

Aplicación de placas de fibrocemento y paja como sistema de revestimiento exterior e interior para la rehabilitación térmica de muros tradicionales en gres y concreto

Application of Fiber Cement and Straw Plates as an Exterior and Interior Cladding System for Thermal Rehabilitation of Traditional Walls

Recibido: febrero 10 / 2023 • Evaluado: mayo 17 / 2023 • Aceptado: agosto 27 / 2024

CÓMO CITAR

Díaz-Fuentes, C. X., Colmenares-Uribe, A. P., & Díaz-Umaña, Y. (2025). Aplicación de placas de fibrocemento y paja como sistema de revestimiento exterior e interior para la rehabilitación térmica de muros tradicionales en gres y concreto. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 27(1), 163-176.
<https://doi.org/10.14718/RevArq.2025.27.5080>

Carmen Xiomara Díaz-Fuentes*

Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia)
Facultad de Educación, Artes y Humanidades, Departamento de Arquitectura, Diseño y Urbanismo.
Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos GRAMA

Andrea Paola Colmenares-Uribe**

Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia)
Facultad de Educación, Artes y Humanidades, Departamento de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos GRAMA

Yannette Díaz-Umaña***

Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia)
Facultad de Educación, Artes y Humanidades, Departamento de Arquitectura, Diseño y Urbanismo
Grupo de Investigación Taller de Arquitectura y Gestión del Territorio (TARGET)

RESUMEN

La exploración de nuevas aplicaciones de materiales y productos existentes para la construcción es una estrategia para agregar valor a sistemas tradicionales. El propósito de esta investigación es estimar el rendimiento térmico de la implementación de placas de fibrocemento y paja como sistemas constructivos de aislamiento en muros tradicionales de gres y concreto. La metodología es experimental y se divide en dos partes: el diseño del sistema y el análisis de la transferencia de calor. En primer lugar, el diseño explora cuatro tipologías de aislamiento exterior y cuatro tipologías de aislamiento interior conformadas con placas de fibrocemento y paja en muros con bloques de concreto y bloques de arcilla cocida. En segundo lugar, el análisis de la transferencia de calor determina la transmitancia térmica, distribución de temperaturas, flujos de calor a través de cálculos y simulaciones en ANSYS. Los resultados indican que el aislamiento más eficiente está conformado con placa de fibrocemento porque disminuye la transmitancia entre el 50,50 % y el 63,59 % y reduce las temperaturas de las superficies interiores entre 13,61 °C y 14,33 °C. Por otra parte, las tipologías con placa de fibrocemento y paja mejoran en menor medida la transmitancia, entre el 36,41 % y 49,46 % y reducen las temperaturas interiores alrededor de 7 °C, comparados con los muros tradicionales. En definitiva, el sistema de revestimiento ofrece una alternativa de amortiguamiento de la transferencia de calor en muros de bloque de concreto y arcilla cocida en zonas de clima cálido como Cúcuta, Colombia.

Palabras clave

arquitectura; aislante térmico; eficiencia térmica; mampostería; materiales de construcción

ABSTRACT

The exploration of materials and existing products new applications for construction is a strategy to add value to traditional systems. The purpose of this research is to estimate thermal performance of fiber cement and straw plates implementation as insulation construction systems in traditional stoneware and concrete walls. The methodology is experimental and it is divided into two parts: system design and heat transfer analysis. First, design explores 4 types of exterior insulation and 4 types of interior insulation made up of fiber cement plates and straw in walls with concrete blocks and fired clay blocks. Secondly, the heat transfer analysis determines the thermal transmittance, temperature distribution, heat fluxes through ANSYS calculations and simulations. The results indicate that the most efficient insulation is made with fiber cement plate because they reduce transmittance between 50.50 % and 63.59 % and reduce the temperatures of interior surfaces between 13.61 °C and 14.33 °C. On the other hand, the typologies with fiber cement plate and straw improve transmittance to a lesser extent, between 36.41 % and 49.46 %, and reduce interior temperatures by around 7 °C, compared to traditional walls. Ultimately, the cladding system dampens heat transfer in concrete block and fired clay walls.

Keywords

architecture; building materials; masonry; thermal efficiency; thermal insulation

- Arquitecta, Universidad de La Salle. Bogotá (Colombia).
Especialista en Ciudad, Medio Ambiente y Políticas Públicas, Universidad Federal de Paraná. Curitiba (Brasil).
Magíster en Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia).
PHD(c) en Gestión de la Innovación Tecnológica, Universidad de Los Andes. Bogotá (Colombia).
🔗 <https://scholar.google.com/citations?user=5sY1nfgAAAAJ&hl=es>
📄 <https://orcid.org/0000-0002-8223-5887>
✉ carmenxiomaradf@ufps.edu.co / cx.diaz2@uniandes.edu.co
- Arquitecta, Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta (Colombia).
Máster en Ahorro Energético y Sostenibilidad en la Edificación, Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona (España).
🔗 https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=XY_LS34AAAAJ&view_op=list_works
📄 <https://orcid.org/0000-0002-2034-3583>
✉ andreapaolacu@ufps.edu.co
- Arquitecta, Universidad de América. Bogotá (Colombia).
Especialista en Docencia universitaria, Universidad Santo Tomás. Bogotá (Colombia).
Magíster en Gestión Urbana, Universidad Piloto. Bogotá (Colombia).
Investigadora Asociada (I) reconocida por Colciencias.
🔗 <https://scholar.google.com/citations?user=fQyn3Y4AAAAJ&hl=es>
📄 <https://orcid.org/0000-0003-4582-1593>
✉ yannettedu@ufps.edu.co

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de las ciudades a escala mundial es responsable del 70 % de la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (UN, 2023). Ante esta panorámica global, la construcción debe orientar sus procesos hacia prácticas con mayor eficiencia energética y menor consumo de recursos. Aunque en Colombia no existe una normativa que condicione al sector constructor, que representa alrededor del 6,2 % del producto interno bruto (PIB) del país (Portafolio, 2022). Sin embargo, en el 2015, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio decretó los parámetros y lineamientos para promover la construcción sostenible a través de la *Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones* (MinVivienda, 2015).

Asimismo, existen normativas con el fin de crear ambientes construidos saludables alineados con la protección y promoción de la salud, la priorización del confort, la armonización de la naturaleza y la creación de valor social (Consejo Colombiano de la Construcción Sostenible [CCCS], 2021, p. 110). En especial, las tendencias asociadas a la priorización del confort buscan garantizar confort térmico según las necesidades de los ocupantes, iluminación óptima, confort acústico, comodidad, ergonomía y diseño inclusivo. No obstante, la estrategia con mayor implementación es la iluminación natural en edificios residenciales, comerciales e institucionales, en un 80 %. Mientras que la prioridad del confort térmico pasa a un segundo lugar en edificaciones residenciales con 70 % (CCCS, 2021, p. 113).

