

Estudio calorimétrico con el uso de termopares en aislante hecho de mezclilla de desecho para viviendas en Saltillo, Coahuila

Calorimetric study with the use of thermocouples on insulation made of denim waste for dwellings in Saltillo, Coahuila

Luis Fernando Sánchez Terán¹, Rubén Salvador Roux Gutiérrez¹ y José Adán Espuna Mujica²

Palabras clave: aislante térmico; confort; ahorro energético; retardo térmico

Keywords: thermal insulator; comfort; energy saving; thermal delay

Recepción: 03-01-2018 / Aceptación 21-04-2018

Resumen

Introducción: En este artículo se presenta el desarrollo de un aislante térmico para edificios de uso habitacional hecho con material de desperdicio de las empresas maquiladoras de mezclilla asentadas en el municipio de Saltillo, en el estado de Coahuila, México. Se fabricó en forma de panel, procurando su funcionalidad, para que los habitantes de las viviendas puedan reducir el consumo de energía eléctrica mediante el uso de un sistema aislante que permita soportar los estragos del clima y genere mayor confort para el usuario.

Método: Cada uno de los prototipos desarrollados fue expuesto al calor producido por una serie de luminarias incandescentes, y a lo largo de 22 horas se estuvo monitoreando el desempeño de cada muestra. Con la ayuda de termopares se obtuvieron las ganancias de calor sobre las caras exteriores (o expuestas a la fuente calórica) y las caras interiores, donde se registraron las temperaturas en las superficies de las mismas mediante el uso de una cámara termográfica.

Resultados: Se observó que los diferentes tipos de paneles presentaron una variación en su eficiencia térmica de hasta un 66 %, en comparación con materiales como el BTC (Bloque de Tierra Comprimida) y un 75 %, cotejados contra el block de concreto. Se escogió el panel de mejor desempeño, dependiendo de factores como el espesor de las muestras, la cantidad de materia prima que se utilizó y el tiempo de retardo térmico, que en el panel seleccionado fue 20 % más eficiente que en los prototipos restantes.

Conclusión: El aislante desarrollado con mezclilla de desecho es capaz de mejorar las condiciones interiores de temperatura en una vivienda en Saltillo, ayudándola a ser más fresca en verano y cálida durante el invierno, además de consumir menos recursos energéticos debido a que es un material producido de desechos que no se aprovechan en ninguna otra área en la actualidad, hecho que contribuye a reducir la contaminación por el exceso de residuos sólidos industriales.

¹Universidad Autónoma de Coahuila. E-mail: rroux33@hotmail.com

²Universidad Autónoma de Tamaulipas

Abstract

Introduction: This article introduces the utilization of denim waste, obtained from local denim companies located in the city of Saltillo, state of Coahuila, Mexico, as a material for thermal insulation for dwellings. The material was shaped into panels, ensuring their functionality in such a way that dwelling residents may experience a reduction in their use of electricity by means of an insulating system that can withstand extreme outdoor temperatures, therefore, generating greater physical comfort for the dweller.

Method: Each prototype was exposed to the heat produced by a set of incandescent light bulbs placed directly over the external surfaces. They were monitored for 22 hours and the heat absorption, both in their outer and inner surface, was carefully recorded with the use of thermocouples. The final temperature results were registered by using a thermographic camera.

Results: The panels presented a variation of thermal efficiency of up to 66 %, compared to materials such as the CEB (Compressed Earth Block) and up to 75 % compared with the concrete block, the difference in temperature results between the panels was affected by factors like the thickness and quantity of the used material. These values allowed the selection of the most suitable panel considering that the thermal delay time was up to 20 % more efficiently, allowing to choose the panel that was displayed to have better performance.

Conclusion: The insulation developed with denim waste proved capable of withstanding extreme temperature conditions. Such findings may translate into improved living conditions, for the residents of Saltillo, with the promise of better indoor temperatures. The resulting material can help maintain cooler indoor temperatures in the summer, and warmer during the winter. Also, the prototypes consume less energy resources because they're produced from waste that is not used in any other area today and reduce pollution by the excessive industrial scrap.

