

RENDIMIENTO TERMO-ENERGÉTICO DE AISLANTE DE MICELIO COMO ALTERNATIVA SOSTENIBLE PARA AISLACIÓN TÉRMICA EN SISTEMAS INDUSTRIALES DE CONSTRUCCIÓN LIVIANA

Maira Terraza ^{1a}, Noelia Alchapar ^{1b}, Maria Victoria Mercado ^{1c}, Ayelén Villalba ^{1d}

¹ Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Mendoza, Argentina.

^{1a} mterraza@mendoza-conicet.gob.ar ; ^{1b} nalchapar@mendoza-conicet.gob.ar ; ^{1c} mvmmercado@mendoza-conicet.gob.ar ;

^{1d} avillalba@mendoza-conicet.gob.ar

^{1a} 0009-0007-7107-9886, ^{1b} 0000-0003-2682-3163, ^{1c} 0000-0003-1471-3709, ^{1d} 0000-0002-6401-7085

DOI <https://doi.org/10.48204/2710-7426.9374>

RESUMEN: La necesidad de incrementar la eficiencia energética de los edificios y de reducir el impacto ambiental asociado al uso de materiales convencionales impulsa la búsqueda de soluciones constructivas más sostenibles. En este contexto, este estudio analiza el comportamiento térmico y energético de un biomaterial basado en micelio (MBC) comparado con el poliestireno expandido (EPS) en sistemas constructivos livianos (tipo SIP). Se evaluaron sus propiedades térmicas y su incidencia en el desempeño energético de un prototipo ubicado en dos zonas bioambientales (IVa y V) de la provincia de Mendoza, Argentina. El análisis incluyó el cálculo del valor U según normativas y simulaciones energéticas realizadas en *EnergyPlus*. Los principales resultados muestran que el MBC debe incrementar su espesor a 75 mm, para alcanzar un rendimiento comparable al de un EPS de 50 mm. Entre ambos aislantes se observa una diferencia de la demanda anual de calefacción del 1%. Los resultados indican que el MBC constituye una alternativa viable para su aplicación como aislante térmico y refuerzan la necesidad de resolver desafíos vinculados al desarrollo de estas nuevas tecnologías considerando aspectos físicos (como la reducción de su peso), durabilidad y producción su fabricación a escala industrial que posibiliten la viabilidad de su implementación.

PALABRAS CLAVES: aislación térmica, aislantes no convencionales, biomaterial de micelio, eficiencia energética, materiales aislantes tradicionales.

ABSTRACT: Improving the energy efficiency of buildings and reducing the environmental burden associated with conventional insulation materials has intensified the search for more sustainable construction alternatives. This study investigates the thermal and energy performance of a mycelium-based composite (MBC) in comparison with expanded polystyrene (EPS) within lightweight structural insulated panel (SIP) systems. Thermal properties and their influence on the energy behavior of a simplified prototype located in two bioenvironmental zones (IVa and V) of Mendoza, Argentina, were assessed. The analysis involved the determination of U-values following relevant standards and building energy simulations conducted in *EnergyPlus*. The main results show that the MBC must increase its thickness to 75 mm in order to achieve a performance comparable to that of a 50 mm EPS. A 1% difference in annual heating demand is observed between the two insulation materials. Overall, the findings position MBC as a promising thermal insulation alternative and underscore the need to address remaining challenges related to its physical properties, durability, and scalable manufacturing to support its practical adoption in the construction sector

KEYWORDS: energy efficiency, mycelium-based biomaterial, thermal insulation, traditional insulation materials, unconventional insulation materials

1. INTRODUCCIÓN

La eficiencia energética de los edificios es una condición necesaria en la actualidad para reducir las emisiones de la

industria de la construcción. Las demandas de enfriamiento y calefacción, especialmente en regiones de clima árido, representan un desafío para reducir el consumo de energía destinado a la climatización [1-2].

En este contexto, el diseño de la envolvente del edificio es crucial, ya que define directamente la demanda energética de calefacción y refrigeración, además de ser esencial para garantizar el confort y la calidad ambiental interior. Su conformación es, asimismo, un factor importante en la determinación del carbono incorporado del edificio. La forma más efectiva de reducir las necesidades térmicas y asegurar el confort es mediante un buen diseño que integre envolventes de alto rendimiento. La selección de la estructura y los materiales de la envolvente es particularmente significativa en comparación con otras soluciones, dada la larga vida útil de los edificios y los costos asociados a dicha envolvente [3]. La incorporación de aislamiento térmico es una estrategia clave para reducir las emisiones causadas por la energía consumida durante la etapa de uso de los edificios. Numerosos estudios han demostrado que la inclusión de estrategias de aislamiento en los sistemas constructivos permite ahorrar entre un 35 y 60% de energía [4-7] lo cual contribuye directamente a la disminución de las emisiones de este sector.

En los últimos años, en diversas ciudades latinoamericanas ha aumentado la adopción de sistemas industrializados y tecnologías livianas en seco, impulsadas por su rapidez de ejecución, menor costo y, en muchos casos, por discursos comerciales que las posicionan como alternativas eficientes y sustentables. Este crecimiento se refleja en la expansión de soluciones como los paneles aislantes estructurales (SIP, por sus siglas en inglés) y el sistema *steel frame*, favorecidos por su estandarización industrial. Las proyecciones del mercado indican una tasa de crecimiento anual compuesta superior al 6% para el periodo 2025–2030 [8]

Entre estos sistemas, los paneles SIP se han consolidado como una tipología de alto rendimiento dentro de la construcción en seco [9]. Se componen de un núcleo aislante entre dos láminas estructurales de OSB, lo que les confiere simultáneamente capacidad portante y eficiencia térmica. En el mercado regional, los SIP con núcleos de poliestireno expandido (EPS) o poliuretano (PUR) son los más utilizados por su buen desempeño térmico. Gracias a su condición prefabricada y a la rapidez de montaje, se emplean de manera versátil en muros, techos y pisos. No obstante, estas prestaciones coexisten con limitaciones asociadas a su costo inicial y a impactos ambientales relevantes, como la energía incorporada y la huella de carbono, generada en mayor medida durante la producción del aislante [10].

