



PRISMA ODS
REVISTA MULTIDISCIPLINARIA
SOBRE DESARROLLO SOSTENIBLE

ISSN: 3072-8452

**ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO
TERMOENERGÉTICO DE
VIVIENDAS EN MÉXICO
MEDIANTE LA
INCORPORACIÓN DE
MATERIALES AISLANTES**

*ANALYSIS OF THE THERMAL ENERGY
PERFORMANCE OF HOMES IN MEXICO
THROUGH THE INCORPORATION OF
INSULATING MATERIALS*

AUTORES

**JAHIR FERNANDO
JIMÉNEZ RODRÍGUEZ**
UNIVERSIDAD
INTERAMERICANA DE PUEBLA
MÉXICO

**URIEL MUÑOZ
TLACUAYO**
UNIVERSIDAD
INTERAMERICANA DE PUEBLA
MÉXICO

**ALEXIS HERNANDEZ
BAUTISTA**
UNIVERSIDAD
INTERAMERICANA DE PUEBLA
MÉXICO

**JAIME HUERTA
GALAVIZ**
UNIVERSIDAD
INTERAMERICANA DE PUEBLA
MÉXICO

**DIEGO HERNAN
CUATEGOMEZ**
INSTITUTO TECNOLÓGICO
SUPERIOR PROGRESO
MÉXICO

Análisis del Rendimiento Termoenergético de Viviendas en México Mediante la Incorporación de Materiales Aislantes

Analysis of the Thermal Energy Performance of Homes in Mexico Through the Incorporation of Insulating Materials

Jahir Fernando Jiménez Rodríguez

jimenezjahir@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-0183-0600>

Universidad Interamericana de Puebla

Puebla – México

Uriel Muñoz Tlacuayo

umt.ravel38@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-7920-0280>

Universidad Interamericana de Puebla

Puebla – México

Alexis Hernandez Bautista

alx23748@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-7749-9033>

Universidad Interamericana de Puebla

Puebla – México

Jaime Huerta Galaviz

huertajames046@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0000-4376-9774>

Universidad Interamericana de Puebla

Puebla – México

Diego Hernán Cuate Gomez

dhcg.inv@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-1741-0009>

Instituto Tecnológico Superior Progreso

Yucatán – México

Artículo recibido: 07/02/2026

Aceptado para publicación: 22/03/2026

Conflictos de Intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

El sector de la edificación constituye uno de los principales consumidores de energía a nivel mundial y es responsable de una proporción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta problemática se intensifica debido al uso generalizado de materiales constructivos con bajo desempeño térmico, como el bloque de concreto y las láminas metálicas, que en muchos casos se instalan sin ningún tipo de aislamiento. Esta situación genera un aumento en la demanda de energía para la climatización de los espacios interiores, afectando tanto la eficiencia energética como el confort térmico de los habitantes, especialmente en viviendas sociales donde los recursos para mejoras constructivas son limitados. El presente estudio se centra en evaluar la efectividad de diferentes estrategias pasivas de aislamiento térmico aplicables a viviendas de interés social, con el objetivo de reducir la transferencia de calor y mejorar las condiciones de habitabilidad. Para ello, se construyeron prototipos a escala de muros y cubiertas, sometiéndolos a pruebas de carga térmica controlada que simulan condiciones de calor extremo. Se compararon distintos materiales de aislamiento, incluyendo Poliestireno Expandido (EPS), fibra de vidrio y espuma de poliuretano, frente a una lámina galvanizada sin aislamiento, que representa la práctica constructiva común en muchas zonas del país. Durante las pruebas se monitorearon parámetros clave como la temperatura superficial y el tiempo de retardo en la transferencia de calor, lo que permitió establecer comparaciones precisas entre los diferentes materiales. Los resultados indicaron que la espuma de poliuretano proporciona el mayor rendimiento térmico, lo cual se atribuye a su baja conductividad térmica, que varía entre 0.032 y 0.040 W/m·K. Este comportamiento superior permite disminuir de manera significativa el flujo de calor hacia el interior de la vivienda, mejorando el confort térmico sin necesidad de sistemas activos de climatización.

Palabras clave: eficiencia energética, envolvente arquitectónica, aislamiento térmico, espuma de poliuretano, confort térmico

ABSTRACT

The building sector constitutes one of the main energy consumers worldwide and is responsible for a significant proportion of greenhouse gas emissions. This problem is intensified by the widespread use of construction materials with poor thermal performance, such as concrete blocks and metal sheets, which in many cases are installed without any type of insulation. This situation generates an increase in energy demand for indoor space conditioning, affecting both energy efficiency and thermal comfort of inhabitants, especially in social housing where resources for construction improvements are limited. The present study focuses on evaluating the effectiveness of different passive thermal insulation strategies applicable to social housing, with the objective of reducing heat transfer and improving habitability conditions. To this end, scale prototypes of walls and roofs were constructed and subjected to controlled thermal load tests simulating extreme heat conditions. Different insulation materials were compared, including Expanded Polystyrene (EPS), fiberglass, and polyurethane foam, against an uninsulated galvanized sheet, which represents the common construction practice in many areas of the country. During the tests, key parameters such as surface temperature and time delay in heat transfer were monitored, which allowed for precise comparisons between the different materials. The results indicated that polyurethane foam provides the highest thermal performance, which is attributed to its low thermal conductivity, ranging between 0.032 and 0.040 W/m·K. This superior behavior allows for a significant reduction in heat flow toward the interior of the dwelling, improving thermal comfort without the need for active climate control systems.

