la mampostería dentro de un nuevo sistema constructivo que implemente los dos modelos constructivos [22].

Tabla II. Comportamiento térmico de sistemas constructivos edificados con bloques cerámicos tradicionales.

Nombre	Temperatura promedio exterior (°C)	Temperatura mínima interior (°C)
Bloque H10	69,168	35,667
Bloque H15	69,287	34,958

### ***Redefinición constructiva del diseño de muros de mampostería***

Se establece un modelo patrón que articula de forma mixta bloque H10 (1) y bloque H15 (2) como estrategia para aumentar la masa térmica 50mm con un espesor que permite a través de 3 cavidades abiertas la oportunidad de generar una renovación de flujo de aire que disipe la energía acumulada, esta técnica se complementa con la disposición constructiva de las piezas articulando porcentajes de sombreado través del volumen, como estrategias pasivas de enfriamiento en sistemas de mampostería de bajo costo para alterar la transmitancia térmica entre la superficie inicial sometida a radiación solar directa y la temperatura resultante en la superficie interna de las piezas cerámicas dentro del sistema de cerramiento.

Las diferentes disposiciones que permiten las piezas del mampuesto son eficientes desde la forma y la función arquitectónica con una innovación inmersa en el aparejo que permite disminuir la absorción de calor y aumentar la pérdida de energía. una línea de sistemas constructivos de enfriamiento pasivo basados en la materialidad local, auto constructivos, con rapidez de instalación, adaptabilidad al mercado, bajo mantenimiento y durabilidad, que puede ser aplicada en construcciones de vivienda social o cualquier construcción de bajo costo.

### ***Descripción de los patrones constructivos***

El aparejo de las unidades constructivas (1) y (2) configura dos volúmenes en un sistema autoportante de apilamiento con junta de

mortero estándar (3): donde la junta vertical de mortero con 100mm de ancho (3A) cubre las 6 cavidades internas de los bloques H10 y H15 y permite 3 cavidades abiertas en el bloque H15 como pasantes de ventilación natural, la junta horizontal de mortero (3B) cubre las caras superiores e inferiores 100mm en el bloque H10 y 150mm en el bloque H15 (Figura 3).

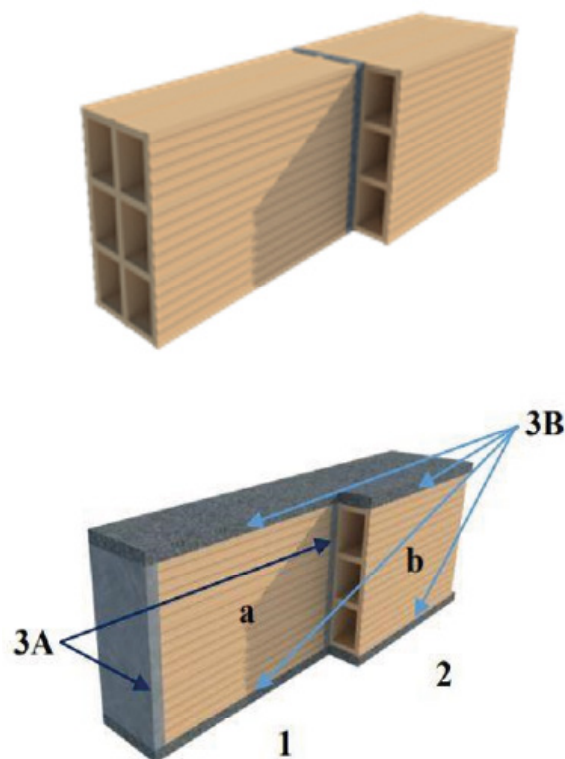


Figura 3. Patrón constructivo: (1) Bloque H-10 estándar, (2) Bloque H-15 estándar y (3) Junta de mortero estándar.