Es por esto que actualmente, la industria de la construcción se encuentra en un punto de transición hacia el uso de materiales más sostenibles y de menor impacto ambiental. Entre estas alternativas se destaca la aplicación de residuos agroindustriales o subproductos orgánicos de diversas industrias que han demostrado ser eficientes desde el punto de vista técnico. A nivel local, la situación es similar. En

Argentina, los materiales más utilizados en la envolvente edilicia continúan siendo los considerados tradicionales como el poliestireno expandido (EPS) [11], sin embargo, en la última década ha aumentado de manera significativa la demanda y el desarrollo de nuevos materiales para la construcción [12-13]. A nivel nacional se destacan, por un lado, los aislantes basados en la lana de ovino, como alternativa comercial posicionando varias empresas nacionales (Abriga, Aislana, Lanarq, entre otras). Por otro lado, surgen como otra alternativa para procesar fibras naturales los materiales biofabricados basados en micelio fúngico (MBC por sus siglas en inglés). El micelio, la estructura vegetativa de los hongos, ha emergido como una posibilidad prometedora para la producción de nuevos materiales debido a su capacidad para crecer y consolidarse en una variedad de sustratos naturales, creando biocomposites con buenas propiedades físicas, térmicas y mecánicas, aunque varían significativamente dependiendo del hongo utilizado, el tipo de sustrato y su proceso de fabricación [14 - 20]. Estos materiales de origen natural, no solo otorgan una segunda vida a estos residuos, sino que también minimizan el consumo de energía asociado con su producción, contribuyendo a reducir la huella ambiental de los materiales convencionales [11], [19], [21-24].

Este escenario refuerza la necesidad de avanzar en el desarrollo y en la evaluación del rendimiento energético de materiales aislantes innovadores, de bajo impacto ambiental que permitan complementar o mejorar el desempeño térmico de las soluciones constructivas livianas actualmente en expansión en América Latina.

En este contexto, el objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de biomateriales aislantes a base de micelio aplicados en un sistema constructivo tipo SIP. Su eficiencia se compara con la de aislantes convencionales empleados en envolventes edilicias livianas. El análisis se realiza sobre un prototipo de tipología cuadrada, modelado bajo distintas configuraciones tecnológicas en muros, en dos zonas bioambientales extremas de Mendoza (Argentina) durante el periodo estival e invernal. Este trabajo forma parte de una tesis doctoral llevada a cabo en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina cuya finalidad es desarrollar materiales aislantes basados en micelio de hongos y residuos de podas de vid. El propósito final es determinar el espesor del biomaterial necesario para igualar el desempeño energético del EPS y estimar el impacto de su incorporación en los sistemas de construcción liviana utilizados a nivel regional.

2. METODOLOGÍA

Con el objetivo de comparar el rendimiento termo-energético del aislante con base de micelio con respecto al

aislante tradicional de EPS, en primer lugar, se realizó un cálculo teórico de la transmitancia térmica de los distintos paquetes de muro. Posteriormente, se realizó una evaluación energética de un modelo de edificio mediante simulación, para comparar el rendimiento térmico de las tecnologías de muros. Para este propósito, se intercambiaron los materiales aislantes dentro de la tecnología constructiva liviana de los muros, considerando tanto el aislante convencional como el no convencional, analizando sus propiedades térmicas y su impacto en el rendimiento energético.

2.1. Características de los aislantes seleccionados

El EPS es el aislante más utilizado en sistemas livianos. Su presentación comercial incluye diversos espesores y densidades de hasta 30 kg/m³, siendo 50 mm el espesor de uso más frecuente. En este estudio, las propiedades térmicas del EPS se tomaron a partir del valor declarado de conductividad térmica (k) establecido por la norma nacional IRAM 11605 (normativa nacional). Para una densidad de 15 kg/m³, dicha norma indica un valor de k de 0,037 W/mK.

El biomaterial basado en micelio (MBC) utilizado corresponde al desarrollado por [25], con un valor ensayado de conductividad térmica de 0,055 W/mK y una densidad de 190 kg/m³. Su selección se fundamenta en estudios previos que recopilan y comparan propiedades térmicas de diferentes MBC reportados en la revisión de la literatura de [26].

2.2. Área de estudio

El estudio se desarrolla en la provincia de Mendoza (Argentina), un caso relevante debido a su elevada demanda de acondicionamiento térmico, condicionada por la alta heliofanía y las pronunciadas oscilaciones térmicas diarias y estacionales [27]. Mendoza, se ubica en el centro-oeste de Argentina (33° S, 68° O), al pie de la Cordillera de los Andes. Presenta un clima árido, con inviernos fríos y secos y veranos calurosos de baja humedad relativa con precipitaciones anuales promedio de 218 mm [28]. Las amplitudes térmicas superiores a 14 °C en gran parte del territorio refuerzan la importancia del diseño de estrategias pasivas de eficiencia energética en la construcción para reducir la dependencia de sistemas activos de climatización. Según la clasificación bioambiental del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM), Mendoza se divide en cinco zonas: IIIa (templado cálido, amplitudes >14 °C), IVa (templado frío de montaña), IVb (templado frío de máxima irradiancia), V (frío) y VI (muy frío) [29]. En particular, el presente estudio se desarrolla en dos ciudades ubicadas en zonas bioambientales extremas de la provincia de Mendoza: Ciudad de Mendoza, ubicada en la zona templada fría de montaña (IVa) y Malargüe ubicada en la Zona muy fría (V) [29] (Figura 1).



Figura 1. Zonas bioambientales de la provincia de Mendoza según IRAM 11603 seleccionadas para el estudio.

2.3. Cálculo de valores de transmitancia térmica (U) de acuerdo a norma IRAM

La norma IRAM 11605 establece valores mínimos y óptimos de aislamiento térmico para garantizar el confort interior para cada zona bioambiental [30] (Tabla 1). La evaluación se realiza según la zona, y en condiciones de invierno y verano; excepto en la zona V, para la cual el cálculo se debe hacer para el escenario más desfavorable, es decir, el invierno. Los valores difieren según se trate de muros o techos; en este estudio se analizan exclusivamente los muros.