Introducción

La trascendencia de la vivienda en la vida del hombre es para satisfacer una necesidad inherente a él, cual es la de protegerse, resguardarse o cobijarse de toda situación de peligro, ya que el hecho de carecer de una vivienda adecuada atenta contra la salud física y mental, lo cual repercute directamente en la calidad de vida, que es considerada como una meta para las sociedades avanzadas y cuya percepción puede verse mermada considerablemente cuando la persona no se encuentra “a gusto” o cómoda con el ambiente físico que le rodea. Es decir, cuando no existe

satisfacción residencial entendida como “la actitud o el afecto que produce el hecho de vivir en un determinado contexto “. Así mismo la vivienda, comprendida de manera más amplia, abarca el hábitat y el derecho a la ciudad que a su vez están conectados con el urbanismo y el desarrollo sostenible (Espínola, 2010).

Sin embargo, la incomodidad térmica que sufren los usuarios que habitan viviendas de tipología común, en México, se contrapone con este punto de vista porque las edificaciones presentan el problema de ser poco adecuadas para las condiciones climáticas externas, debido a la alta conductividad térmica de los componentes con que son construidas, como lo es el concreto armado en fase final y otros materiales industrializados y semi-industrializados en combinaciones híbridas de mediana y baja intensidad tecnológica (Mercado, 2010), donde los techos (fabricados con concreto armado), por su posicionamiento horizontal, son los que reciben toda la radiación solar disponible durante el día, a diferencia de las paredes, que por su inclinación (90 grados) con respecto al eje, no reciben la incidencia solar con la misma intensidad que las losas (Gómez, 2003), haciéndolas el punto débil a tratar, si se quiere impactar en la calidad de vida de los usuarios de las viviendas.

Es la búsqueda de esta calidad de vida y carencia de una solución eficiente las que obligan al usuario a recurrir al uso de sistemas de climatización artificial como son el aire acondicionado durante el verano o los calentadores de aire durante el invierno, considerados aparatos de alto consumo energético, exigiendo entre 180 y 547 kilowatts-hora; consumiendo más del 96 % que otros electrodomésticos, como por ejemplo: una televisión de tamaño de entre 19 y 21 pulgadas, que gasta 13 kilowatts-hora mensuales o un ventilador de pedestal, exigiendo 17 kilowatts-hora por mes para su funcionamiento (estos aparatos se consideran de bajo consumo energético), mientras que si se compara con el consumo de una computadora, que es de 36 kilowatts-hora durante un mes o una secadora de ropa, gastando al mes 90 kilowatts-hora (estos son aparatos que se consideran de consumo energético medio), los sistemas de climatización artificial llegan a consumir más del 83 % de energía eléctrica (Soluciones Integrales para el Ahorro de Energía, 2011), por lo que pueden considerarse poco eficientes, debido a que las mejoras de eficiencia energética se refieren a las reducciones en la cantidad de energía usada en un país, un sector o un uso nacional concreto, para un mismo nivel de actividad (Guerra, 2015), además de que si el habitador no puede costear el consumo de estos sistemas, tiene que adaptarse, soportar los estragos del clima y vivir constantemente en esta situación de incomodidad.

Confort térmico

En el confort térmico intervienen los fenómenos energéticos de intercambio de energía entre el cuerpo y el ambiente. El ser humano es un animal de sangre caliente que mantiene una temperatura interior constante ante las variaciones exteriores mediante mecanismos de regulación, como la "homeóstasis", que permite que el cuerpo regule la producción y pérdida de calor para de esta forma mantener el equilibrio. Esta propiedad modifica el flujo sanguíneo, el metabolismo, la transpiración y el ritmo respiratorio. Los factores externos que afectan al cuerpo humano para lograr la eliminación de energía son: la temperatura del aire que envuelve al cuerpo, que regula la cesión de calor por conducción y por respiración, la temperatura de radiación, el promedio de las superficies que envuelven el cuerpo, que afecta los intercambios por radiación, la humedad relativa del aire, que modifica las pérdidas por evaporación de transpiración y la humedad que es cedida con la respiración y la velocidad del aire con respecto al cuerpo, que influye en la disipación por convección y en la velocidad de evaporación de la transpiración (Velázquez, 2015).