Keywords: energy efficiency, architectural envelope, thermal insulation, polyurethane foam, thermal comfort

INTRODUCCIÓN

En el panorama global de la sostenibilidad, el sector de la edificación se ha consolidado como un consumidor intenso de energía y un contribuyente significativo a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (Santos & Ribeiro, 2021; Velashjerdi Farahani et al., 2024). La transición hacia una economía de bajo carbono impulsa una transformación profunda en la concepción de los espacios habitables, donde la envolvente arquitectónica —la capa que separa el interior del exterior— adquiere relevancia central como elemento de control térmico (Grazieschi et al., 2021). Una envolvente con bajo desempeño funciona como un puente térmico que facilita ganancias de calor elevadas, incrementa el consumo eléctrico destinado a la climatización y afecta las condiciones de habitabilidad.

En México, esta situación presenta una complejidad particular debido a la marcada diversidad climática y a la prevalencia de prácticas de autoconstrucción orientadas al bajo costo, incluso cuando ello implica renunciar al desempeño térmico. Gran parte del parque habitacional, sobre todo en zonas vulnerables, se construye utilizando materiales de alta conductividad y prácticamente nula inercia térmica, como la lámina galvanizada y el bloque de concreto sin aislamiento. Estas soluciones generan viviendas propensas a acumular radiación solar, lo que deriva en condiciones severas de discomfort térmico y en situaciones de “pobreza energética” (de la Barra et al., 2025; Moctezuma-Sánchez et al., 2024), caracterizadas por la necesidad de destinar recursos desproporcionados para enfriar los espacios interiores o enfrentar afectaciones en la salud.

La literatura científica reciente destaca la importancia de intervenir la envolvente existente. Estudios como los de Rosas-Flores y Rosas-Flores (2020) señalan que el aislamiento térmico constituye una de las estrategias más costo-efectivas para disminuir las emisiones del sector residencial mexicano, en línea con investigaciones que analizan el espesor óptimo de aislamiento para maximizar el ahorro energético en climas cálidos (Khoukhi & Tahat, 2014a, 2014b). Lucero-Álvarez et al. (2016) evidencian cómo la carencia de criterios bioclimáticos en la vivienda de interés social incrementa de manera notable el consumo energético. Paralelamente, estudios enfocados en tecnologías pasivas, como los de Hernández-Pérez (2021a, 2021b) y Piselli et al. (2019), examinan la interacción entre aislamiento conductivo y recubrimientos reflectivos, mostrando su potencial para disminuir la transferencia de calor en climas cálidos. A pesar de estos avances, persiste la necesidad de generar validaciones empíricas que permitan identificar qué materiales ofrecen un mejor comportamiento térmico

en sistemas constructivos ligeros y metálicos, cuya dinámica térmica difiere de la mampostería tradicional y demanda considerar alternativas emergentes como los materiales de cambio de fase (PCM) para incrementar la inercia térmica (Al-Yasiri & Szabó, 2021).

METODOLOGÍA

En esta investigación se fundamenta en un enfoque empírico-analítico de carácter cuantitativo, orientado a la ingeniería de materiales aplicada a la edificación sustentable. Dada la complejidad de las variables termodinámicas que intervienen en una vivienda habitada (ocupación, ventilación cruzada no controlada, ganancia solar variable y cargas internas estocásticas), se optó por un diseño experimental puro basado en modelos a escala reducida (células de prueba) (Upasani et al., 2024). Este enfoque reduccionista permite el aislamiento efectivo de la variable crítica de interés: la resistencia térmica conductiva de la envolvente opaca.

La racionalidad detrás del uso de prototipos físicos, en lugar de depender exclusivamente de simulaciones computacionales, radica en la necesidad imperativa de evaluar el comportamiento de los materiales en condiciones de aplicación real (in-situ). Factores como la adhesión química a la lámina metálica, la continuidad de la capa aislante, la hermeticidad de las juntas y los puentes térmicos constructivos juegan un papel determinante en el desempeño final que los modelos matemáticos idealizados a menudo (Rashid et al., 2024). Por tanto, el experimento busca validar la interacción física entre el sustrato metálico y el aislante bajo condiciones de estrés térmico.