En este patrón constructivo la pieza (2) permite una extensión de 50mm en la superficie (b) respecto a la superficie (a), generando canales pasantes dispuestos en horizontal de flujo de aire para disipar la energía térmica y cuyo volumen proyecta a su vez sombreado sobre la superficie (a) del



bloque (1), disminuyendo los porcentajes absorción de calor y aumentando la pérdida de energía (Figura 4).

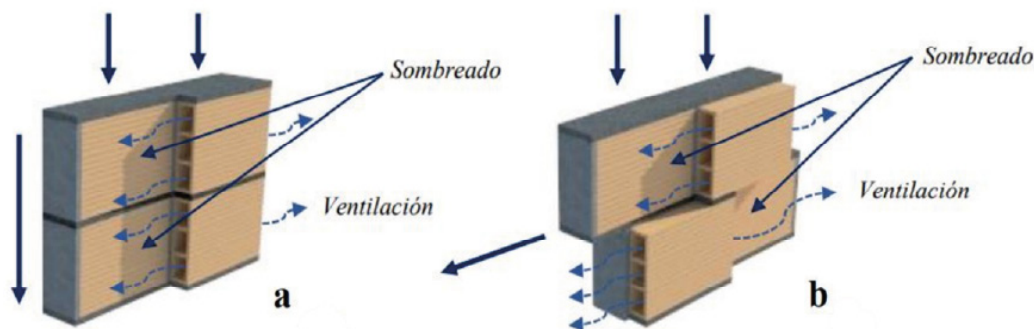


Figura 4. Modelos de aparejo vertical: (a) Hiladas continuas y (b) Hiladas traslapadas.

El patrón constructivo configura un modelo de volúmenes variables que permite diferentes formas tridimensionales en el mampuesto, modificando la disposición de las piezas (1) y (2) en el eje horizontal (Figura 4), basados en la materialidad vernácula de la región de Norte de Santander, con formas bidimensionales y tridimensionales que potencializa los valores de los productos más económicos y mejores posicionados en la industria cerámica, fácilmente adaptables a la construcción de cerramientos arquitectónicos exteriores con propiedades de aislamiento térmico para climas cálidos que en Colombia representan el 80% de las condiciones climáticas [23].

Una solución con diversas posibilidades configurativas y un espesor máximo de 150mm factible para la construcción local y nacional, el diseño responde a requerimientos funcionales, formales y térmicos, con una innovación inmersa en el aparejo de dos productos cerámicos tradicionales constituyendo un sistema que permita disminuir la absorción de calor y aumentar la pérdida de energía. Una solución auto constructiva, de fácil aplicación, adaptable al mercado, de bajo mantenimiento y durabilidad, para construcciones de bajo costo.

## Materiales y Métodos

### Proceso de Validación

En esta fase de validación térmica se estudia el desempeño de los diseños por medio del método de los elementos finitos (FEM) en simulación computacional a través software Ansys, en relación a la distribución de temperatura y el flujo de calor para 5 sistemas constructivos de mampostería empleando un patrón de enfriamiento pasivo en configuraciones con bloque cerámico tradicional H10 y H15 de forma mixta (Figura 5), bajo condiciones ambientales específicas del clima cálido de la ciudad de Cúcuta, Colombia de 33°C. Este proceso determinará las propiedades térmicas de las soluciones cuyos resultados se emplean para definir a partir de análisis comparativo la viabilidad técnica en relación con la transferencia energía de los sistemas tradicionales H10 y H15.