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la medida otorgada por el coeficiente de conductividad térmica (λ), que acorde lo expresado en la NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones. - Envoltente de edificios para uso habitacional, equivale a la cantidad de calor que permite transmitir el material por metro lineal ($W/m \cdot K$). Esta propiedad física mide la capacidad aislante de un material, y mientras más bajo sea su valor más capacidad de aislamiento térmico tiene el mismo, por lo tanto, es una característica intrínseca de cada material, dependiendo de varios factores como la temperatura, la densidad, la humedad y el deterioro o envejecimiento (Velázquez, 2015). Dentro de esta norma se especifican las propiedades que deben cuantificarse mediante métodos de prueba, las cuales son: la misma conductividad térmica, la densidad aparente, la permeabilidad al vapor de agua y absorción de humedad y absorción de agua, siempre a una temperatura media de 297 K (24 °C), especificando que para materiales con espesores físicos determinados debe indicarse el valor de la resistencia térmica, que es también una característica independiente de cada producto, que cuanto mayor sea su valor, mayor será la capacidad aislante del material (Velázquez, 2015).

Aislamiento térmico

Un aislamiento térmico se entiende como todo sistema que tiene como función principal el reducir el flujo térmico intercambiado entre dos entornos a temperaturas diferentes, ya sea interior-interior o exterior-exterior (Velázquez, 2015).

En su función práctica, la eficiencia del aislamiento es de suma importancia debido a que acorde al estudio realizado en Chile por la consultora Collect GFK, llamado "Radiografía del consumidor de energía chileno", los hogares del país incrementan su gasto en energía durante los meses de invierno en un 55 %, con respecto a los otros meses del año, debido a las bajas temperaturas (Citado en Villalobos, 2014), por lo que es importante la utilización de un aislante eficiente, y así pueda usarse la menor cantidad de recursos para sostener un ambiente confortable en el interior. En el Sistema Internacional de Unidades (SI) la unidad de resistencia térmica se mide en $W/m^2 \cdot K$, y se considera que un material es aislante térmico cuando su coeficiente de conductividad térmica (λ) es inferior a $0.10 W/m \cdot K$, medido a $23 \text{ }^\circ C$ (Citado en Villalobos, 2014).

Aislantes Térmicos Ecológicos

El aislante ecológico es aquel producto que además de ofrecer buenos resultados acústica y térmicamente, sean sanos, naturales, 100% reciclables y donde todo su ciclo de vida sea respetuoso con el medio ambiente (Velázquez, 2015). Existen diferentes estudios realizados por investigadores de Colombia, Cuba y México (Colima, Guadalajara, Tampico, Michoacán, Yucatán) sobre el uso de nuevos compuestos de fibras naturales, particularmente enfocados en la experimentación con fibra de coco, con el fin de elevar el aprovechamiento de la energía en forma de aislamientos térmicos. Allí concluyeron que el uso de materiales reciclables es más barato que los producidos industrialmente de forma tradicional (Molinar, Jordán y Munive, 2010). Por lo que en la actualidad hay un número cada vez más grande de aislantes térmicos con base en materiales reciclados, entre los cuales podemos encontrar: El aislante de celulosa, el cual se compone de papel para el aislamiento de muros, el aislante de corcho, que puede generarse a partir de residuos triturados, el de fibras de paja, el cual es un aislante derivado de las cosechas agrícolas, donde después de extraer las semillas, la paja se transforma en un producto útil para la construcción, y el aislante de madera, el cual está hecho de residuos y fibras no utilizadas de los troncos de árboles. En resumen, los puntos fuertes de este tipo de materiales son: el hecho de contribuir a reducir la demanda de energía residencial y que su fabricación requiere de menor energía (Citado en Villalobos, 2014).