En la ingeniería civil y la arquitectura bioclimática, los "sujetos" de estudio se definieron como sistemas constructivos integrados. Se establecieron cuatro unidades de análisis físicas (prototipos), diseñadas para representar la geometría básica de una vivienda unifamiliar con techumbre a dos aguas. Para garantizar la validez interna del experimento y la comparabilidad de los datos, se establecieron criterios estrictos de control de variables:

- **Isotropía Geométrica:** Todos los prototipos fueron fabricados con dimensiones idénticas (volúmenes cúbicos de 30 cm de arista basal) y misma pendiente de cubierta. Esto garantiza que la relación superficie-volumen (factor de forma) sea constante, eliminando variables de confusión relacionadas con la geometría.
- **Representatividad Vernácula-Industrial:** Se seleccionó la lámina galvanizada acanalada como material base debido a su omnipresencia en la autoconstrucción de zonas periurbanas y rurales de México. Este material representa el "peor escenario"

térmico posible debido a su alta difusividad y nula capacidad de almacenamiento de calor.

- **Disponibilidad Comercial:** Los aislantes seleccionados debían ser accesibles en la cadena de suministro local (ferreterías y tiendas de construcción), asegurando que los resultados del estudio sean tecnológicamente transferibles y replicables por la población general.

Figura 1. Medición para corte de lámina galvanizada calibre 28



Fuente: Elaboración propia.

Este prototipo se construyó exclusivamente con lámina de acero galvanizado Figura 1.

- **Propiedades Térmicas:** El acero presenta una conductividad térmica muy alta, que típicamente oscila entre 45 y 55 W/m·K. Al tratarse de una lámina delgada (aproximadamente 0.38 mm), su resistencia térmica resulta prácticamente despreciable.
- **Función Experimental:** Actúa como línea base o "blanco", permitiendo cuantificar la transferencia de calor por conducción directa y radiación sin ninguna barrera resistiva.

Se Incorporan placas de Poliestireno Expandido de baja densidad (10-12 kg/m³) adheridas a la cara interior.

- **Composición:** Material plástico celular rígido derivado del petróleo, compuesto en un 98% por aire atrapado en una matriz de poliestireno.
- **Mecanismo:** Funciona limitando la conducción gracias a la baja conductividad. Su valor típico es de 0.038 a 0.043 W/m·K. El desafío radica en la rigidez de las placas,

que dificulta su adaptación a las corrugaciones de la lámina, creando posibles micro-cámaras de aire convectivo. Aunque su desempeño es estándar, se investigan mejoras continuas en su composición para optimizar su respuesta ante cargas térmicas variables (Athmani et al., 2022).

Figura 2. Espuma de Poliestireno utilizada en el proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó espuma de poliuretano monocomponente de expansión controlada (tipo Fischer) Figura 2, generando una capa continua de 20 mm.

- **Composición:** Polímero termoestable de celda cerrada formado por la reacción exotérmica de un isocianato y un polioli, una base química que está siendo objeto de estudio para el desarrollo de espumas más sostenibles y de base biológica (Narbutis & Vanaga, 2025).
- **Propiedades Superiores:** Presenta la conductividad térmica más baja del grupo. Su principal ventaja técnica es su capacidad de auto-adhesión y expansión in situ, lo que permite lograr un sellado hermético en juntas, grietas y corrugaciones. Esto elimina puentes térmicos por infiltración, una característica que lo diferencia claramente del EPS y de la fibra.

Figura 3. Fibra de vidrio utilizada en el proyecto



Fuente: Elaboración propia.

Se instaló una colchoneta de fibra de vidrio de espesor nominal estándar Figura 3, fijada mecánicamente.

- **Composición:** Material fibroso inorgánico de filamentos de vidrio aglutinados con resinas termoestables.
- **Mecanismo:** La estructura de fibras entrelazadas atrapa aire inmóvil. Es flexible, permitiendo mejor contacto con superficies irregulares, pero es permeable al paso del aire y susceptible a la degradación por humedad si no cuenta con barrera de vapor adecuada.

Se utilizó un método de muestreo no probabilístico intencional o de juicio. La selección de los materiales no obedeció a una aleatorización estadística, sino a una decisión estratégica de ingeniería de materiales para cubrir las tres familias principales de aislantes: rígidos (EPS), fibrosos (Fibra de Vidrio) y alveolares in-situ (Poliuretano).

Las pruebas se realizaron en un entorno de laboratorio controlado (interior), manteniendo una temperatura ambiente estable de $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y humedad relativa del 40-50%. Este aislamiento del entorno exterior fue crucial para evitar variables de confusión, tales como el viento lateral o la radiación solar difusa, asegurando la consistencia en la medición del coeficiente de transferencia de calor (Athmani et al., 2022).

Para asegurar la reproducibilidad científica del estudio, se estandarizó el proceso de fabricación:

1. **Fase de Estructuración:** Corte de láminas mediante una guillotina manual cortadora de metales KAKA HS-20 para mejor precisión. Ensamblaje mediante remaches pop de aluminio de 1/8" cada 5 cm para garantizar estabilidad estructural.
2. **Fase de Aislamiento:**

EPS: Aplicación con adhesivo de contacto industrial base solvente, asegurando presión uniforme.

Fibra de Vidrio: Fijación mecánica con cintas y grapas industriales, cuidando no comprimir el material más del 10% de su espesor nominal para no perder capacidad aislante.