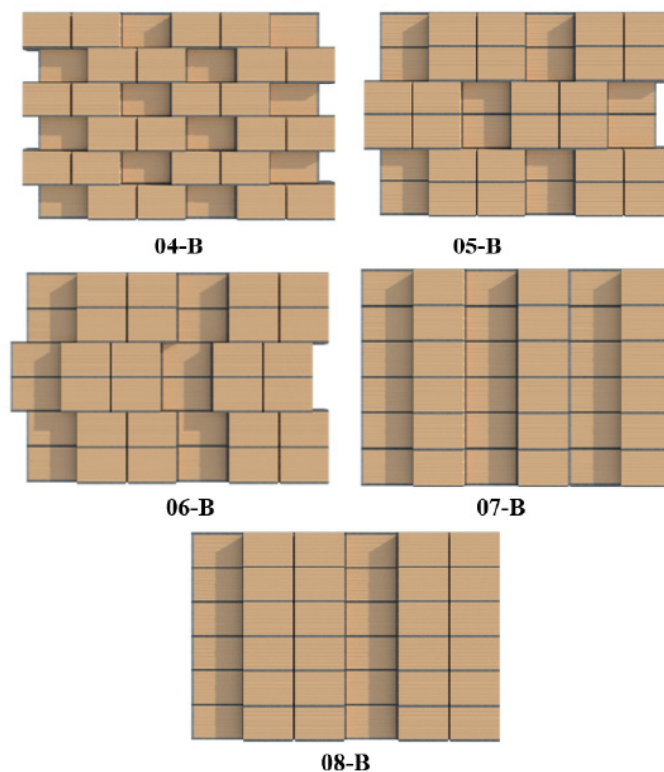


Figura 5. Modelos de aparejo vertical: (a) Hiladas continuas y (b) Hiladas traslapadas.

### Datos Suministrado

Los datos de conductividad térmica suministrados para los materiales corresponden a bloques de arcilla estándar [24] y mortero de cemento [25]:

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

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

Los datos de condiciones medioambientales locales se toman del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM para una localización geográfica de latitud: 7.8°N, longitud: 72.4°O, altitud: 320msnm en Cúcuta, tomando como punto de referencia para la temporalidad el mes de septiembre en la ciudad de Cúcuta, como el periodo que registra las temperaturas más altas a lo largo del año, evaluando las muestras sobre las horas medias del día entre las 12:00horas a las 13:00horas de un día tipo, donde se registra la mayor radiación solar una irradiancia solar máxima promedio

de 695,4 W/m<sup>2</sup> en cielos despejados [6], y una velocidad del viento de 5,5m/s.

### Datos Calculados

En relación con los datos calculados, el coeficiente de transferencia de calor por convección es el valor que depende de la velocidad del viento y las condiciones de temperatura y presión en las que se encuentra.

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

Donde,

*h*: Coeficiente de transferencia de calor por convección.

*Nu*: Número de Nusselt.

*k*: Conductividad térmica del aire.

*Lc*: Longitud característica asumida de 30cm.

El número de Nusselt es un valor adimensional que describe el aumento en la transferencia de calor sobre una superficie. Para sección transversal rectangular y flujo cruzado, es:

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

Donde,

$Re$ : Número de Reynolds.

$Pr$ : Número de Prandtl.

El número de Reynolds es un valor adimensional que describe el comportamiento del flujo de aire sobre la superficie del bloque.

$$Re = \frac{\rho * V * Lc}{\mu} \quad (2)$$

Donde,

$\rho$ : Densidad del aire.

$V$ : Velocidad del viento.

$\mu$ : Viscosidad dinámica del aire.

Las propiedades del aire a temperatura de 33°C, datos tomados de [26]:

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

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

$$\mu = 0,000018858 \text{ kg/ms}$$

$$Pr = 0,72736$$

Ejecutando las ecuaciones en orden (3), (2) y (1), se obtiene un coeficiente de transferencia de calor por convección de  $h = 19,035 \text{ W/ m}^2\text{}^\circ\text{C}$  aplicado sobre la zona externa de la geometría donde la velocidad del viento tiene efecto, así mismo, se asume una transferencia de calor por una convección natural de  $5 \text{ W/ m}^2. \text{ }^\circ\text{C}$  y un flujo de calor de  $695,4 \text{ W/m}^2$ .