Si bien es claro, solo el 42 % de áreas licenciadas para la construcción se encontraban en proceso de certificación para el 2020 (CCCS, 2021, p. 12). Sin embargo, los alcances de los sistemas de certificación suelen emplearse parcialmente en las edificaciones de manera independiente por los diseñadores, como estrategias pasivas para contribuir a la eficiencia energética de las edificaciones, tales como: la planeación incluyente, localización, movilidad, gestión ambiental, eficiencia en agua y energía, materiales y recursos y calidad del ambiente interior, según el Consejo Colombiano de Construcción Sostenible en Colombia (CCCS, 2021, p. 50).

Por otra parte, el sector de la construcción de edificaciones demanda más de 90 millones de toneladas de materiales a escala nacional, según el Gobierno de Colombia (2019). Lo anterior corresponde a un 60 % de materiales extraídos de la tierra. Asimismo, el sistema de mampostería confinada y estructural representa entre el 8 % y el 7 % de los sistemas constructivos con mayor implementación en Colombia (DANE, 2021). Por tanto, la magnitud de este panorama es un factor que no solo deben considerar los sistemas de certificación sostenible, sino también los constructores, diseñadores y arquitectos en general.

En el Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos en alianza con el Grupo de Investigación en Tecnología Cerámica y el Centro de Investigación en Materiales Cerámicos de la Universidad Francisco de Paula Santander se ha trabajado en el diseño y análisis de la forma de los productos para la construcción fabricados en arcilla cocida, como los bloques y ladrillos, debido al contexto local y regional condicionado por las industrias dedicadas a la arcilla y la cerámica en Norte de Santander (Díaz Fuentes, Granados et al., 2021). Aunque la iniciativa de plantear una línea nueva de productos con propiedades de aislamiento térmico promete mejoras en las temperaturas de las superficies interiores entre 1,54°C y 7°C, también requiere inversión de recursos humanos, tecnológicos y económicos para lograr la maduración de las invenciones (Colmenares Uribe et al., 2023). No obstante, las investigaciones previas de los autores han orientado una nueva búsqueda de alternativas para el mundo de la construcción mediante el aprovechamiento de las ofertas actuales del mercado para explotar los potenciales de aplicación constructiva orientados a la mejora de la eficiencia energética.

Partiendo del contexto social y geográfico del Grupo de Investigación en Arquitectura y Materiales Alternativos, los intereses por maximizar las propiedades de los productos fabricados en arcilla cocida están orientados a brindar opciones de mejora en la aplicación constructiva de bloques y ladrillos fabricados en la región de Norte de Santander (Díaz Fuentes, Granados et al., 2021; Colmenares Uribe et al., 2023). No obstante, la investigación consideró su principal competidor, el bloque de concreto, como caso de estudio comparativo para evaluar los rendimientos en ambas tipologías de producto. De acuerdo con Sánchez-Molina et al. (2019), los productos sustitutos de la industria cerámica son los materiales en concreto, *drywall* y otras tipologías de construcción liviana que ofrecen propuestas de valor diferentes a la arcilla. No obstante, la presente investigación apuesta al aprovechamiento de la placa de fibrocemento como revestimiento interior y/o exterior para mitigar la transferencia de calor de los productos tradicionales mencionados anteriormente.

Por otra parte, aprovechar los residuos de la construcción, de la industria y la agroindustria es una estrategia sostenible para la construcción y la mitigación del cambio climático (Sánchez-Molina et al., 2018). Aunque la economía circular es un campo de estudio muy amplio, la practicidad de su implementación en la construcción depende del diseño de la envolvente. Según múltiples autores, la paja es un residuo de la agroindustria con propiedades aislantes, acústicas y durables en el tiempo (Díaz-Fuentes et al., 2020; Díaz-Fuentes,

Ríos-Cruz et al., 2021). De acuerdo con la composición química de residuos derivados de la industria arroceras, este material contiene silicio, lo cual lo convierte en un material de difícil degradación y, por ende, es pertinente para la aplicación en las edificaciones (Sánchez-Molina et al., 2021). Además, la baja conductividad de la paja le permite competir con otros materiales aislantes como el poliestireno expandido (Vélez Pareja, 2015; González-Cruz, 2021), poliestireno extruido y poliuretano (González-Cruz, 2021; Pásztor & Hung Anh, 2021).

METODOLOGÍA

La metodología consiste en una investigación experimental sobre la determinación del rendimiento térmico de ocho tipologías de aislamiento exterior e interior con placas de fibrocemento y paja en muros con bloques de concreto y bloques de arcilla cocida. Esta se divide en dos etapas: el diseño del sistema de rehabilitación térmica para muros tradicionales de bloque de concreto y gres y el análisis de transferencia de calor mediante el cálculo de la resistencia y transmitancia térmica y simulaciones de distribución de temperaturas y flujos de calor en ANSYS.

Al igual que el cálculo de la transmitancia y resistencia térmica, las simulaciones requieren la conductividad de los materiales involucrados en el modelo por simular. Sin embargo, exigen otros datos relacionados con las condiciones climáticas del entorno, como temperatura, radiación solar, velocidad del viento y tiempo de simulación. Por tanto, los datos seleccionados para la configuración del entorno por simular corresponden a las condiciones climáticas

Por tanto, el objetivo principal de esta investigación está enfocado en evaluar el rendimiento térmico de la aplicación de placas de fibrocemento y paja como sistema de revestimiento exterior e interior para la mitigación de la transferencia de calor en mampostería tradicional con bloque H10 y bloque de concreto, con el fin de encontrar usos alternativos de materiales y recursos locales y asequibles en el mercado de la construcción alineados a una gestión sostenible con impactos positivos en el confort térmico de ambientes construidos.

más críticas de Cúcuta, ubicada en Norte de Santander, Colombia (IDEAM, 2010). La temperatura máxima promedio (33°C), radiación solar máxima promedio (796,8 Wh/m²) y velocidad promedio del viento (4 m/s) en septiembre, entre las 12:00 y 13:00 horas (IDEAM, 2010).

Por otra parte, las limitaciones metodológicas de la presente investigación declaran que el comparativo del rendimiento térmico se realiza entre dos tipologías de producto para la construcción (el bloque de concreto y el bloque Ha10 en arcilla cocida) con dos tipologías de revestimiento que consideran la placa de fibrocemento con cámara de aire o con relleno de paja aplicadas tanto en el interior como en el exterior del muro. Por ende, el comparativo busca evaluar el impacto de la aplicación de una placa de fibrocemento con el soporte metálico tradicional para no añadir otras variables en el estudio y, de esta manera, controlar los datos que desean analizarse (Tabla 1).