Tabla 1. Valores de transmitancia térmica recomendados por zona climática (IRAM 11605)

Período	Zonas	Estación meteorológica	Nivel	Valor U (W/m2.K)	
				Muro	Techo
Verano	Zona IV.a	Ciudad observatorio (TDMAX 26.9 a 30.8°C)	A (recomendado)	0,5	0,19
			B (medio)	1,25	0,48
			C (mínimo)	2	0,76
Invierno	Zona IV.a	Ciudad Observatorio (TDMIN -3.3°C)	A (recomendado)	0,325	0,285
			B (medio)	0,89	0,73
			C (mínimo)	1,55	1
	Zona V	Malargüe (TDMIN -10.9°C)	A (recomendado)	0,25	0,22
			B (medio)	0,67	0,58
			C (mínimo)	1,15	1

Para el cálculo de la transmitancia térmica total se emplearon datos de conductividad y espesor para obtener la resistencia térmica (R). Asimismo, la norma IRAM 11601 establece valores de resistencias superficiales para muros, correspondientes a 0,13 m²K/W para la superficie interior y 0,04 m²K/W para la exterior cuando el flujo de calor es horizontal [31]. Estos parámetros se utilizan como valores estándar y se suman a los valores de R de cada componente del sistema. Finalmente, el valor de U se obtuvo como la inversa de la resistencia térmica total, es decir, $U=1/R_{total}$.

2.4. Análisis mediante simulación de consumo energético

De acuerdo con el objetivo del trabajo, se utilizó como caso de estudio un prototipo de tipología cuadrada con una superficie de 81 m². Posee una superficie vidriada equivalente al 20% del área de la fachada (ventana de 2 m × 2 m), centrada y orientada al Norte, con un vidrio simple de 3 mm. La elección de este espacio se fundamenta en trabajos previos que desarrollan estudios semejantes y emplean este tipo de geometría simplificada con el fin de analizar de manera particular el comportamiento aislante de los materiales [7], [20]. Como sistema constructivo se utilizó la tecnología tipo SIP compuesta por paneles de OSB y una capa intermedia de aislación térmica rígida (Figura 2).

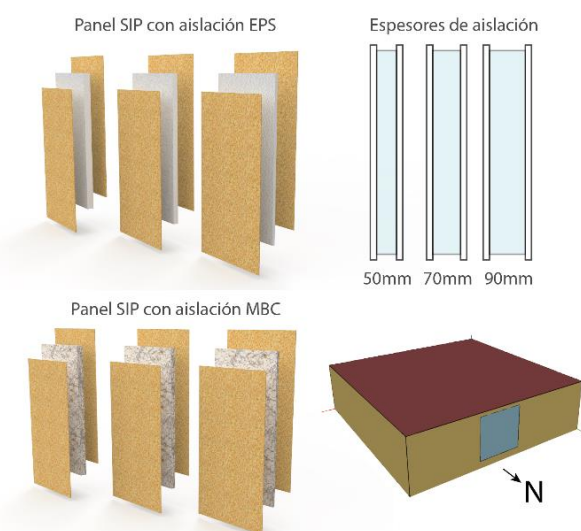


Figura 2. Espesores y tipos de aislantes utilizados en la envolvente del prototipo estudiado.

Las simulaciones se realizaron utilizando *OpenStudio* (version 1.8.0) como interfaz y *EnergyPlus* (versión 24.1) para el cálculo de cargas térmicas y requerimiento energético. *EnergyPlus* es un software de simulación de referencia, financiado por la Oficina de Tecnologías de la Construcción del Departamento de Energía de los Estados Unidos (<https://energyplus.net/>). El desempeño y la fiabilidad de *EnergyPlus* han sido ampliamente validados mediante comparaciones con datos experimentales [20], [27]. El software se compone de tres módulos principales: un gestor de simulación, un módulo de simulación de sistemas del edificio y un módulo de simulación de balance de calor y masa. Este último calcula las cargas térmicas del edificio en función de la geometría y las características de la envolvente definida por el usuario [20].

La simulación se simplificó a una zona térmica. En cuanto a la materialidad, se analizó el rendimiento térmico de un sistema SIP aplicado a muros mediante 12 escenarios que

modificaron el material aislante (EPS y MBC) y sus espesores (50, 70 y 90 mm) en dos zonas bioambientales de la provincia de Mendoza (IVa y V). La geometría del prototipo y la composición de la envolvente utilizadas como parámetros de entrada para las simulaciones se presentan en la Tabla 2. Para la simulación energética y el cálculo de cargas se establecieron las condiciones operativas del prototipo. Para esto se definieron los *schedules* de infiltraciones y termostatos para invierno y verano y los equipos de climatización (HVAC) detallados en Tabla 3. El requerimiento energético se calculó a partir de la carga ideal. Los archivos climáticos se incorporaron en formato EPW obtenidos de <https://climate.onebuilding.org>.

Tabla 2. Composición de la envolvente del prototipo.

Capa	Rugosidad	Espesor (m)	Conductividad (W/mK)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg°C)	Resistencia térmica (m ² K/W)
TECHO						
Membrana asfáltica	Rugoso	0,005	0,17	-	-	0,04
Carpeta alivianada	Rugoso	0,1	0,15	500	800	0,67
Cieloraso madera	Rugoso	0,025	0,11	756	1700	0,07
Aislante: EPS	Rugoso	0,05	0,037	15	-	1,35
MUROS EXTERIORES						
Revoque exterior	Suave	0,025	0,93	1900	1000	0,03
OSB	Rugoso	0,011	0,93	756	1700	0,01
Aislante						a-1) 1,37 a-2) 1,89 a-3) 2,43 b-1) 0,91 b-2) 1,27 b-3) 1,63
a) EPS	a) Rugoso	1) 0,05	a) 0,037	a) 15		
b) MBC	b) Muy rugoso	2) 0,07 3) 0,09	b) 0,55	b) 190		
SUELO						
Hormigón de contrapiso	Rugoso	0,12	1,63	2400	800	0,07

*No se consideran las ganancias internas como una variable de estudio debido a que el objetivo del trabajo es determinar el impacto de la envolvente y no sobre su uso.