## Procedimiento

Con el software SOLIDWORKS 2017 se ajusta a partir de diseño asistido por computador las diferentes configuraciones y se guarda en extensión Parasolid, para posteriormente importar en ANSYS R16, para los sistemas 04-B, 05-B, 06-B, 07-B y 08-B (Figura 6):



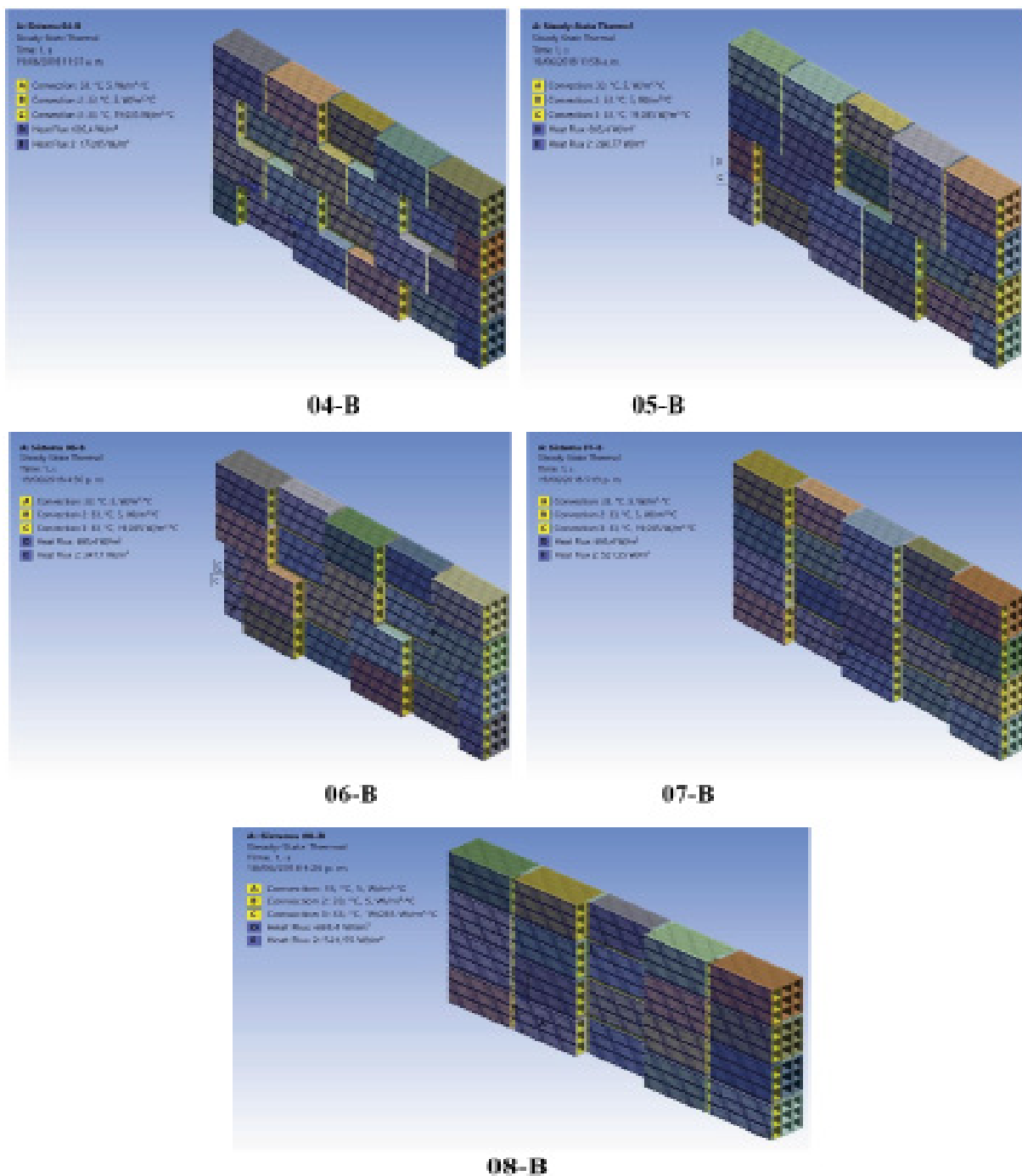


Figura 6. Condiciones aplicadas a las configuraciones.