Estos aislantes son ahora una alternativa sustentable (González y Ovando, 2011) porque materiales como la celulosa, compuesta principalmente de periódicos reciclados y triturados, es probablemente el aislamiento natural más utilizado en la actualidad, fabricado bajo la forma de aislamiento soplado o colchoneta semirrígida.

Un aislamiento derivado de la celulosa es el fabricado a partir de *mezclilla* (Mercier et al, 2011), pero es mucho menos conocido y disponible, en este regularmente se usan los residuos de mezclilla procedentes de los productores de ropas y durante este proceso son transformados y compactados en forma de colchonetas, como un aislamiento tradicional. Este tipo de aislamiento térmico (el fabricado de mezclilla) es el que abre una ventana de oportunidades para este proyecto debido a que en México se produjeron 99, 698 toneladas de mezclilla durante el año 2016 (INEGI, 2017), con un valor total de 7 billones de pesos, que equivale al 20.3 % del valor total de la fabricación de telas (aproximadamente 35.5 billones de pesos) del país durante el mismo año, sin embargo, a pesar de que estas cifras, que colocan a México como el séptimo exportador de mezclilla del mundo, porque se exportan 180 millones de metros cuadrados por año (Najar, 2017), la industria textil ha pasado por algunos inconvenientes a lo largo de su historia, como problemas para crecer y mantener sus niveles de empleo, debido a la fuerte competencia de China, el contrabando y la pérdida de competitividad en el sector productivo mexicano (Sosa y Rangel, 2007), por lo que es oportuno el proponer soluciones integrales para evitar el perecimiento de la industria textil, como la flexibilidad productiva, que consiste en diversificar la producción que manufactura una empresa (Canto, 2011) para que así pueda plantearse el desarrollo alternativo de productos, mediante el uso de los desechos de esta industria, que en el año 2012 generó 14, 870 toneladas de residuos sólidos (SEMARNAT, 2017), así que existe la posibilidad de aprovechar este recurso en el área de la arquitectura mediante el desarrollo de un aislamiento térmico derivado de la mezclilla, por lo tanto el objetivo de este proyecto fue conocer la posibilidad de obtener suficiente desecho como materia prima, donde posteriormente se produjeron muestras del aislamiento y se estudiaron mediante un análisis de retardo térmico con el fin de desarrollar un producto completamente funcional.

Método

Este método investigativo está enfocado en estudiar la reacción de la relación de dos o más variables, que son la capacidad de resistencia térmica del aislante y las dos variables dependientes,

que son la conductividad térmica de los materiales constructivos y el confort térmico para el usuario.

Primero, basado en la metodología expuesta en una investigación previa (Villalobos, 2014), el proceso investigativo comenzó por una revisión bibliográfica acerca del tema. Posteriormente, se buscaron fábricas que trabajen en la confección de prendas de mezclilla, donde se seleccionó una planta en específico y se realizó una entrevista con el fin de conocer la cantidad de desecho que genera, para saber cuánta disponibilidad de materia prima existía. Después se establecieron las cualidades y dimensiones que debía tener el material, además de las mejores formas de aplicación del mismo para proceder a su fabricación y posteriormente se analizaron sus propiedades físicas, en las que se interpretaron las variaciones en los resultados mediante gráficas con el fin de validar esta propuesta.

Producción de mezclilla en la ciudad

Acorde a lo encontrado en la investigación, dentro de la periferia saltillense pudieron ubicarse por lo menos cuatro fabricas dedicas a la producción textil, que se tomaron en cuenta no solo por producir telas en general, sino porque también producen mezclilla. De estas fabricas, de la que se pudo obtener la información necesaria para conocer un índice de desperdicio, se encontró que como materia prima de tela de mezclilla, hecha de 100% algodón, se trabaja con aproximadamente 100 kilogramos por semana, de lo cuales se generan 200 piezas de producto terminado, que va desde camisas y pantalones de mezclilla de trabajo, de los cuales se genera la cantidad de 30 kilogramos de sobrante, cantidad equivalente al 30% de desperdicio total durante la misma semana, por lo tanto, puede afirmarse que para una planta que genera esta cantidad de desperdicios, en un lapso tan corto de tiempo, el recurso es vasto y fácil de obtener, debido a que va directo a ser desechado, por lo que puede aprovecharse la materia ya considerada basura y darle un uso secundario mediante un proceso sustentable.