*El calor específico es un valor requerido solo para los materiales máscicos

Tabla 3. Condiciones operativas del prototipo.

HVAC	
Termostato de calefacción	20°C
Termostato de refrigeración	24°C
Tasa de ventilación	
Default	0,2 m ³ /s
Priority: periodo estival horario nocturno	1 m ³ /s
Renovaciones de aire por hora	1,5
Temperatura de suelo	
Mendoza	16°C invierno 18°C verano
Malargüe	14°C invierno 16°C verano
Capacidad total de calefacción	Dimensionada automáticamente para el día de diseño
Capacidad total de refrigeración	Dimensionada automáticamente para el día de diseño
Periodo de simulación	Un año

*No se consideran los requerimientos por iluminación, ocupación de usuarios ni equipamiento interno, dado que el objetivo del trabajo es evaluar el impacto de la envolvente y no el del uso.

3. RESULTADOS

A partir de los valores de conductividad térmica y espesores de cada componente, se calcularon las resistencias térmicas individuales (capa de material) y la resistencia térmica total (paquete tecnológico de muro) para cada una de las configuraciones de muro analizadas (Figura 3). Considerando el mismo espesor de aislante para todas las tecnologías, el EPS destaca mejorando la R en un 24% frente al MBC. A pesar de esto, el EPS de 50 mm no es eficiente para alcanzar el nivel A en el invierno en ninguna de las zonas analizadas. Si bien este espesor alcanza el nivel medio sugerido en todas las zonas y periodos, sólo alcanza nivel A en verano en la zona IV. En cuanto al MBC, presenta menor rendimiento en invierno en la zona V, ya que sólo alcanza el valor mínimo de U requerido. Asimismo, todas las soluciones analizadas con 50 mm de aislante cumplen el nivel mínimo recomendado por la IRAM 11605 para las distintas zonas bioambientales tanto en invierno como en verano.

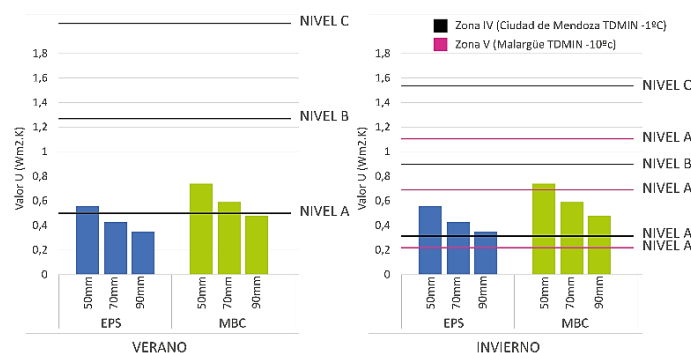


Figura 3. Transmitancia térmica de los casos analizados (EPS y MBC) para espesores de 50 mm, 70 mm y 90 mm. Niveles de transmitancia térmica recomendados para las zonas IVa y V por la IRAM 11605.

Para igualar el rendimiento térmico del EPS de 50 mm y alcanzar valores de U semejantes el MBC debe incrementar el espesor a 75 mm. De este modo, los dos materiales alcanzan los niveles medios recomendados (nivel B) en todas las zonas y periodos, así como el nivel A para el verano en la zona IVa.

3.2. Análisis del desempeño térmico de los materiales evaluados

A continuación, se presentan los resultados de la simulación de temperaturas de aire interiores (Ti) para los materiales aislantes EPS y MBC, considerando distintos espesores (50, 70 y 90 mm) en las dos zonas geográficas seleccionadas en escenarios de invierno (julio) y verano (enero). En las figuras 4 y 5 se observan las curvas de temperaturas interiores simuladas para EPS y MBC en

diferentes espesores de acuerdo a zona bioambiental para el periodo invernal y estival, respectivamente.

3.2.1. Desempeño según periodo estacional (invierno - verano)

- Escenarios en invierno:

En la Ciudad de Mendoza, durante las horas críticas - temperaturas mínimas- la temperatura interior del prototipo sin aislamiento es de 10,5 °C. En el escenario con EPS las Ti oscilaron entre 12,9 °C (50 mm) y 13,2 °C (90 mm). Esto representa una mejora promedio de 2,6 °C respecto a la condición sin aislamiento. La diferencia de desempeño térmico entre los distintos espesores de EPS es de 0,3 °C. En los escenarios con MBC las Ti registradas son de entre 12,6 °C (50 mm) y 13 °C (90 mm). La mejora observada es de 2,2 °C a 2,6 °C frente al escenario sin aislación. La variación de desempeño entre los espesores de MBC fue inferior a 0,5 °C.

En Malargüe para la condición de invierno se observa que la Ti sin aislamiento es de 7,7 °C. El escenario con EPS muestra una Ti entre 10,4 °C (50 mm) y 10,9 °C (90 mm). El incremento de temperatura es de aproximadamente 3°C respecto al escenario sin aislamiento. La diferencia de desempeño entre los espesores de EPS alcanzó los 0,5 °C. El escenario con MBC registra Ti entre 10,1 °C (50 mm) y 10,6 °C (90 mm). Se observa una mejora de 2,4 °C a 2,9 °C frente a la condición sin aislamiento. La diferencia de desempeño entre los espesores de MBC es de 0,5 °C.

- Escenarios en verano:

En Ciudad de Mendoza, la temperatura interior sin aislamiento se situó en 26,1 °C. En la condición con EPS las Ti simuladas variaron de 22,3 °C (50 mm) a 21,8 °C (90 mm). Esto implica una mejora (reducción de Ti) de 3,8 °C a 4,3 °C respecto al caso sin aislamiento. La diferencia de desempeño entre los distintos espesores de EPS fue de 0,5 °C. En el escenario con MBC las Ti obtenidas se ubican entre 22,8 °C (50 mm) y 22,1 °C (90 mm). La mejora observada fue de 3,3 °C a 4 °C frente al escenario sin aislación. La variación de desempeño entre los espesores de MBC fue inferior a 0,7 °C.

En el caso de Malargüe, no fue analizada según lo establecido por la Norma IRAM 11605. Esto se debe a que la ciudad, clasificada como Zona V, presenta un clima frío con temperaturas moderadas y frescas. Además, las horas críticas de calor son mínimas, lo que permite mantener condiciones de confort sin requerir un acondicionamiento mecánico de refrigeración intensivo.