- Donde,
- A: Convección ( $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).
  - B: Convección en orificios de ventilación ( $5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).
  - C: Convección ( $19,035 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ).
  - D: Flujo de calor ( $695,4 \text{ W/m}^2$ ).
  - E: Flujo de calor reducido ( $Q_{\text{Solar}} * \% \text{reducido}$ ).

La reducción en la radiación solar incidente se asume de acuerdo con la información proporcionada y se muestra en la Tabla III:

Tabla III. Radiación solar reducida por efectos de la sombra.

Nombre	% reducido	Radiación solar reducida (W/m <sup>2</sup> )
Sistema 04-B	25%	173,85
Sistema 05-B	37%	260,77
Sistema 06-B	50%	347,70
Sistema 07-B	75%	521,55
Sistema 08-B	75%	521,55

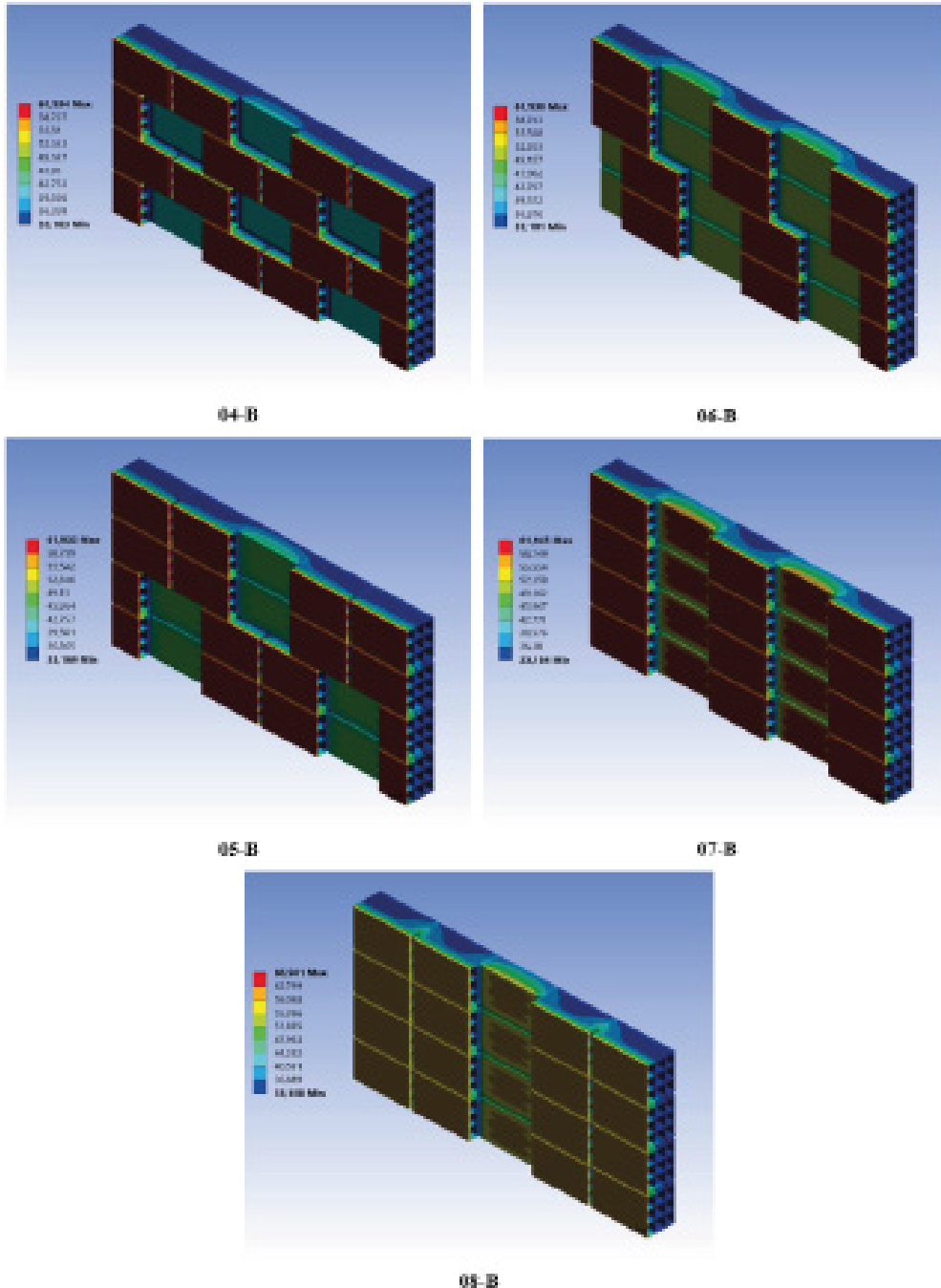


Figura 6. Isometría frontal de distribución de temperatura.

Los resultados de distribución de calor muestran una temperatura final promedio similar en todas las muestras, con un valor de 33,5°C evaluada bajo condiciones de temperatura exterior de 33°C una diferencia de 0,5°C respecto a las condiciones ambiente aplicadas.

**Tabla IV.** Resultados de distribución de temperatura en sistemas constructivos.

Nombre	Temperatura máxima exterior (°C)	Temperatura promedio exterior (°C)	Temperatura mínima interior (°C)	Temperatura Promedio interior (°C)
Sistema 04-B	61,934	56,418	33,163	33,275
Sistema 05-B	61,935	57,637	33,169	33,359
Sistema 06-B	61,938	56,922	33,181	33,600
Sistema 07-B	61,945	61,138	33,184	33,770
Sistema 08-B	66,501	61,508	33,188	33,551