Tabla 1. Codificación de las tipologías de los sistemas de rehabilitación térmica de muros tradicionales para la construcción

Código	Variación	Espesor del muro (cm)
SRT-BH10	Muro tradicional con bloque H10	10
SRT-BH10-IPF	Muro tradicional con bloque H10 y con revestimiento interior con placa de fibrocemento	19,57
SRT-BH10-IPFA	Muro tradicional con bloque H10 y con revestimiento interior con placa de fibrocemento y aislamiento de paja	19,57
SRT-BH10-EPF	Muro tradicional con bloque H10 y con revestimiento exterior con placa de fibrocemento	19,77
SRT-BH10-EPFA	Muro tradicional con bloque H10 y con revestimiento exterior con placa de fibrocemento y aislamiento de paja	19,77
SRT-BC	Muro tradicional con bloque de concreto	9
SRT-BC-IPF	Muro tradicional con bloque de concreto y con revestimiento interior con placa de fibrocemento	18,57
SRT-BC-IPFA	Muro tradicional con bloque de concreto y con revestimiento interior con placa de fibrocemento y aislamiento de paja	18,57
SRT-BC-EPF	Muro tradicional con bloque de concreto con revestimiento exterior con placa de fibrocemento	18,77
SRT-BC-EPFA	Muro tradicional con bloque de concreto y con revestimiento exterior con placa de fibrocemento y aislamiento de paja	18,77

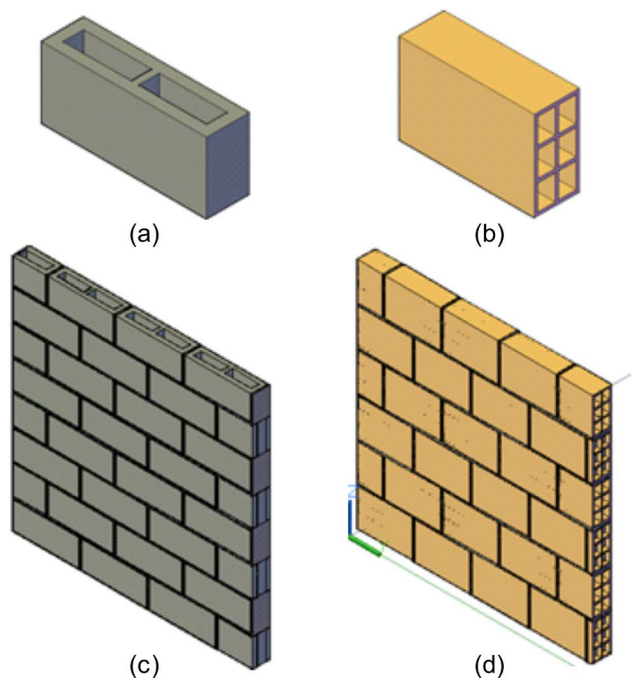
Fuente: elaboración propia (2023).

Diseño del sistema de rehabilitación
térmica para muros tradicionales
de bloque de concreto y gres

Primero, la etapa de diseño del sistema de rehabilitación térmica para muros tradicionales de bloque de concreto y gres consiste en la identificación de las partes. Los muros tradicionales están conformados por unidades constructivas con perforaciones verticales (bloque de concreto) u horizontales (bloque H10) apiladas con juntas

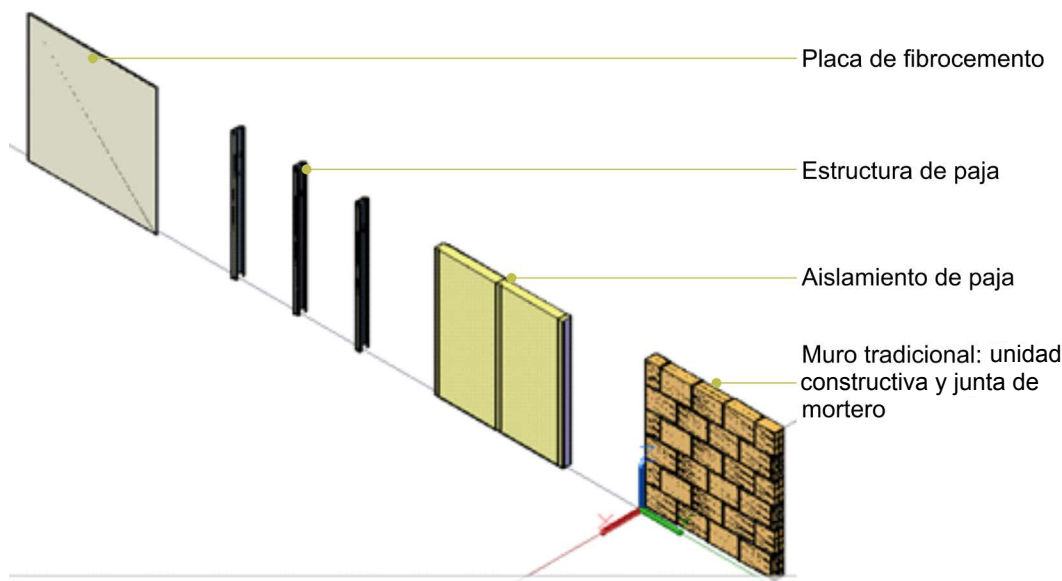
de mortero directas y expuestas a la radiación solar (Figura 1). Segundo, la identificación de los materiales que conforman el aislamiento en el sistema de rehabilitación térmica (SRT) para muros tradicionales de bloque de concreto y gres son las placas de fibrocemento y la paja, además de los perfiles metálicos que funcionan como estructura de anclaje del sistema. La Figura 2 desglosa todos los elementos por considerar en el diseño de los revestimientos como aislamientos exteriores e interiores.

Figura 1. Tipologías de muros tradicionales en concreto y arcilla cocida según la unidad constructiva: (a) Unidad constructiva: bloque de concreto. (b) Unidad constructiva: bloque H10. (c) Muro tradicional con bloque de concreto. (d) Muro tradicional con bloque H10



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 2. Despiece de la composición de unidades constructivas del sistema de rehabilitación térmica para muros tradicionales de bloque concreto y gres



Fuente: elaboración propia (2023).

Las tipologías de aislamiento se clasifican de acuerdo con el tipo de muro base, la ubicación y composición del revestimiento. La Tabla 1 codifica las tipologías del SRT de muros tradicionales para la construcción. Cada tipología de muro tradicional considera un revestimiento exterior e interior con placas de fibrocemento y un revestimiento exterior e interior con placas de fibrocemento y paja. El diseño se realizó en el *software* CAD en dos y tres dimensiones.

Análisis de transferencia de calor

En la etapa del análisis de transferencia de calor se calcula la resistencia y transmitancia térmica y se simula, a través del método de elementos finitos en ANSYS, las tipologías del sistema de rehabilitación térmica de muros tradicionales con aislamiento de placas de fibrocemento y paja para determinar la distribución de temperaturas de la superficie exterior hacia la interior y los flujos de calor de acuerdo con la forma y conductividad de los materiales.