Fabricación de las probetas

Antes que nada, es importante tener en cuenta que la forma en que se consigue el producto directamente de las fábricas es como retazos de tela, así que fue inherente al proceso el diseñar un método de transformación para la materia prima. Por lo tanto, el primer proceso por el que debió pasar la mezclilla fue el de ser convertida en fibra, proceso para el cual se puede utilizar una

trituradora de tela industrial, sin embargo, de acuerdo a información encontrada los precios de estas máquinas varían de entre los cinco mil y cincuenta mil pesos, así que para fabricar las muestras se implementó un proceso artesanal de fabricación, en el cual se trituraron los retazos de tela con una licuadora casera, cortando la tela en pequeñas partes para posteriormente molerla en cantidades de aproximadamente 30 gr por carga (exigiendo un consumo eléctrico de 0.45 kilowatts-hora).

Después de ello se le dio un baño de ácido bórico al material, el cual sirve como retardante a la llama, además de fungir como insecticida y anticorrosivo para la tela de mezclilla (Balarezo, 2012). Una vez agregado el ácido bórico se comenzó a adherir el material en capas dentro de un molde hecho a partir de una hoja de fibra de densidad media (MDF), añadiendo también una capa de acetato de polivinilo (pegamento blanco), que funge como aglomerante para la fibra, y se prosiguió agregando material hasta que los paneles de mezclilla alcanzaron el espesor deseado (Villalobos, 2014). Comprimiendo la mezcla con una cubierta, con las mismas dimensiones del área interna del molde, marcada dependiendo el grosor que se pretendió alcanzasen las muestras (figura 1).

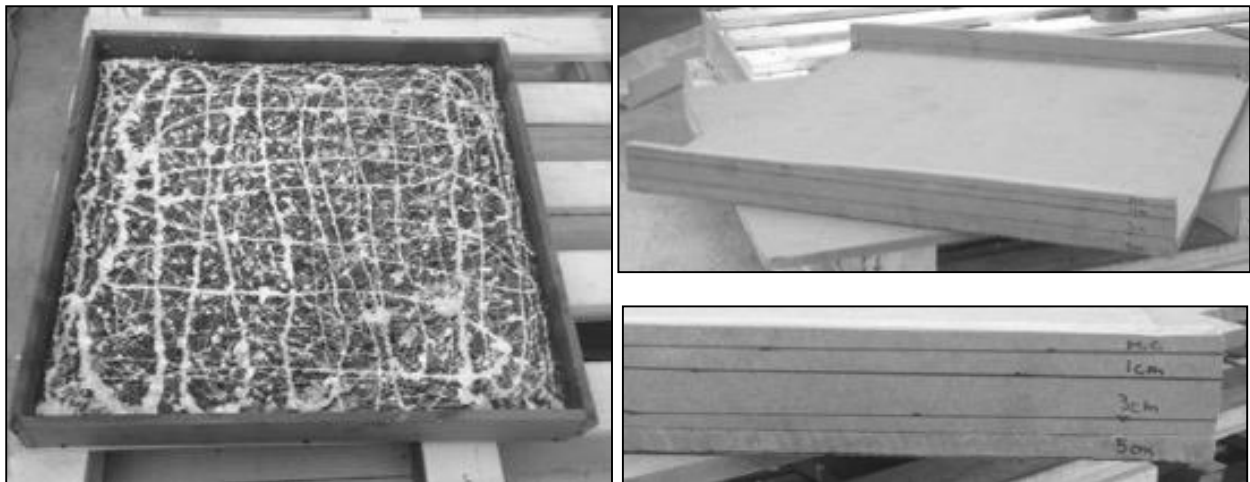


Figura 1. Molde y cubiertas para fabricación de los paneles.

Fuente: Elaboración propia.

El producto final fueron 3 probetas de 60 cm de largo por 60 cm de ancho, con espesores de 1 cm, 3 cm y 5 cm, con el fin de probar la eficiencia del producto con diferentes características (figura 2).

