

Mejoramiento del potencial de aislante térmico de la mezcla mortero – agua en oficinas y residencias utilizando materiales de desecho

Improvement of the thermal insulation potential of the mortar – water mixture in offices and residences using waste materials

Kristel Cortez¹, Malena Navarro¹, Edgar Vásquez¹, Nacari Marín^{2*}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de Ingeniería Eléctrica, Panamá

² Universidad Tecnológica de Panamá, Centro Regional de Azuero, Facultad de Ingeniería Mecánica, Panamá

Fecha de recepción: 9 de marzo de 2022. **Fecha de aceptación:** 28 de mayo de 2022.

***Autor de correspondencia:** nacari.marin@utp.ac.pa

Resumen. Los beneficios en el aislamiento térmico de una casa o edificio se ven reflejados principalmente en el ahorro energético, en la comodidad térmica, en la reducción de la contaminación ambiental y del efecto invernadero. Se considera que las propiedades de aislamiento térmico que poseen los materiales de construcción de una residencia, se pueden mejorar la eficiencia energética de esta y así mismo la calidad de vida de las personas que residen en ella. Este proyecto, se realizó con el objetivo de probar cómo mejora la propiedad de aislamiento térmico de la mezcla mortero - agua con la adición de materiales desechables, aserrín y poliestireno expandido. Para los ensayos se fabricaron moldes de prueba que contenían la mezcla del mortero y el material reciclado. Dichos moldes fueron estudiados utilizando la ley de Fourier de transferencia de calor por conducción. Para esto, se procedió a la aplicación de calor de forma constante, para posteriormente determinar el gradiente de temperatura entre las caras de los moldes. Los datos obtenidos permitieron conocer de forma relativa la conductividad térmica de las mezclas. Este estudio espera demostrar como la adición de materiales de desecho a la mezcla mortero agua representa una mejora potencial en su capacidad de aislante térmico. La utilización de estos materiales contribuye al medio ambiente, dando cabida al reciclaje, así como el aprovechamiento de residuos generados en pequeñas y medianas empresas, reutilizando residuos que son considerados como desecho.

Palabras clave. Aislamiento térmico, conductividad, reciclable.

Abstract. The benefits in the thermal insulation of a house or building are mainly reflected in energy savings, thermal comfort, in the reduction of environmental pollution and the greenhouse effect. It is considered that the thermal insulation properties possessed by the construction materials of a residence can improve its energy efficiency and likewise the quality of life of the people who reside in it. This project was carried out with the objective of testing how the thermal insulation property of the mortar-water mixture improves with the addition of disposable materials, sawdust and expanded polystyrene. For the tests, test molds containing the mixture of the mortar and the recycled material were made. These molds were studied using Fourier's law of heat transfer by conduction. The thermal insulation capacity of the molds with waste materials showed a percentage improvement with respect to the simple mixture of mortar and water, concluding that the use of these materials contributes to the environment, allowing for recycling, as well as the use of waste generated in small and medium-sized companies, reusing waste that is considered waste.

Keywords. Thermal insulation, conductivity, recyclable.

1. Introducción

El desarrollo tecnológico en las últimas décadas ha conducido a un crecimiento en la demanda energética a nivel mundial. Este crecimiento supone, por un lado, una reducción en la disponibilidad de las fuentes energéticas y por otro, un impacto en el medio ambiente.

Tener un buen aislamiento térmico es importante, tanto para el sector industrial, tecnológico, como para la cotidianidad doméstica. En los procesos donde se tiene un intercambio de calor, es fundamental la presencia del aislante porque permite aumentar la eficiencia de los equipos que acondicionan los ambientes de trabajo. Mejorar la eficiencia energética permite que los equipos tengan un mayor rendimiento con un menor requerimiento de energía al no permitir que ésta se disipe en el ambiente, produciendo un ahorro significativo en energía eléctrica, disminuyendo costos y contribuyendo a la reducción de emisiones de CO₂ [1].