En esta etapa, tanto los cálculos numéricos como las simulaciones requieren información específica de las propiedades térmicas, espesores de los materiales y datos climáticos del entorno de la simulación. El cálculo de la transmitancia térmica se determina con la resistencia

térmica de la envolvente, como lo muestra la Ecuación [1] (Martín Domingo, 2018, p. 21).

$$U = \frac{1}{R_t}$$
 [1]

Donde, *R_t* corresponde a la sumatoria de las resistencias de cada una de las capas que componen la envolvente del SRT (Ecuación [2]) (Martín Domingo, 2018, p. 21). Las capas son: el muro tradicional, la cámara de aire o paja y la placa de fibrocemento. El orden de las capas varía de acuerdo con el diseño del sistema de revestimiento.

$$R_t = R_1 + R_2 + R_3$$
 [2]

Donde, *R* es la resistencia térmica del material según la relación entre el espesor (*m*) y la conductividad térmica (W/m*K), como lo muestra la Ecuación [3] (Martín Domingo, 2018, p. 21).

$$R = \frac{e}{\lambda}$$
 [3]

Finalmente, la determinación de estos valores se obtiene reemplazando los valores de la Tabla 2, de acuerdo con las especificaciones del diseño del SRT en el orden de Ecuación [3], Ecuación [2] y Ecuación [1], de la misma manera que lo realizaron Díaz-Fuentes et al. (2020).

Tabla 2. Propiedades de los materiales de las unidades constructivas del SRT

Material/unidad constructiva	Conductividad (W/m*K)	Espesor (m)
Bloque de concreto	0,54 (Vélez Pareja, 2015)	0,023 (tabique) 0,0440 (perforación)
Bloque H10	0,209 (Vélez Pareja, 2015)	0,008 (tabique) 0,0380 (perforación)
Mortero	0,88 (CISBE, 2007)	N/A
Perfiles metálicos de acero galvanizado	60,50 (Atsonios et al., 2019)	N/A
Placa de fibrocemento, Eterboard	0,36 (EURONIT, 2006)	0,008 (revestimiento interior) 0,01 (revestimiento exterior)
Paja de arroz	0,046-0,056 (Pásztor, 2021)	0,08
Cámara de aire	0,026 (Cengel, 2007)	0,08

Fuente: elaboración propia (2023).

Por otra parte, las simulaciones de transferencia de calor requieren la exportación de los modelos 3D de las tipologías de los sistemas de rehabilitación térmica de muros tradicionales para la construcción en formato Initial Graphics

Exchange Specification (IGES) para importarlo en ANSYS y someterlo al método de elementos finitos establecido, a través de los siguientes pasos: Analysis System Type, Engineering Data, Geometry, Model, Setup, Solution y Results.

RESULTADOS

Los resultados se dividen en el diseño de un sistema de revestimientos exteriores e interiores como aislamientos para la rehabilitación térmica de muros con bloques de concreto y bloques de arcilla cocida y su rendimiento térmico.

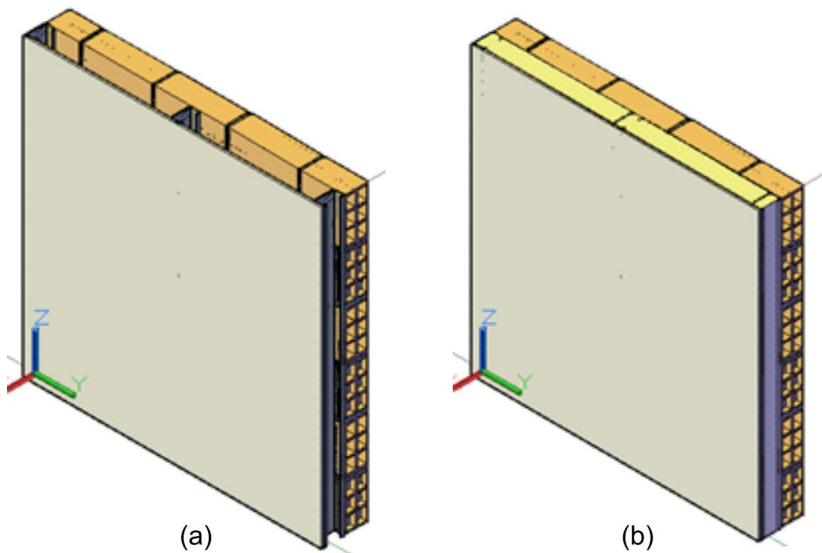
Diseño del sistema de rehabilitación térmica para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

El diseño del SRT consiste en el revestimiento interior o exterior de muros tradicionales conformados con bloques de concreto o bloques de arcilla cocida con placas de fibrocemento y paja. El principio del diseño del sistema está en

los elementos que lo componen, por ende, la primera variación por considerar son las tipologías con placas de fibrocemento y cámara de aire (a) y las tipologías con placa de fibrocemento y paja (b), como se muestra en la Figura 3.

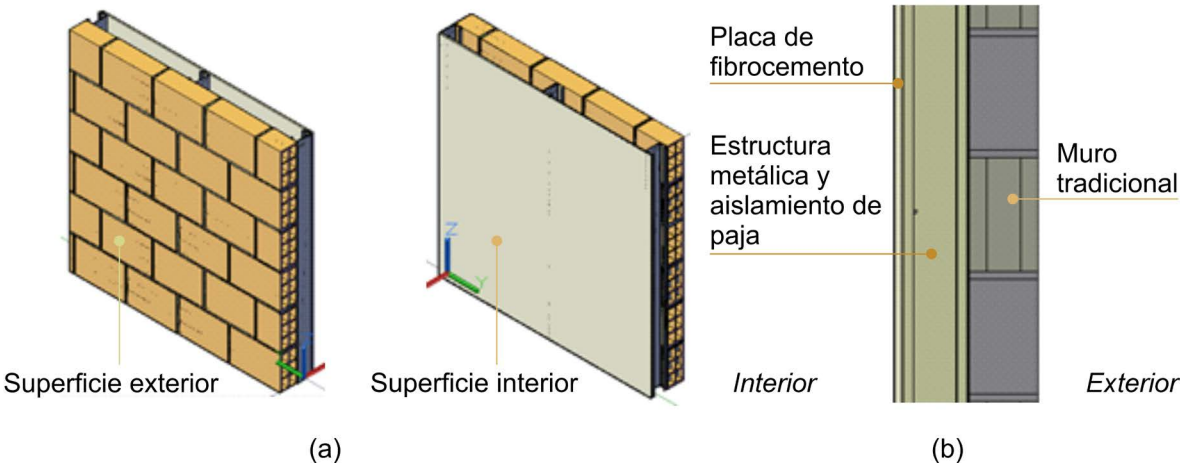
La segunda variación considera la ubicación del revestimiento: exterior e interior. Los muros con aislamiento interior son aquellos con revestimiento interior de placas de fibrocemento con estructura metálica y cámara de aire o paja. Las tipologías son SRT-BH10-IPF, SRT-BH10-IPFA, SRT-BC-IPF y SRT-BC-IPFA. De acuerdo con la Figura 4, la placa de fibrocemento es la superficie interior y el muro tradicional, SRT-BH10 o SRT-BC, es la superficie exterior. Por tanto, el muro tradicional recibe la incidencia solar.