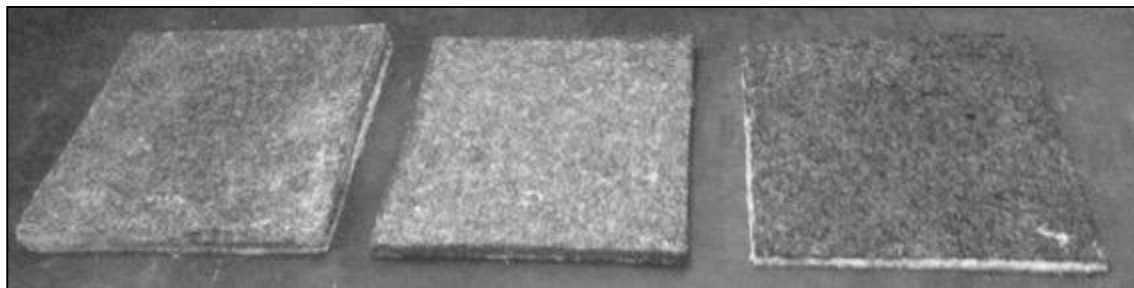


Figura 2. De izquierda a derecha: Panel de 5 cm, 3 cm y 1 cm, respectivamente.
Fuente: Elaboración propia.

Dosificaciones

Para calcular las dosificaciones primero se realizó una muestra con un retazo de tela de 10 por 10 cm, con un peso de 5 gr, que convertido en fibra alcanzó un volumen de 14.70 cm^3 , a la cual se le agregaron 5 ml de ácido bórico (con 0.5 gr, en forma de polvo, diluidos en 4.5 ml de agua) y por último se le adhirieron 2 gr de Acetato de polivinilo, dando como resultado un peso final de 7.54 gr.

Con el fin de facilitar la reproducción de muestras de diferentes dimensiones se aplicó la siguiente distribución porcentual: 66 % de fibra de tela de mezclilla, 27 % de acetato de polivinilo y 7 % de ácido bórico, que está formado por 90% agua y 10 % del compuesto en forma de polvo, por lo tanto, al perder la humedad solo queda la proporción correspondiente al compuesto, donde uno de los procedimientos más utilizados para aplicar el ácido bórico sobre un producto textil es por impregnación, que se refiere a la técnica de tratamiento para materiales absorbentes. En este método el químico es disuelto en agua y el material es sumergido en la solución (González, 2009), por lo que se debió conocer el peso de la muestra seca sin aun agregar el químico y posteriormente conocer el peso del producto seco con el químico agregado para así calcular la diferencia de pesos y saber la cantidad de compuesto que absorbió el material.

Para agregar el acetato de polivinilo se impregnaron los paneles con la cantidad necesaria para que la probeta lograra estabilizarse, estando completamente adherida entre si, y se procedió a calcular la diferencia de pesos de la probeta antes y después de agregar el compuesto.

Por lo tanto, al aplicar la misma distribución porcentual en la fabricación de las probetas, el resultado fue el expresado en la Tabla 1.

Tabla 1. Dosificaciones en las muestras.

Tipo de muestra por espesor (cm)	Componente (Kg)			Peso Final (Kg)
	Mezclilla	Acido Bórico	Resistol	
1	1.224	0.122	0.5	1.846
3	3.673	0.367	1.5	5.540
5	6.122	0.612	2.5	9.234

El proceso de producción se replicó de la manera más fiel al de la muestra de prueba, variando según las dimensiones de la probeta que se pretendía fabricar.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de retardo térmico