Poliuretano: Aplicación por aspersión manual con cánula, previa limpieza de la superficie galvanizada con solvente para eliminar grasas de fabricación. Se realizó en capas sucesivas hasta alcanzar el espesor objetivo, recortando el excedente tras el curado (24 horas).
3. **Fase de Sellado:** Sellado de vértices exteriores con silicón de uso general para forzar que toda transferencia de calor fuera conductiva a través de las caras del muro y no por infiltración de aire en las esquinas.

Instrumentación y Técnicas de Recolección de Datos

La cuantificación del desempeño térmico exigió instrumentación precisa para registrar la termodinámica del sistema en tiempo real.

Fuente de Calor (Simulador de Carga Térmica)

Se utilizó una pistola de calor industrial (Heat Gun) de 1800W.

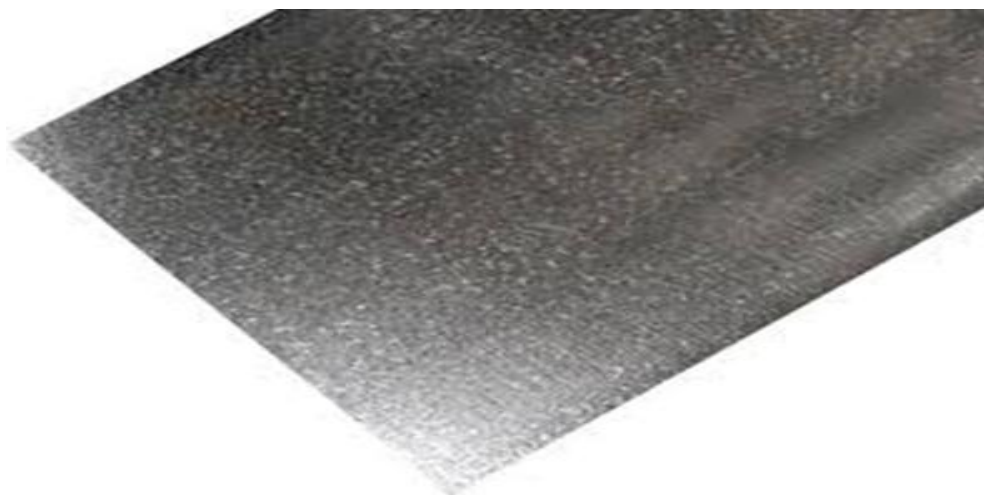
Configuración: Flujo de aire constante a una temperatura en boquilla $>100^{\circ}\text{C}$.

Se seleccionó una temperatura de estrés ("stress testing") muy superior a la ambiental para realizar una prueba de envejecimiento acelerado. Esto permite visualizar en minutos el comportamiento de saturación térmica que ocurriría en horas bajo el sol, amplificando las diferencias entre materiales. El mecanismo de transferencia inicial es convección forzada de alta temperatura, que se convierte en conducción al impactar la superficie.

Se empleó una guillotina cortadora de metales con regla para cortar de la manera más precisa posible

Dado que la lámina galvanizada tiene baja emisividad Debido a que el material presenta una emisividad baja ($\epsilon < 0.1$) y refleja la radiación infrarroja, se aplicaron parches de cinta de enmascarar negra mate Figura 4 ($\epsilon \approx 0.95$) para obtener mediciones térmicas más precisas. en los puntos de medición de la cara interior. Esto funcionó como un "cuerpo negro" de referencia para obtener lecturas de temperatura verdaderas y no reflejos.

Figura 4. Representación de cinta mate para caracterizaciones



Fuente: Elaboración propia.

Cronometría y Variables Temporales

Se utilizó cronometría digital de precisión. La variable crítica medida fue el Tiempo de Retardo (Desfase Térmico), definido operacionalmente como el tiempo (t) transcurrido desde el inicio de la excitación térmica (t_0) hasta que la superficie interior registró un incremento diferencial (ΔT) superior a 5 °C. Procedimiento Experimental (Protocolo de Prueba)

Se ejecutó el siguiente protocolo estandarizado para cada unidad:

1. **Aclimatación:** Reposo del prototipo hasta equilibrio térmico con el ambiente (22°C).
2. **Geometría de prueba:** La fuente de calor se fijó en un soporte estático a una distancia precisa de 15 cm y un ángulo de 90° respecto al centro del muro. Esto garantiza que el factor de visión y la densidad de flujo de calor (W/m^2) sean idénticos para todas las muestras.
3. **Muestreo:** Lecturas de temperatura interior cada 30 segundos (fase inicial) y cada minuto (fase de estabilización).
4. **Criterio de Finalización:** La prueba concluyó al superar los 40°C interiores o alcanzar 20 minutos de estabilidad.

5. **Replicabilidad:** Se realizaron tres repeticiones por prototipo para promediar resultados y descartar datos atípicos.

Diseño de la Investigación y Operacionalización

El estudio presenta un diseño experimental puro, manipulativo y transversal.

Variable Independiente (X): Tipo de configuración de la envolvente (Categórica: Lámina sola, Lámina+EPS, Lámina+Fibra, Lámina+PU).