Figura 3. Tipologías del sistema de rehabilitación térmica: (a) Revestimiento con placas de fibrocemento y cámara de aire. (b) Revestimiento con placas de fibrocemento y paja



Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 4. Tipología de revestimiento interior: (a) Perspectiva. (b) Corte transversal

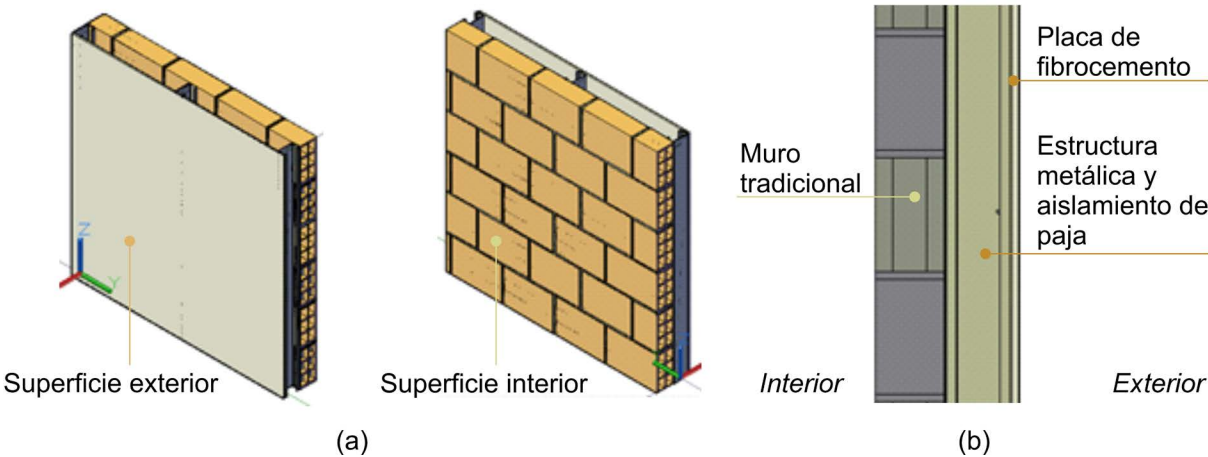


Fuente: elaboración propia (2023).

Los muros con aislamiento exterior son aquellos con revestimiento exterior de placas de fibrocemento con estructura metálica y cámara de aire o paja. Las tipologías son SRT-BH10-EPF, SRT-BH10-EPFA, SRT-BC-EPF y SRT-BC-EPFA.

De acuerdo con la Figura 5, la placa de fibrocemento corresponde a la superficie exterior y el muro tradicional (SRT-BH10 o SRT-BC) es la superficie interior. Por tanto, la placa de fibrocemento recibe la incidencia solar.

Figura 5. Tipología de revestimiento exterior: (a) Perspectiva. (b) Corte transversal



Fuente: elaboración propia (2023).

ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Resistencia y transmitancia térmica del SRT para muros tradicionales de bloque concreto y gres

Los valores de resistencia térmica indican que el revestimiento del SRT tiene un impacto signi-

ficativo en los muros tradicionales de bloque de concreto y bloque H10. Lo cual significa que mejora la transmitancia de dichas tipologías. En primer lugar, la Tabla 3 registra los valores más desfavorables en las tipologías de muros tradicionales.

Tabla 3. Resistencia térmica y transmitancia térmica de las tipologías SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

Variación de tipología	Resistencia térmica (R) (m²K/W)	Transmitancia térmica (U)
SRT-BH10	3,0265	0,3304
SRT-BH10-IPF	6,1136	0,1636
SRT-BH10-IPFA	4,7878	0,2089
SRT-BH10-EPF	6,1192	0,1634
SRT-BH10-EPFA	4,7934	0,2086
SRT-BC	1,7709	0,5647
SRT-BC-IPF	4,8580	0,2058
SRT-BC-IPFA	3,5322	0,2831
SRT-BC-EPF	4,8636	0,2056
SRT-BC-EPFA	3,5378	0,2827

Fuente: elaboración propia (2023).

Flujos de calor del SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

Los flujos de calor ilustran la concentración de la energía según las variaciones del sistema de rehabilitación térmica (SRT). De acuerdo con los

resultados de la Tabla 4, los principales puntos de mayor concentración son las juntas de mortero en las tipologías de muro tradicional (SRT-BH10 y SRT-BC) y los perfiles metálicos que definen la estructura del SRT con placas de fibrocemento y aislamiento de paja.

Tabla 4. Flujos de calor máximo y mínimo (W/m²) de las tipologías de SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

Variación de tipología	Flujo de calor máximo	Flujo de calor mínimo
SRT-H10	285,46	0,0096216
SRT-H10-IPF	5310,6	7,55E-07
SRT-H10-IPFA	4600,2	0,0090564
SRT-H10-EPF	4579,7	0,010599
SRT-H10-EPFA	4579,7	0,010599
SRT-BC	458,99	0,027488
SRT-BC-IPF	7307,5	1,44E-06
SRT-BC-IPFA	5604,8	0,047128
SRT-BC-EPF	14102	0,0067998
SRT-BC-EPFA	6028	0,015522

Fuente: elaboración propia (2023).

Distribución de temperaturas del SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

La distribución de temperaturas analiza la diferencia de temperaturas entre el exterior y el interior promedio y el comparativo de temperaturas de superficies interiores mínimas y promedio entre las tipologías de SRT y los muros tradicionales (Tabla 5 y Figura 6).

Es importante mencionar que aunque las figuras de las simulaciones registran valores de