Para evaluar el comportamiento térmico de un elemento (muro o techo) de la envolvente de una edificación se usó, como una aproximación, un modelo unidimensional, es decir, un modelo en donde se desprecian los efectos bidimensionales y tridimensionales por las uniones con otros elementos.

El modelo unidimensional se considera una buena aproximación, ya que en la envolvente la proporción de las zonas de muros y techos, donde los efectos bidimensionales y tridimensionales son importantes, es pequeña comparada con las zonas donde no lo son [2].

El objetivo principal de este proyecto es evaluar en términos relativos cómo mejora el aislamiento térmico de la mezcla mortero agua cuando se le adicionan materiales desechables, aserrín y poliestireno expandido.

2. Construcción de moldes de prueba

En Panamá, debido a las condiciones climáticas, un gran porcentaje del consumo de la energía eléctrica se utiliza en climatizar ambientes. Panamá, un país tropical con una latitud de 8° Norte tiene gran cantidad de días soleados, en los que la temperatura media es de unos 32 °C con una alta humedad. Es por ello por lo que, para mantener el confort en oficinas y residencias es imprescindible el uso del de acondicionadores de aire. Con el costo de la energía eléctrica de 0.19430 B/. /kWh (Naturgy BTS2) [3], se hace necesario limitar la transferencia de calor en las fronteras del espacio climatizado, con el fin de hacer el sistema más eficiente y abaratar costos.

Comúnmente, en un espacio climatizado como una habitación, la frontera del sistema está cubierta por una mezcla llamada mortero, el cual es un compuesto de aglutinantes

inorgánicos, agregados finos, agua y aditivos que sirven para aparejar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, entre otros. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el revestimiento de paredes [4].

En base a estudios previos de cómo afecta la adición de ciertos materiales a la conductividad térmica del mortero [5], se decidió determinar cómo los materiales de desecho, aserrín y poliestireno expandido mejoran la capacidad de aislante térmico del mortero. Se utilizó mortero que cumple con las normas ASTM C 270 Tipo S.

Las placas de materiales debido a la falta de materia prima disponible son realizadas en un molde de madera cuyas dimensiones son 12.6 cm de ancho, 12.6 cm de largo y 1.6 cm de espesor para lograr un ahorro de los materiales de desecho disponible al realizar las pruebas.

A continuación, se detalla el procedimiento de fabricación de los moldes de prueba (figura 1). El primer material utilizado fue el aserrín, un material de desecho de las labores de corte de madera que se produce en grandes cantidades debido a los numerosos talleres de ebanistería que se pueden observar en provincias centrales de Panamá, principalmente en la provincia de Los Santos [6]. La obtención de este material fue a partir de los desechos de trabajos de un taller de ebanistería en la ciudad de Las Tablas.



Figura 1. Preparación de la mezcla de mortero en los moldes de madera,

Se combinaron diferentes cantidades de aserrín para una misma cantidad de mortero. Se construyeron tres moldes, de 50 cc, 100 cc y 150 cc de aserrín, para un volumen de 250 cc de mortero. La cantidad del agua variaba con respecto a la consistencia de la mezcla.

El segundo material utilizado fue el residuo doméstico, conocido como toma (poliestireno expandido) con el que se fabrican los envases de comida desechables. El material recolectado se trituró y limpió para posteriormente mezclarse con el mortero para repellos en las mismas proporciones que se utilizó para el aserrín.

3. Medición de conductividad térmica

Para la determinación de los datos se decidió utilizar un método que permitió determinar la diferencia porcentual que existía entre los moldes (figura 2) con diferentes aditivos, esto debido a las limitaciones prácticas al momento de realizar las pruebas y conseguir los datos experimentales. En este caso se aplicó calor a la cara A y a la cara B de los moldes utilizando una secadora Black & Decker Studio de 1400 W durante intervalos distintos de tiempo y se tomaron imágenes térmicas de las caras A y B para determinar sus respectivas temperaturas.