Variable dependiente (Y): Eficiencia del aislamiento, evaluada mediante el Tiempo de Retardo (minutos) y la Temperatura Superficial Máxima (T_{max}).

Control: Espesor del sustrato, temperatura de la fuente, distancia de incidencia, temperatura ambiente.

Nivel de la Investigación

El nivel es Explicativo y Comparativo. Es explicativo porque busca demostrar la relación causa-efecto entre la microestructura del material (celda cerrada vs. abierta) y la resistencia al flujo de calor, basándose en la Ley de Fourier. Es comparativo porque confronta materiales industriales frente a la práctica vernácula, jerarquizando su desempeño para fundamentar recomendaciones técnicas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 se construyó recopilando de manera sistemática las propiedades físicas, la conductividad térmica esperada y el comportamiento frente a la transferencia de calor de cuatro materiales distintos. Para cada uno se registró la marca o producto específico, el grosor indicado y el valor de conductividad térmica que aparece en la tabla. El aluminio galvanizado, identificado como Hot Dip Galvanized, se incluyó como material de control y se evaluó en forma de placa base con un grosor de 1.1 mm, siendo clasificado directamente como un material de alta conductividad térmica. La espuma de poliuretano, correspondiente al producto Fischer (PUR/PIR), se registró con un grosor de 20 mm y con una conductividad térmica esperada de 0.023 W/m·K, que es el valor señalado como el mejor dentro de los presentados. La fibra de vidrio, asociada a Owens Corning o MonoAislante, también se consideró con un grosor de 20 mm y una conductividad de 0.035 W/m·K. De igual manera, el poliestireno identificado como Fester Panel Aislante se documentó con un grosor de 20 mm y una conductividad de 0.034 W/m·K.

Una vez definidos los materiales y sus características, se registraron los resultados de la prueba de exposición a una misma fuente de calor, donde para todos ellos se alcanzó una temperatura máxima aproximada de 280 °C en la superficie caliente o lado exterior. Posteriormente, se midió la temperatura obtenida en el lado frío a los 30 segundos de exposición, dato presentado como TI a 30 s. En esta medición, el aluminio galvanizado alcanzó aproximadamente 55 °C, mientras que la espuma de poliuretano registró cerca de 29 °C, la fibra de vidrio alrededor de 28 °C y el poliestireno aproximadamente 29 °C. Finalmente, se anotó el aumento de temperatura que corresponde a esta misma prueba, siendo de 30 °C para el aluminio, 2 °C para la espuma de poliuretano, 3 °C para la fibra de vidrio y 4 °C para el poliestireno. Todos estos valores fueron organizados y presentados de manera comparativa para mostrar las diferencias entre materiales en cuanto a sus características físicas, su conductividad térmica y su respuesta específica durante la prueba de transferencia de calor.

Tabla 1. Comparación de Materiales Aislantes Térmicos

PROPIEDADES FÍSICAS, CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y DESEMPEÑO EN PRUEBA DE TRANSFERENCIA DE CALOR						
Material de Prueba	Marca / Producto Específico	Grosor (mm)	Conductividad Térmica (λ) Esperada (W/m·K)	TMáx Superficie Caliente (Lado Exterior) (°C)	TLado Frío (30 s) (°C)	Aumento de Temperatura (ΔT) (°C)
Aluminio Galvanizado (Control)	<i>Hot Dip Galvanized</i>	1.1 (Placa base)	Alto (Metal, $\approx$ 200)	$\approx$ 280	$\approx$ 55	30
Espuma de Poliuretano	<i>Fischer (PUR/PIR)</i>	20 (Aislante)	0.023 (El mejor)	$\approx$ 290	$\approx$ 27	2
Fibra de Vidrio	<i>Owens Corning MuroAcústico / Aislaterm</i>	20 (Aislante)	0.035	$\approx$ 290	$\approx$ 28	3
Poliestireno (Unicel)	<i>Fester Panel Aislante</i>	20 (Aislante)	0.034	$\approx$ 280	$\approx$ 29	4

Fuente: Elaboración propia.

La rapidez de instalación y el curado del poliuretano validan su pertinencia para la autoconstrucción, ofreciendo una ventaja estructural frente a materiales que se deforman bajo carga, como se observó en la comparativa con el EPS.

Espuma de Poliuretano (Rendimiento Superior): Se consolidó como la mejor opción técnica debido a su baja conductividad térmica y hermeticidad. Al expandirse, elimina las fugas de aire (convección), coincidiendo con lo reportado por (Jeong, 2014a) sobre la importancia de la hermeticidad en la eficiencia global de la envolvente.

Unicel / EPS y Fibra de Vidrio: Aunque funcionales, presentan limitaciones por puentes térmicos y permeabilidad al aire, respectivamente.

Los Datos Clave:

- Tiempo libre de pegajosidad: 10 - 20 minutos.
- Tiempo de corte: 40 - 60 minutos.
- Curado total: 24 horas.
- Temperatura de trabajo: +5°C a +35°C.