Invierno

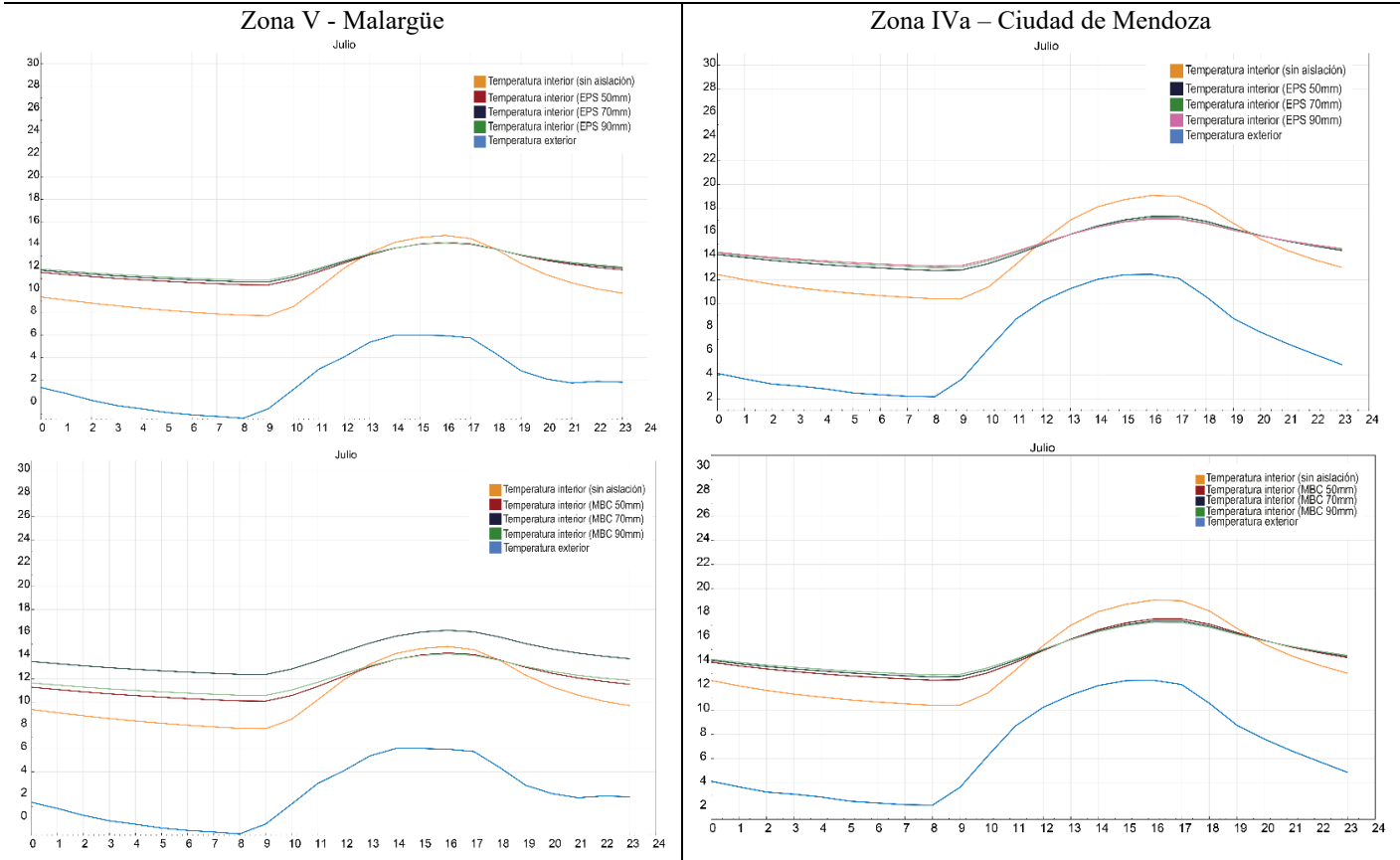


Figura 5. Curvas de temperaturas interiores en invierno para escenarios con EPS y MBC, según espesor (50, 70 y 90 mm) y zona bioambiental IVa y V.

Verano - Zona IVa – Ciudad de Mendoza

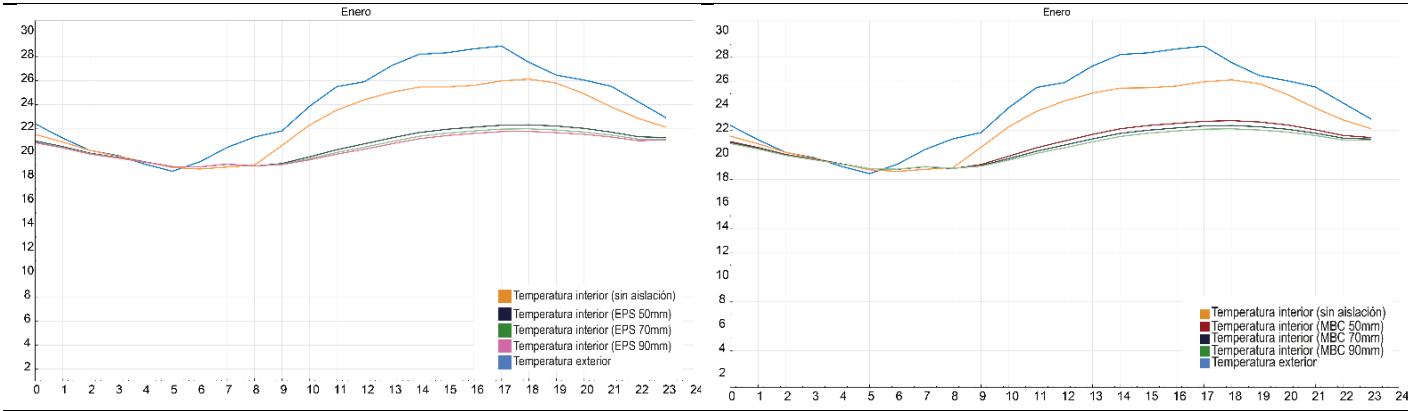


Figura 6. Curvas de temperaturas interiores en verano para escenarios con EPS y MBC, según espesor (50, 70 y 90 mm) en zona IV.