El intervalo de tiempo considerado para tomar las temperaturas tiene como fin de alcanzar el estado estacionario. Se aplicó el calor de manera constante durante aproximadamente 40 minutos hasta que el gradiente de temperatura mostrara un comportamiento lineal y se pudiera considerar un comportamiento estacionario.



Figura 2. Moldes de aserrín y poliestireno expandido.

En lo que se refiere al calor aplicado, se debe tener en cuenta que la transferencia de calor en este punto se da debido a la convección y que realmente solo una fracción del calor es transferido al material. Sin embargo, debido a las limitaciones del método que se utilizó se idealiza que gran parte del calor se transfiere a los moldes. Este error es permisible, ya que el objetivo fue determinar si existe una

mejora en la capacidad aislante, a partir de la mejora relativa y porcentual de la conductividad.

Se utilizó una cámara de imagen térmica marca Fluke Ti110, la cual posee un sistema de enfoque exclusivo *IR-OptiFlex™* que garantiza un enfoque correcto de las imágenes a partir de una distancia de 1.2 metros (4 pies) para obtener una claridad de la imagen óptima y comodidad en la exploración (figura 3). Además, utiliza IR Fusion, en donde una ventana de imagen IR aparece rodeada por un marco fino y visible, el cual sirve como referencia con el entorno. Esta cámara también posee otras funciones como el *SmartView* el cual permite ver imágenes en forma de retrato, *AutoBlend*, que combina imágenes visuales e infrarrojas para generar una sola imagen para localizar los puntos de alta temperatura [5].

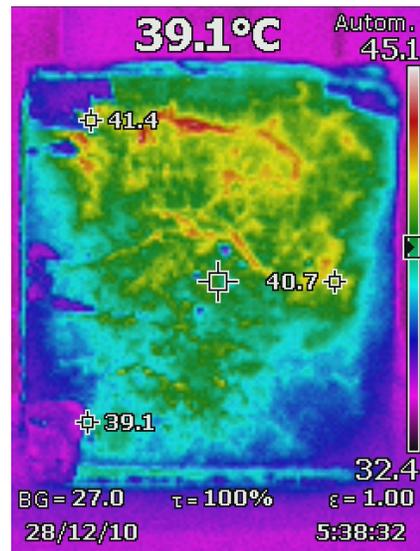


Figura 3. Fotografía térmica de la superficie exterior de un molde utilizado durante el ensayo.

4. Resultados

La conducción es la transferencia de calor de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las menos energéticas adyacentes, como resultado de la interacción entre ellas, y es expresada por la ley de Fourier de la conducción del calor. Para determinar la conductividad de cada molde, se utilizó la ecuación 1 de conducción de Fourier [7].

$$\dot{Q} = -KA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Donde k es la conductividad térmica del material, expresada en $W/m^2 \cdot K$, A es el área perpendicular a la dirección de la transferencia de calor en mm^2 y dT/dx es el gradiente de temperatura.

En las tablas 1, 2 y 3 se muestran los valores de conductividades calculados para cada uno de los moldes. La tabla 4 muestra la mejora porcentual del aislamiento para cada material.

En las tablas 1, 2 y 3 se presentaron los datos de las temperaturas de cada una de las caras de los moldes cuando los gradientes eran estables. Estas temperaturas se utilizaron para determinar un coeficiente de conductividad térmica para cada material. Para la tabla 1, el material analizado fue el mortero sin ningún aditivo y la conductividad térmica promedio resultante es $91.56 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabla 1. Conductividades térmicas obtenidas a partir del medidor de conductividad térmica para la mezcla de mortero y agua

T. Cara A(°C)	T. Cara B(°C)	dT/dx	Potencia (W)	K (W/m ² ·K)
50.8	39	-755.2	1400	118.640
62	43	-1216.0	1400	73.684
65	48	-1088.0	1400	82.353
Promedio				91.560