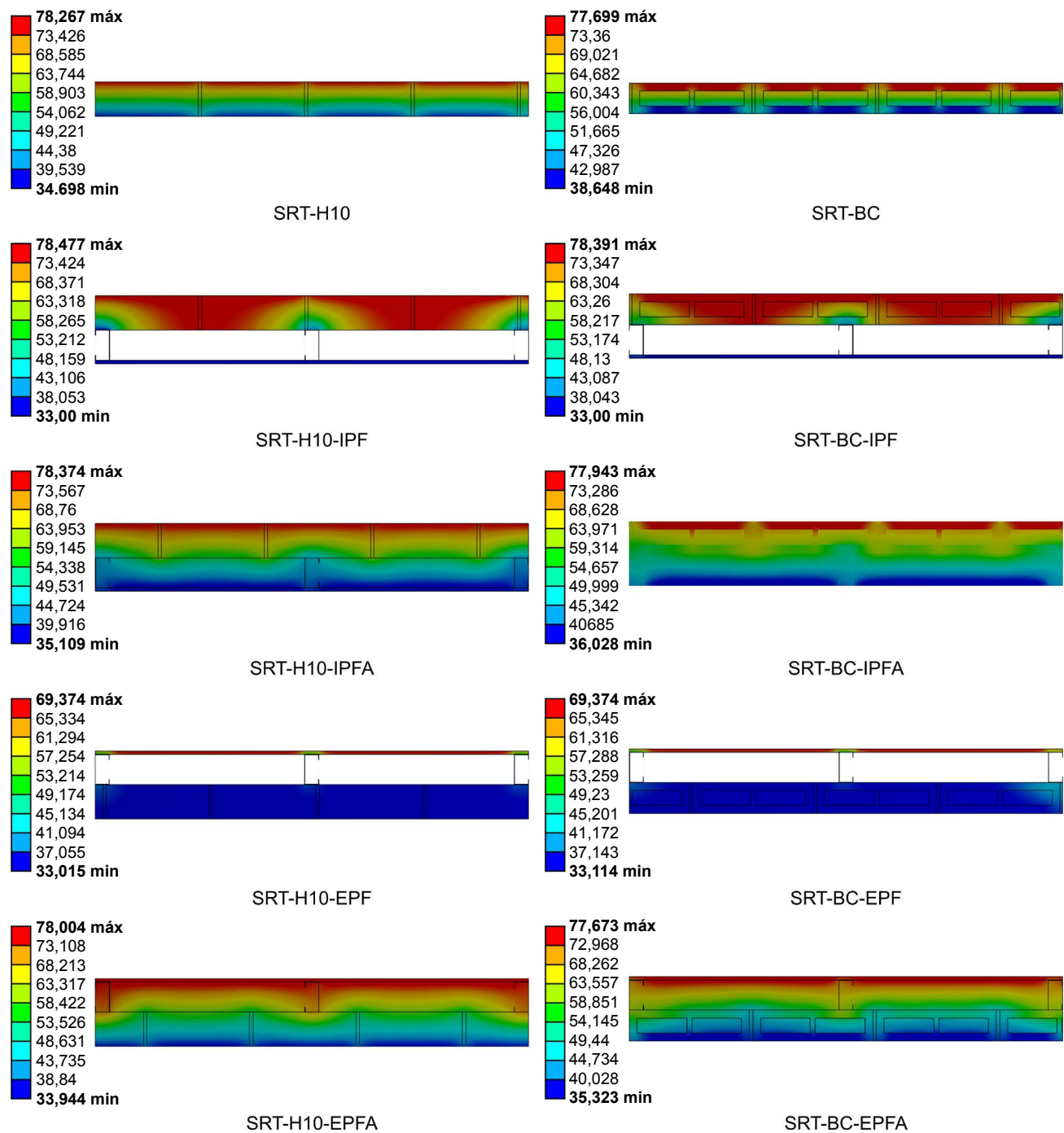
temperatura máximos y mínimos, las superficies de cada modelo promedian un valor diferente al más bajo registrado en la barra de temperaturas. Por tanto, esta investigación tiene en cuenta el valor de temperatura promedio de la superficie interior de cada tipología. El comparativo de temperaturas de superficies interiores promedio estima el beneficio térmico de la implementación de sistemas de rehabilitación térmica exterior e interior en fachadas conformadas con muros tradicionales de bloque de concreto y bloque de gres.

Tabla 5. Temperaturas (°C) de superficies exteriores e interiores máximas, mínimas y promedio de las tipologías de SRT para muros tradicionales de bloque concreto y gres

Variación de tipología	Temperatura exterior máxima y promedio	Temperatura interior mínima	Temperatura interior promedio
SRT-H10	78,27	34,70	48,09
SRT-H10-IPF	78,48	33,00	34,30
SRT-H10-IPFA	78,37	35,11	41,80
SRT-H10-EPF	69,37	33,02	34,48
SRT-H10-EPFA	78,00	33,94	47,58
SRT-BC	77,70	38,65	51,18
SRT-BC-IPF	78,39	33,00	37,39
SRT-BC-IPFA	77,94	36,03	44,26
SRT-BC-EPF	69,37	33,11	36,85
SRT-BC-EPFA	77,67	35,32	44,78

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 6. Vista en planta de simulaciones de distribución de temperaturas de tipologías SRT (°C)



Fuente: elaboración propia (2023).

DISCUSIÓN

Resistencia y transmitancia térmica del SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

La resistencia térmica de las tipologías con revestimiento interior y exterior con placas de fibrocemento duplica dicha propiedad comparado con SRT-BH10 (202%) y en el comparativo con SRT-BC registran un impacto superior al 270%.

Por otra parte, las tipologías de revestimiento interior y exterior con placas de fibrocemento y aislamiento de paja mejoran en menor medida

la resistencia de los muros tradicionales. Sin embargo, las mejoras también son significativas, principalmente en la rehabilitación de SRT-BC con un 199% y 158% en SRT-BH10.

Los valores de resistencia térmica son inversamente proporcionales a la transmitancia térmica. Por tanto, el análisis anterior deduce la reducción de la transmitancia térmica de las tipologías con SRT, es decir, que la duplicación de la resistencia de las tipologías con revestimiento de placa de fibrocemento exterior e interior reduce entre el 50,50% y el 63,59% la transmitancia de SRT-BC y SRT-BH10, respec-

tivamente. Mientras que los casos con revestimiento de placa de fibrocemento y aislamiento de paja exterior e interior mejoran la transmisión entre el 36,41 % y el 49,46 %.

Flujos de calor del SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

A pesar de que las juntas de mortero de los muros tradicionales concentran entre 48,56 % y 95 % menos de energía que los perfiles metálicos, la estructura del SRT representa una superficie menor que las juntas de mortero. Por otra parte, la diferencia de la concentración de los flujos de calor de las tipologías SRT-BH10-IPFA, SRT-BH10-EPF, SRT-BH10-EPFA varía entre el 13 % y el 14 % comparada con SRT-BH10-IPF, la cual es la tipología con mayor concentración en la estructura metálica.

En el caso de las tipologías de SRT-BC y SRT-BC-EPF concentran entre el 48,18 % y el 60,25 % más que las tipologías SRT-BC-IPF, SRT-BC-IPFA y SRT-BC-EPFA. Finalmente, los flujos de calor exponen que los principales puntos críticos son los perfiles metálicos de las tipologías de SRT y las juntas de mortero en los muros tradicionales.

Distribución de temperaturas del SRT para muros tradicionales de bloque de concreto y gres

Las tipologías de muros tradicionales (SRT-BH10 y SRT-BC) presentan los valores más altos de las simulaciones de distribución de temperaturas. En primer lugar, la Tabla 4 indica que la diferencia de temperaturas entre el exterior e interior promedio son menores en los muros tradicionales (SRT-BH10=30,18 °C y SRT-BC=26,52 °C). Mientras que las tipologías con mayor diferencia de temperaturas entre la superficie exterior e interior son aquellas con revestimiento interior de placa de fibrocemento (SRT-BH10-IPF=14 °C y SRT-BC-IPF=15,48 °C). Seguido, las tipologías con revestimiento de placa de fibrocemento y aislamiento de paja manejan diferencias de temperaturas entre 6,40 °C y 7,17 °C.