3.2.2. Desempeño según espesor de aislante (50, 70, 90 mm)

El comportamiento térmico de los escenarios evidencia una tendencia similar según el espesor del aislante consiguiendo

mantener la temperatura interior y disminuir la amplitud térmica sin una marcada diferencia en la eficiencia. El rendimiento térmico obtenido con los diferentes espesores con

el material MBC es muy similar en todos los periodos en las zonas IV y V, tanto en invierno (diferencias de T_i de hasta $0,5^{\circ}\text{C}$) como en verano (diferencias de T_i de hasta $0,7^{\circ}\text{C}$). Del mismo modo el EPS muestra un comportamiento similar al variar el espesor, sin presentar diferencias amplias de temperatura interior (diferencias de T_i de hasta $0,5^{\circ}\text{C}$) utilizando estos tres espesores para la zona IV. Por otro lado, la zona V se destaca el desempeño a partir de los 90 mm para el EPS.

3.3. Análisis del requerimiento energético anual de los materiales evaluados

3.3.1. Requerimiento según periodo estacional (verano - invierno)

El requerimiento energético anual para calefacción y refrigeración se comparó para el prototipo con el aislante MBC frente al aislante EPS en las dos zonas bioambientales. En la Tabla 4 se muestran los resultados del consumo de energía total anual para la refrigeración y calefacción basados en los análisis de *EnergyPlus*. Es importante tener presente que estos resultados corresponden al módulo simplificado considerado en este trabajo y por lo tanto son de orden comparativo entre las dos tecnologías analizadas únicamente, ya que no representan un caso real de vivienda o edificio. Asimismo, es pertinente aclarar que los resultados se basan en la estación meteorológica de la Ciudad de Mendoza, ubicada en las afueras de la ciudad; por lo tanto, estos registros tienden a subestimar el impacto del clima urbano, ya que no están influenciadas por el efecto de isla de calor.

- Escenarios en verano: el consumo de energía para enfriamiento fue necesario en todos los casos sin aislación y para el caso de Ciudad de Mendoza con aislación de MBC 50 mm.

- Escenarios en invierno: el consumo de energía para calefacción fue requerido en todos los casos. En este sentido el MBC de 70 mm sigue comportándose con eficiencia similar al EPS de 50 mm (requiere de $1,55\text{ Kwh/m}^2$ más al año en zona V y de $0,93\text{ Kwh/m}^2$ para zona IV), aunque tampoco se observan grandes diferencias en el rendimiento al variar entre los tres espesores estudiados.

Tabla 4. Requerimientos para refrigeración y calefacción (KWh/m^2 año) con termostatos a 20°C (invierno) y 24°C (verano).

		Sin aislar	EPS 50mm	EPS 70mm	EPS 90mm	MBC 50mm	MBC 70mm	MBC 90mm
Malargüe (zona V)	Enfriamiento	0,41	0	0	0	0	0	0
	Calefacción	261,8	197,3	192,9	190,17		198,8	194,7
Ciudad de Mendoza (zona IV)	Enfriamiento	3,22	0	0	0	0,34	0	0
	Calefacción	135,2	102,5	100,5	99,3	105,6	102,9	101,3

3.2.2. Requerimiento según tipo y espesor de aislante (50, 70, 90 mm)

En la Ciudad de Mendoza, los requerimientos de energía anual del escenario con EPS oscilan entre $104,53\text{ KWh/m}^2$ (50 mm) y $101,26\text{ KWh/m}^2$ (90 mm) (Figura 7). La diferencia entre espesores es de $3,27\text{ KWh/m}^2$. En los escenarios con MBC los requerimientos registrados son de entre $108,03\text{ KWh/m}^2$ (50 mm) y $103,3\text{ KWh/m}^2$ (90 mm). La variación de desempeño entre los espesores de MBC es de 5 KWh/m^2 . Respecto al escenario sin aislamiento se observa una disminución de la demanda energética máxima de 28% en el escenario con EPS de 90 mm y de 27% en el escenario con MBC con 90 mm, lo que representa tan sólo el 1% de variación entre las dos tecnologías analizadas.

En Malargüe, los escenarios con EPS tienen un requerimiento energético anual de $201,42\text{ KWh/m}^2$ en 50 mm de espesor y de $194,23\text{ KWh/m}^2$ en 90 mm. Con una diferencia de $7,19\text{ KWh/m}^2$ entre espesores. En los escenarios con MBC, el requerimiento energético con la utilización del muro de espesor 50 mm es de $207,8\text{ KWh/m}^2$ y de $198,82\text{ KWh/m}^2$ en 90 mm. Respecto al escenario sin aislamiento se observa una disminución de la demanda energética máxima de 27% en el escenario con EPS de 90 mm y de 26% en el escenario con MBC con 90 mm, siendo del 1% también en este escenario la diferencia entre las tecnologías analizadas. Estos resultados evidencian que el aislante MBC presenta un rendimiento energético competitivo frente al aislante EPS.

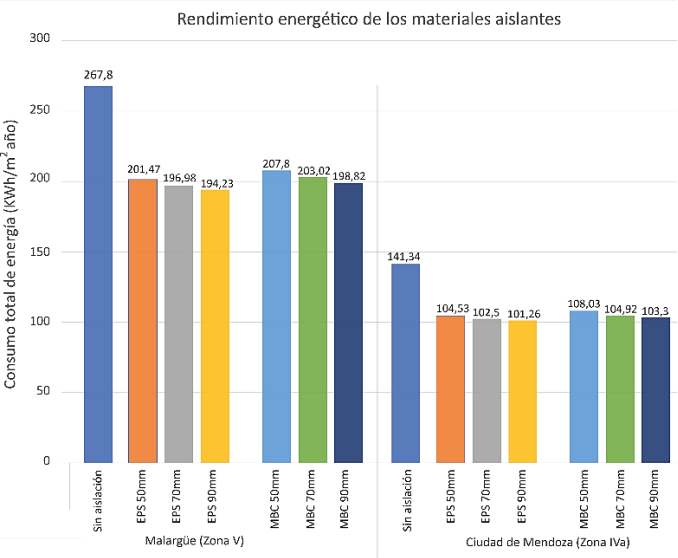


Figura 7. Comparación del rendimiento energético anual (KWh/m^2) de los muros con diferentes materiales de aislación para la Ciudad de Mendoza y de Malargüe.