En la tabla 2, se presentan las conductividades térmicas obtenidas para la mezcla de mortero, agua y aserrín teniendo como promedio $83.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabla 2. Conductividades térmicas obtenidas a partir del medidor de conductividad térmica para la mezcla de mortero, agua y aserrín

T. Cara A(°C)	T. Cara B(°C)	dT/dx	Potencia (W)	K (W/m ² ·K)
46.9	31.5	-985.6	1400	90.909
52.2	34.5	-1132.8	1400	79.096
57.8	40.6	-1100.8	1400	81.395
Promedio				83.800

En la tabla 3, se muestran las conductividades térmicas obtenidas para la mezcla de mortero, agua y poliestireno expandido, teniendo como conductividad térmica promedio resultante es $80.554 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Tabla 3. Conductividades térmicas obtenidas a partir del medidor de conductividad térmica para la mezcla de mortero, agua y poliestireno expandido

T. Cara A(°C)	T. Cara B(°C)	dT/dx	Potencia (W)	K (W/m ² ·K)
43.7	33.8	-633.6	1400	141.41
62	38.3	-1516.8	1400	59.072
70.8	36.8	-2176.0	1400	41.176
Promedio				80.554

Los resultados de la tabla 4 demuestran una mejora porcentual de las capacidades de aislante, en el caso del aserrín 8.48 % y el poliestireno expandido, 12.02 %.

Tabla 4. Mejora porcentual del aislamiento para cada material

Material	Mejora porcentual
Aserrín	8.48
Poliestireno expandido	12.02

La figura 4 muestra la gráfica de los gradientes de temperatura de cada material ensayado; y demuestra que la capacidad para aislar el calor es mayor para los materiales con aditivos de desecho, en particular el poliestireno presenta un mayor gradiente de temperatura que coincide con el resultado obtenido de manera teórica, en donde este material presenta mayor resistencia térmica.

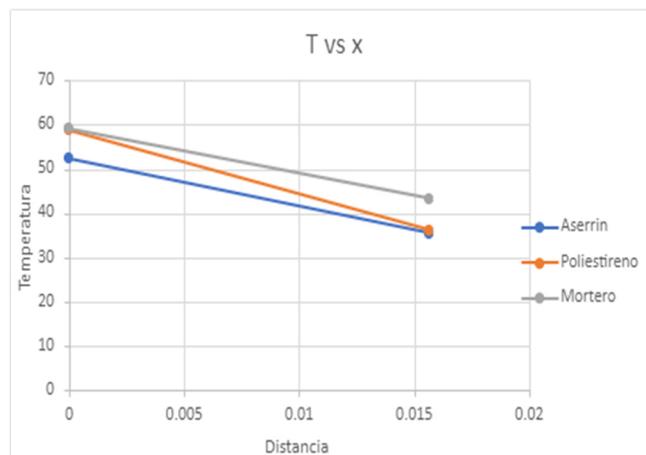


Figura 4. Gráfica de gradiente de temperatura de cada uno de los materiales.

5. Discusión de resultados

Para la fabricación de las placas de aserrín mezclado con el mortero y el poliestireno expandido mezclado con el mortero, se tuvo el inconveniente de desconocer el volumen de agua necesario para obtener una consistencia adecuada. Luego de realizar pruebas, se logró obtener las proporciones apropiadas.

Se puede mencionar que, en la fabricación de los moldes para la fabricación de las placas, no se tuvo complicaciones, solo es importante mantenerlos planos y cuadrados a fin de conseguir una geometría uniforme que permite aumentar la precisión en los resultados.

En base a los datos de la cámara termográfica se determinaron los gradientes de temperatura promedio para cada material y se calcularon las conductividades térmicas relativas. Los moldes en los cuales se agregaron aditivos

(poliestireno expandido y aserrín), en comparación con los que no poseían aditivos, mostraron una disminución en sus conductividades, teniendo el poliestireno expandido un 4 % más de mejora porcentual que el aserrín.