## Discusión

Desde el proceso de exploración en la configuración del sistema constructivo se estableció un modelo patrón que articula de forma mixta bloque H10 y bloque H15 como estrategia para aumentar la masa térmica 50 mm con un espesor que permite a través de 3 cavidades abiertas una oportunidad de flujo de aire para disipar energía acumulada, esta técnica se complementa con la disposición constructiva de las piezas articulando porcentajes de sombreado través del volumen como estrategias pasivas de enfriamiento en sistemas de mampostería de bajo costo.

Las diferentes disposiciones que permiten las piezas del mampuesto son eficientes desde la forma y la función arquitectónica con una innovación inmersa en el aparejo que permite disminuir la absorción de calor y aumentar la pérdida de energía. Resultando en un patrón de ventilación y sombreado que potencializa los valores funcionales y formales de dos productos tradicionales de los productos H10 y H15 configurando cerramientos de fácil aplicación, económicos, auto constructivos, portabilidad, rápida instalación, adaptabilidad, con un espesor de 150mm funcional para la construcción actual, de bajo mantenimiento, durabilidad, valor estético agregado.

Si se comparan los resultados con estudio previos se puede encontrar un comportamiento positivo que contribuye efectivamente al balance térmico y demuestra una mejora del comportamiento térmico de los sistemas

constructivos tradicionales, puesto que un muro de mampostería fabricado con bloque cerámico tipo H10 muestra una transmitancia térmica en la superficie final de 35,6°C lo que presenta una disminución de la temperatura transferida de 2,1°C respecto a los sistemas propuestos, así mismo presenta una reducción de 1,4°C respecto a un producto H15 con una temperatura en su superficie final de 34,9°C, por tanto, los sistemas propuestos que utilizan estrategias de disipación de energía de forma pasiva presentan una buena oportunidad de desarrollo para envolventes cerámicas.