4. DISCUSIÓN

-Respecto a las normativas actuales:

Para la Ciudad de Mendoza la norma IRAM recomienda 90 mm de espesor de EPS. Sin embargo, los resultados obtenidos en este estudio indican que el incremento de espesor entre 50 y 90 mm no genera mejoras térmicas significativas ya que las diferencias de temperatura interior no superan los 0,5 °C y la reducción adicional en la demanda energética anual es marginal (alrededor de 3 KWh/m² entre ambos espesores en el caso del EPS).

En línea con lo señalado por [32], los espesores necesarios para alcanzar el nivel A propuesto (especialmente en la zona V) resultan poco viables desde el punto de vista técnico y económico. Para que el EPS alcance ese nivel ($U \leq 0,25$ W/m²K) se requerirían aproximadamente 140 mm de aislante. Del mismo modo, la aplicación del MBC como material aislante también se ve condicionada por estos requerimientos normativos: el espesor necesario para alcanzar el Nivel A rondaría los 200 mm; aun cuando los resultados experimentales demuestran que el MBC obtiene un desempeño térmico adecuado con espesores mucho menores.

Estos resultados, junto con la evidencia del comportamiento térmico prácticamente equivalente entre espesores, refuerzan la necesidad de reconsiderar los valores normativos, promoviendo un enfoque que equilibre desempeño térmico, viabilidad técnica y costos de implementación. Asimismo, espesores excesivos no solo elevan costos, sino que dificultan la puesta en obra en sistemas industrializados livianos. Los resultados también evidencian que, en climas fríos y muy fríos, la elección del material y el espesor debe responder a un balance entre eficiencia térmica y factibilidad técnica-económica, ya que incrementos sustanciales en el espesor del aislante no necesariamente se traducen en mejoras significativas en el desempeño.

-Respecto al desempeño del MBC:

Las tecnologías SIP podrían admitir el reemplazo del EPS por el MBC sin modificaciones de diseño. En este estudio se pudo determinar que para que el MBC analizado alcance un desempeño energético similar al de EPS de 50 mm, es suficiente con aumentar 25 mm el espesor, alcanzando un espesor de 75 mm, que es admisible para el tipo de tecnología de construcción liviana analizada en este trabajo. Sin embargo, es necesario considerar que el MBC es un material con una densidad significativamente más elevada que el EPS, por lo que esto tendrá un impacto sobre el peso que debe soportar el sistema de construcción de la aislación. Por ejemplo, en el caso de análisis el peso de una placa de EPS de 1 m x 1 m x 0,05 m es de 0,75 kg, mientras que una placa de MBC de iguales dimensiones tiene un peso de 14,25 kg. En este sentido resulta

necesario avanzar en el diseño de las placas de MBC con el objetivo de reducir su peso, siendo una posible alternativa la inclusión de cámaras de aire, que presentan baja conductividad (entre 0,024 – 0,026 W/(m·K)) y densidad (1,2 kg/m³ a 20 °C). Teniendo en cuenta el adecuado dimensionamiento de las mismas para evitar convección del aire.

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos respecto al rendimiento termo-energético del MBC frente a materiales convencionales, se demostró que el MBC mantiene un comportamiento térmico y energético similar al del EPS, aun con espesores moderados. Las diferencias de temperatura interior entre espesores fueron inferiores a 0,7 °C en verano y 0,5 °C en invierno, mientras que la reducción de la demanda energética anual para espesores de 90 mm alcanzó valores equivalentes en ambos materiales (27–28%). Estos resultados evidencian que el MBC puede constituir una alternativa viable y competitiva dentro de los sistemas de construcción liviana.

Finalmente, podemos concluir que los materiales aislantes no convencionales, específicamente el MBC considerado en este trabajo, presentan un desempeño competitivo respecto a los materiales aislantes tradicionales disponibles en el mercado en términos de desempeño térmico de espacios interiores ubicados en climas templados fríos y fríos. Sin embargo, aún restan desafíos vinculados al desarrollo de estas tecnologías considerando aspectos físicos (como la reducción de su peso), durabilidad y producción a escala industrial.

REFERENCIAS

- [1] S. Al-Qahtani, M. Koç, y R. J. Isaifan, "Mycelium-Based Thermal Insulation for Domestic Cooling Footprint Reduction: A Review", 2023, Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi: 10.3390/su151713217.
- [2] M. Babenko, T. Klitou, E. Klumbyte, y P. A. Fokaides, "Environmental assessment of mycelium based straw insulation composite: A sustainability analysis at building material level", *Case Studies in Construction Materials*, vol. 22, jul. 2025, doi: 10.1016/j.cscm.2025.e04572.
- [3] International Energy Agency, "Buildings – Energy system" IEA, 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>. Accedido [1-dic-2025]
- [4] N. Alchapar, J. Balter, M. V. Mercado y E. Correa, "Microclimatic models and their implications on the energy requirements of buildings in warm dry urban areas," *Energy and Buildings*, vol. 319, p. 114468, 2024. doi: 10.1016/j.enbuild.2024.114468.
- [5] S. Sivaprasad, S. K. Byju, C. Prajith, J. Shaju, y C. R. Rejeesh, "Development of a novel mycelium bio-composite material to substitute for polystyrene in packaging applications", *Mater Today Proc*, vol. 47, pp. 5038-5044, ene. 2021, doi: 10.1016/J.MATPR.2021.04.622.