Interpretación para tu Investigación

1. Rapidez de Instalación

Que deje de estar pegajoso en 10 minutos y se pueda cortar en menos de una hora significa que la instalación es muy rápida.

Argumento: "En la vivienda social, donde se busca reducir costos de mano de obra, este material permite aislar una casa completa en un solo día, lo cual lo hace económicamente atractivo".

2. Estabilidad Estructural (Curado)

El curado total a las 24 horas indica cuándo el material alcanza su máxima dureza.

Argumento: "Esto valida nuestro protocolo experimental: se esperó más de 24 horas antes de aplicar la prueba de calor para asegurar que el material tuviera todas sus propiedades físicas definitivas".

3. Versatilidad Climática

El rango de aplicación (+5°C a +35°C) cubre la mayoría de los climas habitables de México.

Argumento: "El sistema es viable para aplicarse tanto en invierno como en verano en la mayoría de las regiones del país sin requerir equipos especiales de climatización para su instalación".

Tabla 2. Conversión de Carga Aplicada

EQUIVALENTE DE PESOS EN LIBRAS Y KILOGRAMOS PARA PRUEBAS DE COMPRESIÓN	
Carga aplicada	Equivalente en kg
35 lb	15.88 kg
40 lb	18.14 kg
50 lb	22.68 kg
35 kg	35.00 kg (≈ 77.16 lb)

Fuente: Elaboración propia.

Espuma de Poliuretano (Rendimiento Superior): Se consolidó como la mejor opción técnica debido a su baja conductividad térmica ($0.025 - 0.030 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), la más eficiente del grupo. Su ventaja crítica es la hermeticidad: al expandirse, elimina las fugas de aire (convección) que otros materiales permiten. Además, soporta hasta 90°C , ideal para techos metálicos bajo sol intenso.

Unicel / EPS (Rendimiento Intermedio): Aunque ofrece un buen aislamiento ($0.038 - 0.043 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), su formato de placa rígida es su debilidad. No logra amoldarse a las corrugaciones de la lámina, dejando huecos de aire que actúan como puentes térmicos. Su límite de temperatura (75°C) presenta riesgos de degradación a largo plazo en climas extremos.

Fibra de Vidrio (Rendimiento Condicionado): Su eficacia depende totalmente de mantener su espesor sin comprimirla. Al ser un material poroso, frena el calor directo, pero permite la filtración de aire caliente (infiltración) si no se sella perfectamente. Su única ventaja superior frente a los otros dos es ser incombustible, ofreciendo mayor seguridad contra incendios.

Tabla 3. Comportamiento Mecánico bajo Carga Estática

COMPARACIÓN DE LA RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL POLIURETANO Y DEL UNICEL ANTE CARGAS EQUIVALENTES			
Carga aplicada	Equivalente en kg	Comportamiento del poliuretano (izquierda)	Comportamiento del unicel (derecha)
35 lb	15.88 kg	Flexión leve, sin hundimiento visible. Buena recuperación al retirar la carga.	Hundimiento superficial leve; el material empieza a ceder. No es tan visible
40 lb	18.14 kg	Deformación elástica ligera, sin daño muy visible.	Hundimiento poco notorio en el punto de contacto, considerablemente más que el del poliuretano
50 lb	22.68 kg	Curvatura moderada casi ligera, pero mantiene su integridad estructural.	Hundimiento evidente pero no permanente, el unicel se aplasta y recupera su forma.
35 kg	35.00 kg	Hundimiento notable y deformación considerablemente más amplia	Daño muy visible: el material se aplasta, pero no pierde completamente su rigidez.

Fuente: Elaboración propia.

1. Espuma de Poliuretano (Fischer)

Por qué ganó: Tiene la conductividad más baja ($0.025 \text{ W/m}\cdot\text{K}$), lo que significa que es el mejor aislante existente por cada centímetro de espesor.

El Secreto: Sus celdas cerradas la hacen impermeable y hermética. No solo frena el calor, sino que sella las fugas de aire, eliminando la convección.

Resistencia: Soporta más de 90°C sin degradarse, ideal para techos de lámina hirviendo.

2. Fibra de Vidrio (Owens Corning)

Su Debilidad: Su capacidad de aislar depende 100% de su grosor. Si se aplasta dentro del muro, pierde eficacia.

Por qué perdió: Es un material poroso. Aunque frena el calor directo, permite filtraciones de aire caliente a través de las fibras.

Su Ventaja: Es incombustible (no se quema), lo que la hace más segura contra incendios que el poliuretano.