Por otra parte, los sistemas de rehabilitación térmica exteriores registran valores menores sobre las diferencias de las temperaturas entre el exterior e interior de los muros. Las tipologías SRT con bloque de concreto presentan mejores resultados que las tipologías con bloque de gres, ya que las diferencias de temperaturas de SRT-BC-EPF y SRT-BC-EPFA oscilan entre 6,01 °C y 6,38 °C, mientras que las temperaturas de SRT-BH10-EPF son de 4,72 °C y de SRT-BH10-EPFA 0,25 °C. Lo anterior significa que la implementación del aislamiento de paja en el revestimiento exterior con placa de fibrocemento no implica mejoras significativas.

A pesar de que la investigación tenía expectativas sobre las tipologías con aislamiento de paja, los beneficios térmicos de estas soluciones constructivas se ubican en el tercer lugar del análisis comparativo. No obstante, los resultados también son significativos porque logran disminuir entre 6,29 °C y 6,93 °C la temperatura de las superficies interiores. Sin embargo, la tipología SRT-BH10-EPFA no representa las diferencias significativas en las temperaturas de las superficies interiores, solo de 0,51 °C y 0,75 °C.

En conclusión, la implementación de un sistema de rehabilitación térmica con revestimientos exteriores o interiores de placas de fibrocemento es una estrategia óptima para amortiguar la transferencia de calor en muros tradicionales de bloque de concreto y bloque H10, debido a que la incorporación de este sistema en fachadas arquitectónicas se reduce entre 13,61 °C y 14,33 °C.

Por otra parte, la reutilización de paja en las cámaras generadas con los revestimientos de placa de fibrocemento no ofrece los mismos beneficios térmicos de las tipologías sin aislamiento de paja. No obstante, sí ofrece mejoras significativas que oscilan entre 6,23 °C y 7 °C. La única excepción es la tipología SRT-BH10-EPFA, la cual se descarta porque sus mejoras no alcanzan ni un grado Celsius.

De acuerdo con lo anterior, las mejores soluciones para la rehabilitación de muros tradicionales con bloque H10 son las tipologías SRT-BH10-IPF con 13,79 °C de beneficio térmico y SRT-BH10-EPF con 13,61 °C. De igual manera, las mejores soluciones para la rehabilitación térmica para muros tradicionales con bloques de concreto son SRT-BC-EPF (14,33 °C) y SRT-BC-IPF (13,79 °C).

Las soluciones constructivas de mejora y el confort térmico

Alcanzar el confort térmico de acuerdo con las necesidades ocupacionales y de la región del caso de estudio requiere consideraciones complementarias a la rehabilitación del sistema constructivo (Torres et al., 2019; Chen Austin et al., 2021). Es decir, incorporar otras estrategias pasivas como la orientación del edificio, impacto de la cubierta en el entorno, protecciones solares, sistemas de ventilación e iluminación natural, tal como lo indica la Tabla 6.

Los tipos de soluciones constructivas para mejoras térmicas consideran aspectos como el sistema constructivo, materiales, espesor de envolventes y tipo de beneficio térmico. De acuerdo con la Tabla 6, la implementación de cámaras de aire ventiladas horizontales en el diseño de un producto cerámico ofrece un beneficio térmico más bajo que el SRT para exteriores e interiores; sin embargo, su espesor es una gran ventaja para aquellos proyectos que tienen limitaciones en el espacio.

La relación entre las propiedades térmicas del material y el espesor del muro incide directamente en el confort térmico. Wieser et al. (2020) registró que aunque un muro de ladrillo ofrece un rango entre 48% y 85% de confort térmico durante el día, es posible ampliar el rango hasta las 24 horas con muros de adobe y de tierra alivianada. Esta premisa indica que la sustitución y/o rehabilitación de muros es una oportunidad para mejorar el confort térmico de un espacio habitable.

Finalmente, Pérez et al. (2011) demuestran que la resistencia puede reforzarse hasta cuatro veces más, gracias al diseño del cerramiento con materiales aislantes. Aunque el SRT duplica y triplica la resistencia térmica de los muros tradicionales con bloques de concreto y arcilla cocida, los valores del SRT duplican la resistencia de los bloques con aislamiento térmico en cavidades y superficie exterior de Pérez et al. (2011), tal como lo indica la Tabla 6.

Tabla 6. Tipos de soluciones constructivas para mejoras térmicas

Tipos de soluciones	Espesor de muro (cm)	Beneficio térmico	Referencia
Bloque cerámico con cámara de aire ventilada horizontal	14	4,61°C-5,57°C menos en las superficies interiores	(Narváez-Ortega et al., 2021)
Muro de ladrillo	15	48%-85% de confort térmico en horas del día	(Wieser et al., 2020)
Muro de adobe	42	64%-100% de confort térmico en horas del día	
Muro de tierra alivianada	12	63%-95% de confort térmico en horas del día	
	22	94%-100% de confort térmico en horas del día	
Orientación del edificio y sombreadamiento de ventanas	No aplica	Disminución de ganancias solares internas del edificio	(Chen Austin et al., 2021)
Muros protegidos con fachada ventilada y recubrimiento de poliuretano	No aplica	Reducción del 6% de carga térmica (kWh)	(Torres et al., 2019)
Aleros en ventanas	No aplica	Reducción del 41% de carga térmica (kWh)	
Bloque de concreto con aislamiento en cavidad	12	Resistencia térmica: 0,41 m²K/W	(Pérez et al., 2011)
	15	Resistencia térmica: 0,55 m²K/W	
Bloque de concreto con aislamiento en cavidad y aislamiento exterior	12	Resistencia térmica: 1,55 m²K/W	
	15	Resistencia térmica: 2,15 m²K/W	

Fuente: elaboración propia (2023).

CONCLUSIONES

La aplicación de placas de fibrocemento y paja como sistema de revestimiento exterior e interior para la rehabilitación térmica de muros tradicionales en gres y concreto, es una propuesta de diseño que replantea la forma de pensar la aplicación de los sistemas constructivos ofertados actualmente en el mercado. Bajo el principio de rehabilitación energética, esta investigación busca exponer los beneficios térmicos de un caso entre muchas propuestas innovadoras con recursos existentes que pueden aprovechar el máximo potencial.

La aplicación de placas de fibrocemento y paja, como sistema de revestimiento exterior e interior para la rehabilitación térmica de mampostería tradicional, es una estrategia óptima para amortiguar la transferencia de calor en muros de bloque de concreto y bloque H10, debido a que la incorporación de este sistema en fachadas arquitectónicas reduce la transferencia entre 13,61°C y 14,33°C.

Las mejores tipologías con revestimiento exterior e interior con placa de fibrocemento

con bloque H10 son SRT-BH10-IPF que ofrece un 13,79 °C de beneficio térmico y SRT-BH10-EPF que aporta un 13,61 °C. Por otra parte, las mejores soluciones para la rehabilitación térmica de muros tradicionales con bloques de concreto son SRT-BC-EPF con 14,33 °C de mejora y SRT-BC-IPF con 13,79 °C.