## Conclusiones

Los resultados del diseño muestran un modelo que aplica disipación de calor por convección natural en las 3 cavidades abiertas al flujo de aire dentro de la disposición constructiva del bloque H15, así como la aplicación de porcentajes de control solar por sombreado como modelo de enfriamiento pasivo, cuyo resultado evidencia ventajas en el comportamiento térmico de recursos alternativos que valoran el potencial de la tradición en las construcciones locales, comprobando que los sistemas de mampostería cerámica pueden regular los flujos de energía desde la materialidad y la disposición constructiva, con estrategias que inhiben el recalentamiento de los planos superficiales de la envolvente, evitando la transferencia de temperatura entre el exterior y el interior del cerramiento.

El proceso de diseño deriva en la proyección de 5 patrones de una línea de sistemas

constructivos basados en la materialidad vernácula, auto constructivos, con rapidez de instalación, adaptabilidad al mercado, bajo mantenimiento y durabilidad, que puede ser aplicada en construcciones de bajo costo, potencializando los valores de los productos mejores posicionados en la industria, siendo fácilmente integrable en la construcción actual para la generación de resistencia térmica desde el sistema constructivo a través de características eficientes, los modelos permiten una aplicación de diversas formas configurativas en diferentes planos volumétricos con un mismo espesor de 150mm, viable en la construcción local y nacional.

La generación de innovación aportando valor agregado a los elementos mejor posicionados en el mercado constituye un nicho específico de desarrollo para optimar la calidad de las construcciones en un caso con condiciones medioambientales extremas de clima tropical cálido. El presente trabajo abre una posibilidad de desarrollo al generar una solución constructiva con productos tradicionales, que puede ser implementada con facilidad, experimentando con las posibilidades evolutivas de la envolvente interpretando diferentes configuraciones en una exploración constructiva, expresiva y térmica de la mampostería cerámica con el objetivo de proyectar soluciones innovadoras en sistemas constructivos con eficiencia térmica para condiciones climáticas de alta temperatura característica de la región.

Al reevaluar los aspectos constructivos y arquitectónicos de un material tradicional se logran avances en la configuración de modelos que puedan responder a los desafíos en la reducción del consumo energético en las edificaciones, logrando a través de la aplicación de técnicas de enfriamiento pasivo característica de aislamiento térmico sin incrementar los valores finales de construcción, como una solución viable que alcanza una disminución 2°C en promedio en la temperatura final respecto al sistema constructivo estándar de la región, una solución para envolventes arquitectónicas

de mampostería eficientes en climas cálidos para construcciones de bajo costo.