Tabla 4. Comportamiento ante Impacto

EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL POLIURETANO Y DEL UNICEL BAJO DIFERENTES ALTURAS DE CAÍDA		
Altura / Prueba	Comportamiento del poliuretano	Comportamiento del unicel
Golpe directo con misma fuerza	Sonido apagado, breve y firme. Absorbe bien el impacto, sin vibración notable.	Sonido hueco y resonante; se percibe vibración más prolongada y sensación de fragilidad.
Caída desde 10 cm	Sonido tenue, casi sin vibración. La lámina conserva su integridad.	Sonido más fuerte y seco; se percibe vibración en la lámina y leve hundimiento.
Caída desde 20 cm	Sonido controlado; buena absorción del impacto, sin daños visibles.	Sonido más estruendoso; la lámina vibra intensamente y el material interno comienza a fracturarse.
Caída desde 30 cm	Sonido más grave, sin resonancia; mantiene su forma y estructura.	Sonido muy fuerte y hueco; el unicel presenta fracturas internas visibles y pérdida de rigidez.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIÓN

En esta investigación se propuso evaluar la efectividad de materiales aislantes comerciales para mejorar el desempeño térmico de envolventes ligeras en México. Los resultados obtenidos validan la hipótesis inicial: en sistemas constructivos de nula inercia térmica, como la lámina galvanizada, la incorporación de aislamiento no es opcional, sino un requisito indispensable para la habitabilidad.

Conclusiones Teóricas y Prácticas Desde una perspectiva teórica, el estudio confirma que la resistencia térmica (Valor-R) es el mecanismo dominante para el control de temperatura en construcciones ligeras. A diferencia de la mampostería, que gestiona el calor mediante masa térmica, la lámina depende enteramente de la baja conductividad de los materiales añadidos. Entre las opciones evaluadas, la Espuma de Poliuretano (conductividad 0.032 - 0.040 W/m·K) demostró un rendimiento superior al EPS y la fibra de vidrio. Esto se atribuye no solo a sus propiedades intrínsecas, sino a su capacidad de expansión in situ, lo que genera una hermeticidad que elimina las pérdidas por convección, un factor crítico que a menudo se subestima en modelos teóricos puramente conductivos.

En la práctica, esto implica que la rehabilitación energética de viviendas precarias en México mediante la aplicación de espuma de poliuretano es una estrategia técnica y económicamente viable. Transforma una estructura vulnerable en una envolvente capaz de resistir cargas térmicas extremas, reduciendo la dependencia de la climatización mecánica.

Comparación con Otros Estudios Estos hallazgos se alinean con las proyecciones de Rosas-Flores y Rosas-Flores (2020) sobre el potencial de ahorro energético nacional mediante la intervención de la envolvente. Sin embargo, nuestros resultados experimentales matizan las conclusiones de estudios como los de (Jeong, 2014b); si bien el Valor-R es fundamental, en la autoconstrucción real, la facilidad de instalación y el sellado de juntas (donde el poliuretano supera a la fibra de vidrio) son determinantes para el desempeño final. Asimismo, se reconoce la validez de lo propuesto por (Piselli et al., 2019): aunque el aislamiento es efectivo, su combinación futura con techos fríos (reflectivos) maximizaría la eficiencia al atacar la radiación antes de que sature el aislante.

Limitaciones del Estudio y Futuras Líneas de Investigación Es necesario reconocer las limitaciones metodológicas de esta investigación. Primero, el uso de prototipos a escala no replica exactamente la dinámica de flujos de aire de una vivienda habitada. Segundo, la fuente de calor utilizada fue constante y extrema, difiriendo del ciclo solar diurno. Finalmente, no se evaluó el comportamiento higrotérmico a largo plazo ni el análisis de ciclo de vida completo de los materiales, temas sugeridos para futuras investigaciones (Keuler et al., 2024).

REFERENCIAS

- Al-Yasiri, Q., & Szabó, M. (2021). Incorporation of phase change materials into building envelope for thermal comfort and energy saving: A comprehensive analysis. *Journal of Building Engineering*, 36, 102122. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.102122>
- Athmani, W., Sriti, L., Dabaieh, M., & Younsi, Z. (2022). The Potential of Using Passive Cooling Roof Techniques to Improve Thermal Performance and Energy Efficiency of Residential Buildings in Hot Arid Regions. *Buildings*, 13(1), 21. <https://doi.org/10.3390/buildings13010021>
- Athmani, W., Sriti, L., Dabaieh, M., & Younsi, Z. (2022). The Potential of Using Passive Cooling Roof Techniques to Improve Thermal Performance and Energy Efficiency of Residential Buildings in Hot Arid Regions. *Buildings*, 13(1), 21. <https://doi.org/10.3390/buildings13010021>
- de la Barra, P., Brembilla, E., Prieto, A., Vásquez, C., Knaack, U., & Luna-Navarro, A. (2025). Influence of automated façades on comfort and energy: A critical review. *Energy and Buildings*, 347, 116290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116290>
- Grazieschi, G., Asdrubali, F., & Thomas, G. (2021). Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review. *Cleaner Environmental Systems*, 2, 100032. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100032>