- [6] S. Islam y G. Bhat, "Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles", 1 de diciembre de 2019, Academic Press. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109536.
- [7] M. Victoria Mercado, G. Barea, y R. Leal, "Thermal insulation's influence in the energy consumption of housing in the summer", International Building Performance Simulation Association, 2019.
- [8] Mordor Intelligence, "Análisis del tamaño y la cuota de mercado del acero galvanizado: tendencias de crecimiento y pronóstico (2025–2030)", Mordor Intelligence, [En línea]. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/galvanized-steel-market>. [Accedido: 7-dic-2025].
- [9] T. P. Sah, A. W. Lacey, H. Hao, y W. Chen, "Prefabricated concrete sandwich and other lightweight wall panels for sustainable building construction: State-of-the-art review", 15 de julio de 2024, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.jobte.2024.109391.
- [10] G. Grazieschi, F. Asdrubali, y G. Thomas, "Embodied energy and carbon of building insulating materials: A critical review", Cleaner Environmental Systems, vol. 2, jun. 2021, doi: 10.1016/j.cesys.2021.100032.
- [11] M. A. Terraza, A. Villalba, y N. Alchapar, "Comparative analysis of conventional and unconventional thermal insulation materials for building construction", Estoa, vol. 14, n.o 28, pp. 38-51, jul. 2025, doi: 10.18537/est.v014.n028.a03.
- [12] A. M. Villalba, N. L. Alchapar, E. N. Correa, A. E. Pattini, y L. Santoni, "Métodos de evaluación opto-térmica de materiales y componentes de la envolvente edilicia. Situación en Argentina", Revista Hábitat Sustentable, pp. 64-79, dic. 2018, doi: 10.22320/07190700.2018.08.02.05.
- [13] R. Gaggino y G. R. Arguello, "Building components made from recycled plastics", en Key Engineering Materials, Trans Tech Publications Ltd, 2014, pp. 615-627. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.600.615.
- [14] N. Attias et al., "Mycelium bio-composites in industrial design and architecture: Comparative review and experimental analysis", J Clean Prod, vol. 246, feb. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119037.
- [15] K. B. Bonga et al., "Mycelium Agrowaste-Bound Biocomposites as Thermal and Acoustic Insulation Materials in Building Construction", Macromol Mater Eng, vol. 309, n.o 6, jun. 2024, doi: 10.1002/mame.202300449.
- [16] P. P. Dias, L. B. Jayasinghe, y D. Waldmann, "Investigation of Mycelium-Miscanthus composites as building insulation material", Results in Materials, vol. 10, jun. 2021, doi: 10.1016/j.rinma.2021.100189.
- [17] E. Elsacker, S. Vandelook, J. Brancart, E. Peeters, y L. De Laet, "Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates", PLoS One, vol. 14, n.o 7, jun. 2019, doi: 10.1371/journal.pone.0213954.
- [18] M. Jones, A. Mautner, S. Luenco, A. Bismarck, y S. John, "Engineered mycelium composite construction materials from fungal biorefineries: A critical review", 1 de febrero de 2020, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.matdes.2019.108397.
- [19] H. Mbabali, M. Lubwama, V. A. Yiga, E. Were, y H. Kasedde, "Development of Rice Husk and Sawdust Mycelium-Based Bio-composites: Optimization of Mechanical, Physical and Thermal Properties", Journal of The Institution of Engineers (India): Series D, vol. 105, n.o 1, pp. 97-117, abr. 2024, doi: 10.1007/s40033-023-00458-x.
- [20] X. Zhang, J. Hu, X. Fan, y X. Yu, "Naturally grown mycelium-composite as sustainable building insulation materials", J Clean Prod, vol. 342, mar. 2022, doi: 10.1016/j.jclepro.2022.130784.
- [21] B. Abu-Jdayil, A. H. Mourad, W. Hittini, M. Hassan, y S. Hameedi, "Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview", 30 de julio de 2019, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102.
- [22] L. Aditya, T.M.I. Mahlia, B. Rismanchi, H.M. Ng, M.H. Hasan, H.S.C. Metselaar, Oki Muraza, H.B. Aditiya, "A review on insulation materials for energy conservation in buildings", 2017, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2017.02.034.
- [23] F. Asdrubali, F. D'Alessandro, y S. Schiavoni, "A review of unconventional sustainable building insulation materials", Sustainable Materials and Technologies, vol. 4, pp. 1-17, jul. 2015, doi: 10.1016/j.susmat.2015.05.002.
- [24] C. H. Koh, F. Gauvin, K. Schollbach, y H. J. H. Brouwers, "Investigation of material characteristics and hygrothermal performances of different bio-based insulation composites", Constr Build Mater, vol. 346, sep. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.128440.
- [25] Z. Yang, F. Zhang, B. Still, M. White, y P. Amstislavski, "Physical and Mechanical Properties of Fungal Mycelium-Based Biofoam", Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 29, n.o 7, jul. 2017, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0001866.
- [26] M. Terraza, N. Alchapar, A. Villalba, y P. Postemsky, "Materiales aislantes térmicos no convencionales: un análisis del micelio como alternativa sostenible en la construcción", en ACTA DE LA XLVI REUNIÓN DE TRABAJO, vol. 11, Rosario: Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, 2024, pp. 43-53.
- [27] J. Balter, N. Alchapar, E. Correa, y C. Ganem, "Urban microclimatic modeling for apartment's thermo-energy simulation in high-rise buildings in Mendoza-Argentina. ENVI-met and EnergyPlus software integration.", Informes de la Construcción, vol. 73, n.o 561, pp. 1-11, 2021, doi: 10.3989/IC.76749.
- [28] Servicio Meteorológico Nacional, Estadísticas climáticas, SMN, [En línea]. Disponible en: <https://www.smn.gob.ar/estadisticas> [Accedido: 5-dic-2025]
- [29] Instituto Argentino de Normalización (IRAM), "IRAM 11603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina", 2011.
- [30] Instituto Argentino de Normalización (IRAM), "IRAM 11605. Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios", 1996.
- [31] Instituto Argentino de Normalización (IRAM), "IRAM 11601. Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo", 2002.
- [32] M. V. Mercado y A. Esteves, "arquitectura sustentable, estudio térmico y técnico económico de la incorporación de aislación térmica", 2005. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/344115376_ARQUITECTURA_SUSTENTABLE_ESTUDIO_TERMICO_Y_TECNICO_ECONOMICO_DE_LA_INCORPORACION_DE_AISLACION_TERMICA.

Fecha de recepción: 08 de diciembre de 2025

Fecha de aceptación: 08 de enero de 2026