## Referencias

- [1] F. Manzano-Agugliaro, F.G. Montoya, A. Sabio-Ortega and A. García-Cruz, “Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort”, *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 49, pp. 736-755, September 2015. Doi: 10.1016/j.rser.2015.04.095
- [2] W. Cui, G. Cao, J. H. Park, Q. Ouyang and Y. Zhu, “Influence of indoor air temperature on human thermal comfort, motivation, and performance”, *Building and environment*, vol. 68, pp.114-122, October 2013. Doi: 10.1016/j.buildenv.2013.06.012
- [3] R. Yao, V. Costanzo, X. Li, Q. Zhang and 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.job.2017.11.012
- [4] C. Varini, “Envolventes arquitectónicas, nueva frontera para la sostenibilidad energético-ambiental, cuáles modelos y cuáles aplicaciones”. *Alarife: revista de arquitectura*, vol. 17, pp. 64 – 96, marzo 2009
- [5] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) 2020, *Atlas Climatológico de Colombia*, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- [6] 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
- [7] C. Vásquez, “El diseño del sistema de cerramiento”, *ARQ (Santiago)*, vol. 82, pp. 102-107, diciembre 2012. Doi: 10.4067/S0717-69962012000300017
- [8] 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
- [9] C. Suárez, J. L. Molina, “Análisis del efecto chimenea en fachadas ventiladas opacas mediante correlaciones del flujo másico inducido. Aplicación para el dimensionado de anchos de cámara”, *Informes de la construcción*, vol. 67, pp. 539, agosto 2015. Doi: 10.3989/ic.13.155
- [10] A. Mohammadi, M. R. Saghafi, M. Tahbaz and 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.jobbe.2017.12.014
- [11] A. H. GhaffarianHoseini, N. Dalila-Dahlan, U. Berardi, A. GhaffarianHoseini, N. Makaremi and M. GhaffarianHoseini, “Sustainable energy performances of green buildings: A review of current theories, implementations and challenges”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 1-17, September 2017. Doi: 10.1016/j.rser.2013.01.010
- [12] J. I. Baixas, “Envolvente: la piel de los edificios”, *ARQ (Santiago)*, vol. 82, pp. 98-101. Diciembre 2012. Doi: 10.4067/S0717-69962012000300016
- [13] P. J. Jaime-Ledesma, “La técnica constructiva en la arquitectura”, *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, vol. 9, pp. 21-37, enero 2014
- [14] V. M. Soto-Francés, E. J. Sarabia-Escriva, J. M. Pinazo-Ojer, E. Bannier, V. Cantavella-Soler and G. Silva-Moreno, “Modeling of ventilated façades for energy building simulation software”, *Energy and Buildings*, vol. 65, pp. 419-428, October 2013. Doi: 10.1016/j.enbuild.2013.06.015
- [15] C. Varini, “Envolventes arquitectónicas sensibles al clima”. *Revista Pre-til*, no. 26, pp. 33-44, junio 2012
- [16] J. M. Mogrovejo-Andrade, L. M. Bastos-Osorio and J. Antuny-Pabón, “Impacto económico del sector cerámico en San José de Cúcuta (Colombia)”. *Universidad & Empresa*, vol. 17, pp. 157-180, febrero 2015. Doi: 10.12804/rev.univ.empresa.29.2015.07
- [17] J. Sánchez & P. Ramírez, El clúster de la cerámica del área metropolitana de Cúcuta. Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2013
- [18] M. S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina and 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
- [19] M. S. Narváez-Ortega, J. Sánchez-Molina & J. V. Sánchez-Zúñiga, “Analysis of heat fluxes in ceramic block type building pieces” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2118, pp. 012007, September 2021. Doi: 10.1088/1742-



6596/2118/1/012007

- [20] 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
- [21] M.S. Narvaez-Ortega, J. Sánchez-Molina, and C. X. Diaz-Fuentes, “Comparative evaluation of 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, no. 012007, pp. 1-8, november 2018. Doi: 10.1088/1742-6596/1388/1/012007
- [22] 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
- [23] M.A. Rubiano, “La fachada ventilada y el confort climático: un instrumento tecnológico para edificaciones de clima cálido en Colombia”, *DEARQ*, no. 18, pp.138-145, julio 2016. Doi: 10.18389/dearq18.2016.08
- [24] D. C. Álvarez-Rozo, J. Sánchez-Molina, F. A. Corpas-Iglesias & J. F. Gelves, “Características de las materias primas usadas por las empresas del sector cerámico del área metropolitana de Cúcuta (Colombia)”. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, vol. 57, pp. 247-256. Diciembre 2018. Doi: 10.1016/j.bsecv.2018.04.002
- [25] G. Peña-Rodríguez, J. Peña-Quintero y M. Gómez-Tovar, “Determinación experimental de la conductividad térmica efectiva en bloques extinguidos de arcilla roja”, *Revista Ciencia en Desarrollo*, vol. 5, pp. 15-20, junio 2014. Doi: 10.19053/01217488.3227
- [26] Y. A. Cengel, *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico*. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007