El tiempo de retardo térmico se considera como la cantidad de tiempo que tarda en transferirse la energía de la superficie de determinado material, expuesta a una fuente de calor, a la superficie opuesta del mismo. Para poder realizar esta prueba las probetas se adhirieron a uno de los lados de un panel de tabla cemento de la marca Durock con un grosor de 12.7 mm (1/2"), mediante el uso de un adhesivo base cemento (pasta tipo lechada), para poder medir el efecto que las muestras tendrían aplicadas sobre un material. La prueba de retardo térmico consistió en el análisis de las temperaturas registradas en ambas caras de las probetas, donde se colocaron termopares y se le aplicó una fuente de calor constante, solamente en las superficies donde las muestras no estaban recubiertas con el Durock, mediante una placa de madera instalada con 9 focos marca Osram de 150 W; las probetas fueron colocadas una por una a una distancia de 33 cm de la placa de focos y se registraron las temperaturas en ambas caras utilizando Dataloggers de la Marca Hobo U-12, conectándose termopares en cada cara de los paneles. Para la recolección de los resultados se utilizó el software HOBOWare, el cual fue programado para tomar la temperatura a cada intervalo de 5 minutos, en ambas superficies, después se graficaron los datos para poder apreciar el retardo térmico de los paneles. Se consideró que el retardo térmico era estable cuando se registraron tres medidas iguales, de forma consecutiva, en ambas caras de las probetas (Roux y Gallegos, 2015).

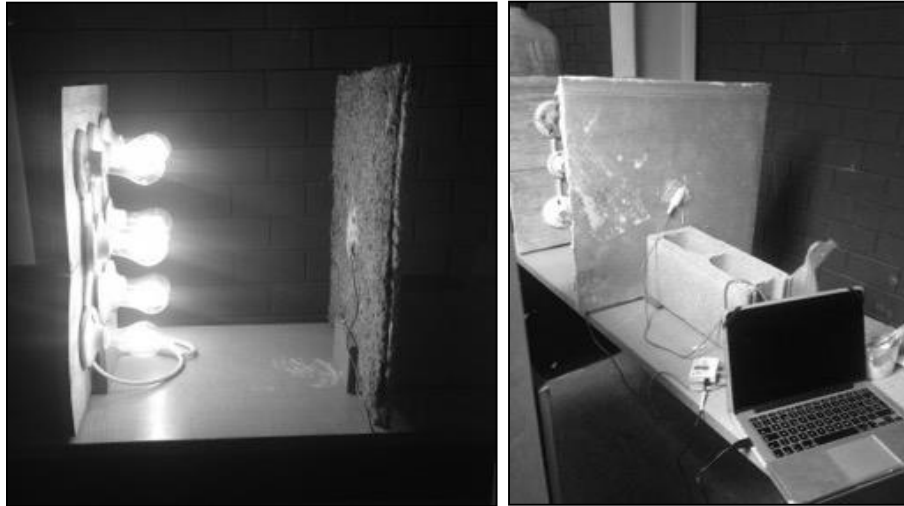


Figura 3. Aplicación de calor sobre el material y registro de los datos en computadora.
Fuente: Elaboración propia.

En figura 3, en la fotografía de la izquierda, se aprecia el proceso de aplicación de calor con las bombillas incandescentes y del lado derecho se muestra como el termopar se encuentra adherido con yeso a la superficie de la muestra y por medio del Datalogger se registran los resultados en la computadora.

Termografías

A continuación, se muestran las fotografías termográficas de los tres paneles probados: el de 1 cm de espesor (figura 4), el de 3 cm de espesor (figura 5) y el de 5 cm de espesor (figura 6), en los centros de ambas caras de las muestras sobre un área de 145 cm², donde se expone la diferencia de temperaturas entre superficies.