Las muestras con aditivos presentan mejoras porcentuales en sus capacidades aislantes de aproximadamente un 10% en promedio con respecto a la muestra sin aditivos, y esto de acuerdo a las referencias [5], [7] puede deberse a que la adición de materiales con bajas conductividades térmicas (poliestireno expandido y aserrín) es capaz de cambiar las propiedades generales de la mezcla y aumentar la resistencia térmica al paso de calor a través del molde.

6. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos se puede concluir que en términos relativos la adición de desechos reciclables a la mezcla de agua-mortero mejoran sus capacidades aislantes en aproximadamente un 10.00%, en el caso del aserrín 8.48 % y el poliestireno expandido, 12.02%. También se debe tomar en cuenta que los valores calculados contienen errores intrínsecos debido a las idealizaciones que se tomaron al modelar el experimento.

La utilización de estos materiales contribuye con el medio ambiente, dando cabida al reciclaje, así como el aprovechamiento de residuos generados en pequeñas y medianas empresas, reutilizando residuos que son considerados como desecho.

Si bien es cierto que la metodología utilizada permitió obtener resultados que brindaron información valiosa sobre la mejora del potencial térmico, esta debe ser mejorada para la obtención de datos más concluyentes.

TRABAJO A FUTURO

Como trabajo futuro se propone mejorar la metodología utilizada para la medida de las temperaturas de las caras de los moldes, estandarizando estas pruebas en base a la norma ASTM 177 [8].

También se propone realizar un estudio del impacto económico y social de esta propuesta, orientado a las pequeñas y medianas empresas, así como a los pequeños productores cuyos desechos pueden ser utilizados como modelo de negocio sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ingeniero Roberto Cigarruista por el apoyo brindado durante la realización de este proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

REFERENCIAS

- [1] D. Quiroga Arcila y J. Vargas Encinales. “Evaluación de un sistema de medición de conductividad en aislantes”. [Online]. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6972/1/6121872-2018-2-IQ.pdf>
- [2] G. Huelsz, G. Barrios, R. Rechtman y J. Rojas. “Importancia del análisis de transferencia de calor dependiente del tiempo en la evaluación de una edificación”. [Online]. Available: http://www.enerhabitat.unam.mx/Cie/pdfs/Huelsz_Anuario_UA_M.pdf
- [3] Naturgy. “Pliego tarifario Edemet Enero – Junio 2021” [Online]. Available: [https://www.naturgy.com.pa/filesPanama/Ene-Jun21Pliego_EDECHI_00113dic20\(002\).pdf](https://www.naturgy.com.pa/filesPanama/Ene-Jun21Pliego_EDECHI_00113dic20(002).pdf)
- [4] L. X. Vargas Gordillo. “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del mortero tradicional y el mortero no convencional en muretes de albañilería”. [Online]. Available: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_245e30d0a7df05bd3cff671a8d957499
- [5] R. Carvajal, J. Robles, J. Solís, J. Vargas, y N. Marín, Sistema de análisis energético y de temperatura de las ventanas de un aula de clase con y sin aislamiento térmico, *Rev-RIC*, vol. 4, n.º 2, pp. 26-30, abr. 2019.
- [6] A. Arenas, Y. Cárdenas, E. Quintero, O. Villarreal, y M. Cedeño, Evaluación de la productividad y el uso del residuo de la madera en talleres de ebanisterías en la región de Azuero, *Rev-RIC*, vol. 4, pp. 23-27, jun. 2018.
- [7] Y. A. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, Cuarta ed., Mc Graw Hill.
- [8] American Society for Testing and Materials. “ASTM C177: Método de prueba estándar para mediciones de flujo de calor en estado estacionario y propiedades de transmisión térmica por medio del aparato de placa caliente protegida”. [Online]. Available: <https://civilnode.com/download-standard/10683818551575/astm-c177-standard-test-method-for-steady-state-heat-flux-measurements-and-thermal-transmission-properties-by>