- Hernández-Pérez, I. (2021). Influence of Traditional and Solar Reflective Coatings on the Heat Transfer of Building Roofs in Mexico. *Applied Sciences*, 11(7), 3263. <https://doi.org/10.3390/app11073263>
- Jeong, Y. S. (2014a). Experimental Study on the Thermal Conductivity of Thermal Insulation Materials Used in Residential Buildings. *Advanced Materials Research*, 1025–1026, 535–538. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.535>
- Jeong, Y. S. (2014a). Experimental Study on the Thermal Conductivity of Thermal Insulation Materials Used in Residential Buildings. *Advanced Materials Research*, 1025–1026, 535–538. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.535>
- Jeong, Y. S. (2014b). Experimental Study on the Thermal Conductivity of Thermal Insulation Materials Used in Residential Buildings. *Advanced Materials Research*, 1025–1026, 535–538. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.1025-1026.535>
- Keuler, J., Albrecht, K., & Pärish, P. (2024). Evaluation of thermal comfort during showering with system- related temperature fluctuations. *Journal of Building Engineering*, 88, 109162. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109162>
- Khadka, S., Rijal, H. B., Amano, K., Saito, T., Imagawa, H., Uno, T., Genjo, K., Takata, H., Tsuzuki, K., Nakaya, T., Nishina, D., Hasegawa, K., & Mori, T. (2024). Development of adaptive behaviour models for thermal comfort: Longitudinal investigation in Japanese office buildings and literature review. *Journal of Building Engineering*, 89, 109220. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109220>
- Khadka, S., Rijal, H. B., Amano, K., Saito, T., Imagawa, H., Uno, T., Genjo, K., Takata, H., Tsuzuki, K., Nakaya, T., Nishina, D., Hasegawa, K., & Mori, T. (2024). Development of adaptive behaviour models for thermal comfort: Longitudinal investigation in Japanese office buildings and literature review. *Journal of Building Engineering*, 89, 109220. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.109220>
- L. F. A., & Hu, J. W. (2024). Recent Advances and Developments in Phase Change Materials in High- Temperature Building Envelopes: A Review of Solutions and Challenges. *Buildings*, 14(6), 1582. <https://doi.org/10.3390/buildings14061582>
- Moctezuma-Sánchez, M., Espinoza Gómez, D., López-Sosa, L. B., Golpour, I., Morales-Máximo, M., & González-Carabes, R. (2024). A Thermal Model for Rural Housing in Mexico: Towards the Construction of an Internal Temperature Assessment System Using Aerial Thermography. *Buildings*, 14(10), 3075. <https://doi.org/10.3390/buildings14103075>
- Moctezuma-Sánchez, M., Espinoza Gómez, D., López-Sosa, L. B., Golpour, I., Morales-Máximo, M., & González-Carabes, R. (2024). A Thermal Model for Rural Housing in Mexico: Towards the Construction of an Internal Temperature Assessment System Using Aerial Thermography. *Buildings*, 14(10), 3075. <https://doi.org/10.3390/buildings14103075>
- Narbutis, J., & Vanaga, R. (2025). Nano-Enhanced Phase Change Materials for Building Envelopes: A Systematic Review of Thermal Performance and Applications.

Environmental and Climate Technologies, 29(1), 359–389.
<https://doi.org/10.2478/rtuct-2025-0025>

Piselli, C., Pisello, A. L., Saffari, M., de Gracia, A., Cotana, F., & Cabeza, L. F. (2019). Cool Roof Impact on Building Energy Need: The Role of Thermal Insulation with Varying Climate Conditions. *Energies*, 12(17), 3354. <https://doi.org/10.3390/en12173354>

Rashid, F. L., Dulaimi, A., Hatem, W. A., Al-Obaidi, M. A., Ameen, A., Eleiwi, M. A., Jawad, S. A., Bernardo,

Santos, P., & Ribeiro, T. (2021). Thermal Performance of Double-Pane Lightweight Steel Framed Walls with and without a Reflective Foil. *Buildings*, 11(7), 301. <https://doi.org/10.3390/buildings11070301>

Upasani, N., Guerra-Santin, O., & Mohammadi, M. (2024). Developing building-specific, occupant-centric thermal comfort models: A methodological approach. *Journal of Building Engineering*, 95, 110281. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110281>

Upasani, N., Guerra-Santin, O., & Mohammadi, M. (2024). Developing building-specific, occupant-centric thermal comfort models: A methodological approach. *Journal of Building Engineering*, 95, 110281. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.110281>

Velashjerdi Farahani, A., Jokisalo, J., Korhonen, N., Jylhä, K., & Kosonen, R. (2024). Simulation analysis of Finnish residential buildings' resilience to hot summers under a changing climate. *Journal of Building Engineering*, 82, 108348. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108348>

© Los autores. Este artículo se publica en Prisma ODS bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0). Esto permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, incluidos fines comerciales, siempre que se otorgue la atribución adecuada a los autores y a la fuente original.



doi: <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.295>

Cómo citar este artículo (APA 7ª edición):

Jiménez Rodríguez, J. F. ., Muñoz Tlacuayo, U. ., Hernandez Bautista, A. ., Huerta Galaviz, J. ., & Cuate Gomez, D. H. . (2026). Análisis del Rendimiento Termoenergético de Viviendas en México Mediante la Incorporación de Materiales Aislantes. *Prisma ODS: Revista Multidisciplinaria Sobre Desarrollo Sostenible*, 5(1), 821-839. <https://doi.org/10.65011/prismaods.v5.i1.295>