Asimismo, el aumento de la resistencia disminuye la transmitancia térmica. Las tipologías con revestimiento de placa de fibrocemento exterior e interior reducen entre el 50,50 % y el 63,59 % la transmitancia de SRT-BC y SRT-BH10,

respectivamente. Mientras que los casos con revestimiento de placa de fibrocemento y aislamiento de paja exterior e interior mejoran la transmitancia entre el 36,41 % y el 49,46 %.

La reutilización de paja como aislamiento en los revestimientos de placa de fibrocemento no ofrece los mismos beneficios térmicos de las tipologías sin aislamiento de paja. No obstante, ofrece mejoras significativas entre 6,23 °C y casi 7 °C. La única excepción es la tipología SRT-BH10-EPFA, la cual se descarta porque sus mejoras no alcanzan ni un grado Celsius.

CONTRIBUCIONES Y AGRADECIMIENTOS

Se destacan las contribuciones de Díaz-Fuentes C. X., a partir de su trayectoria en el diseño de soluciones constructivas arquitectónicas, particularmente en el caso de estudio como responsable del diseño de las tipologías de revestimiento interior y exterior con placas de fibrocemento y paja para la rehabilitación térmica de muros tradicionales de mampostería en gres y concreto. Por otra parte, el estudio y análisis de la transferencia de calor

del sistema de rehabilitación térmica de muros tradicionales son aportes de Colmenares-Uribe A. P., con su perspectiva del ahorro energético y sostenibilidad en cerramientos arquitectónicos.

Se aborda por Díaz-Umaña Y. el objeto de estudio con la perspectiva de la situación de la vivienda y sus necesidades, a partir de la política pública que promueve la construcción sostenible.

REFERENCIAS

- Atsonios, I., Mandilaras, I., & Founti, M. (2019). Thermal assessment of a novel drywall system insulated with VIPs. *Energies*, 12(12), 2373. <https://doi.org/10.3390/en12122373>
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico* (4ta. Ed.). McGraw-Hill Interamericana Editores S. A.
- Centro de Investigación en Salud Integral y Bienestar Socioeconómico (CISBE). (2007). *Thermal properties of building structures Guide A: Environmental Design*.
- Chen Austin, M., Castillo, M., Carrizo, K., de Mendes Da Silva, Ángela, & Mora, D. (2021). Evaluación del rendimiento térmico y estrategias bioclimáticas de un edificio Universitario en clima tropical húmedo. *Revista De Iniciación Científica*, 7(1), 16-23. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v7i1.3048>
- Colmenares Uribe, A., Díaz Fuentes, C., Sánchez-Molina, J., & Sánchez Zúñiga, J. (2023). *El diseño de producto cerámico como estrategia de mitigación de transferencia de calor en envolventes arquitectónicas*. Ecoe Ediciones S.A.S.
- Consejo Colombiano de la Construcción Sostenible (CCCS). (2021). *Estado de la construcción sostenible en Colombia 2021*. <https://www.cccs.org.co/wp/>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2021). *Boletín técnico de censo de edificaciones (CEED)*. DANE.
- Díaz Fuentes, C. X., Mancilla, J. J., & Pérez, M. C. (2020). Physical-thermal straw properties advantages in the design of a sustainable panel-type construction system to be used as an architectural dividing element. *Journal of Physics: Conference Series*, 1587, 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1587/1/012032>
- Díaz-Fuentes, C., Granados Peñaranda, M., & Sánchez-Molina, J. (2021). *Aplicación de la cerámica en la arquitectura*. Ecoe Ediciones.

- Díaz-Fuentes, C. X., Ríos-Cruz, S. A., & Cano-Macías, S. A. (2021). Análisis comparativo de las propiedades térmicas y mecánicas de bloques de paja y tierra compactada versus sistemas constructivos de mampostería tradicional. *Mundo FESC*, 11(s4), 96-109. <https://doi.org/10.61799/2216-0388.943>
- EURONIT Fachadas y cubiertas. (2006). *Ficha de información del producto de placa de construcción de Eterboard HD*. <https://www.euronit.es/es-es/>.
- González-Cruz, E. M. (2021). *Selección de materiales en la concepción arquitectónica bioclimática*. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD). Universidad del Zulia.
- Gobierno de Colombia. (2019). *Estrategia nacional de economía circular. Cierre de ciclos de materiales*. Presidencia de la República, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). *Atlas interactivo de Colombia*. IDEAM.
- Martín Domingo, A. (2018). *Apuntes de transmisión del calor*. Creative Commons.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones. Resolución 549 de 2015*. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Narváez-Ortega, M. S., Sánchez-Molina, J., & Sánchez-Zúñiga, J. V. (2021). Diseño de producto cerámico de baja transmitancia térmica para sistemas de mampostería en clima cálido tropical. *Mundo FESC*, 11(S5), 282-291.
- Pásztory, Z., & Hung Anh, L. D. (2021). An overview of factors influencing thermal conductivity of building insulation materials. *Journal of Building Engineering*, 44, 102604. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102604>
- Pérez, J. B., Cabanillas, R. E., Hinojosa, J. F., & Borbón, A. C. (2011). Estudio numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco con aislamiento térmico. *Información Tecnológica*, 22(3), 27-38. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642011000300005>
- Portafolio. (2022). Edificaciones impulsan el PIB de construcción en este año. <https://www.portafolio.co/economia/edificaciones-impulsan-el-pib-de-construccion-en-este-ano-566580>
- Sánchez-Molina, J., Corpas Iglesias, F., & Álvarez Rozo, D. (2018). *Aplicaciones de los nutrientes tecnológicos en la industria cerámica del área metropolitana de Cúcuta*. Ecoe Ediciones.
- Sánchez-Molina, J., González Mendoza, J., & Avendaño Castro, W. (2019). *El clúster cerámico apuesta de desarrollo socioeconómico de Norte de Santander*. Ecoe Ediciones.
- Sánchez-Molina, J., Díaz-Fuentes, C. X., & Colmenares-Urbe, A. P. (2021, julio). Utilization of agro-industrial waste to improve thermal behavior of products made of fired clay for traditional masonry. *Journal of Physics: Conference Series*, 1981(1), 012015. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1981/1/012015>
- Torres, B., Viñachi, J., Cusquillo, J., Pazmiño, C., & Segarra, M. (2019). Aprovechamiento de la arquitectura pasiva para la reducción de carga térmica por ganancia solar en un edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Guayaquil. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 378-388. <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/eitt/article/view/3775>
- United Nations. (2023). *Sustainable development goals report 2023: Special edition*. United Nations Publications.
- Vélez Pareja, E. A. (2015). *Caracterización del comportamiento térmico de materiales constructivos usados comúnmente en Colombia para la construcción de envolventes de edificaciones*. Universidad del Norte, Colombia. <http://hdl.handle.net/10584/9023>
- Wieser, M., Onnis, S., & Meli, G. (2020). Desempeño térmico de cerramientos de tierra alivianada: posibilidades de aplicación en el territorio peruano. *Revista de Arquitectura (Bogotá)*, 22(1), 164-174. <https://doi.org/10.14718/RevArq.2020.2633>