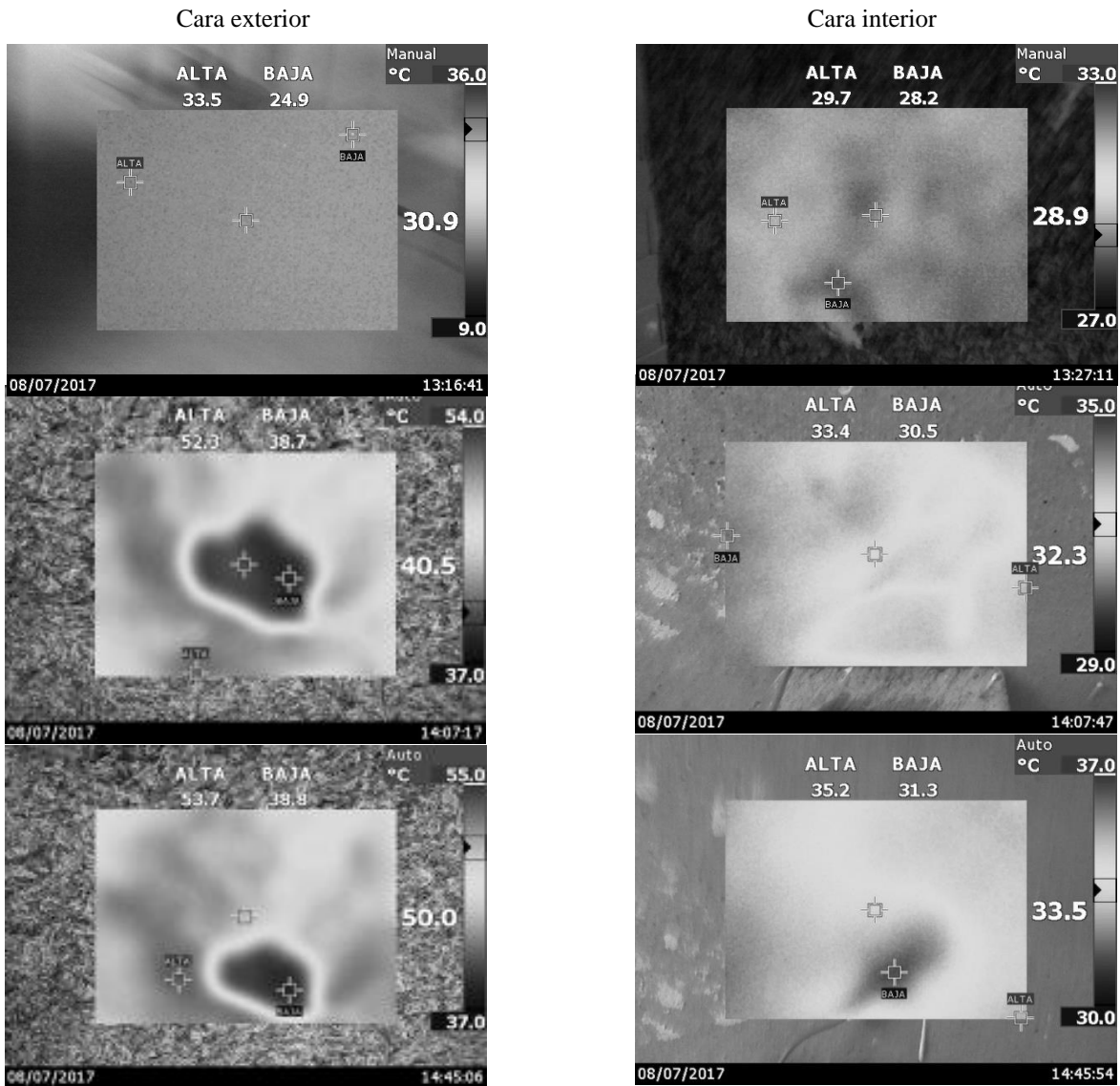


Figura 4. Fotografías termográficas panel de 1 cm de espesor
Fuente: Elaboración propia.

En un principio la cara exterior se encontraba a una temperatura estable de 30.9 °C, en su totalidad, mientras que la cara interior se encontraba a 28.9 °C; conforme avanzó el experimento, la cara exterior comenzó a aumentar su temperatura en sobre medida, alcanzando hasta los 40 °C, mientras tanto la cara interior solo llegó a 32.3 °C. Para el final de la prueba, la cara exterior se aumentó a los 50 °C, pero la cara interior se mantuvo en los 33.5 °C, mostrando que la temperatura difirió en 16.5 °C, disminuyendo así el paso del calor de forma no completamente integrada, que se puede observar en las variaciones en la escala de grises de las caras, presentando el gris en tono más oscuro como la temperatura más alta y el gris más claro como la temperatura más baja.

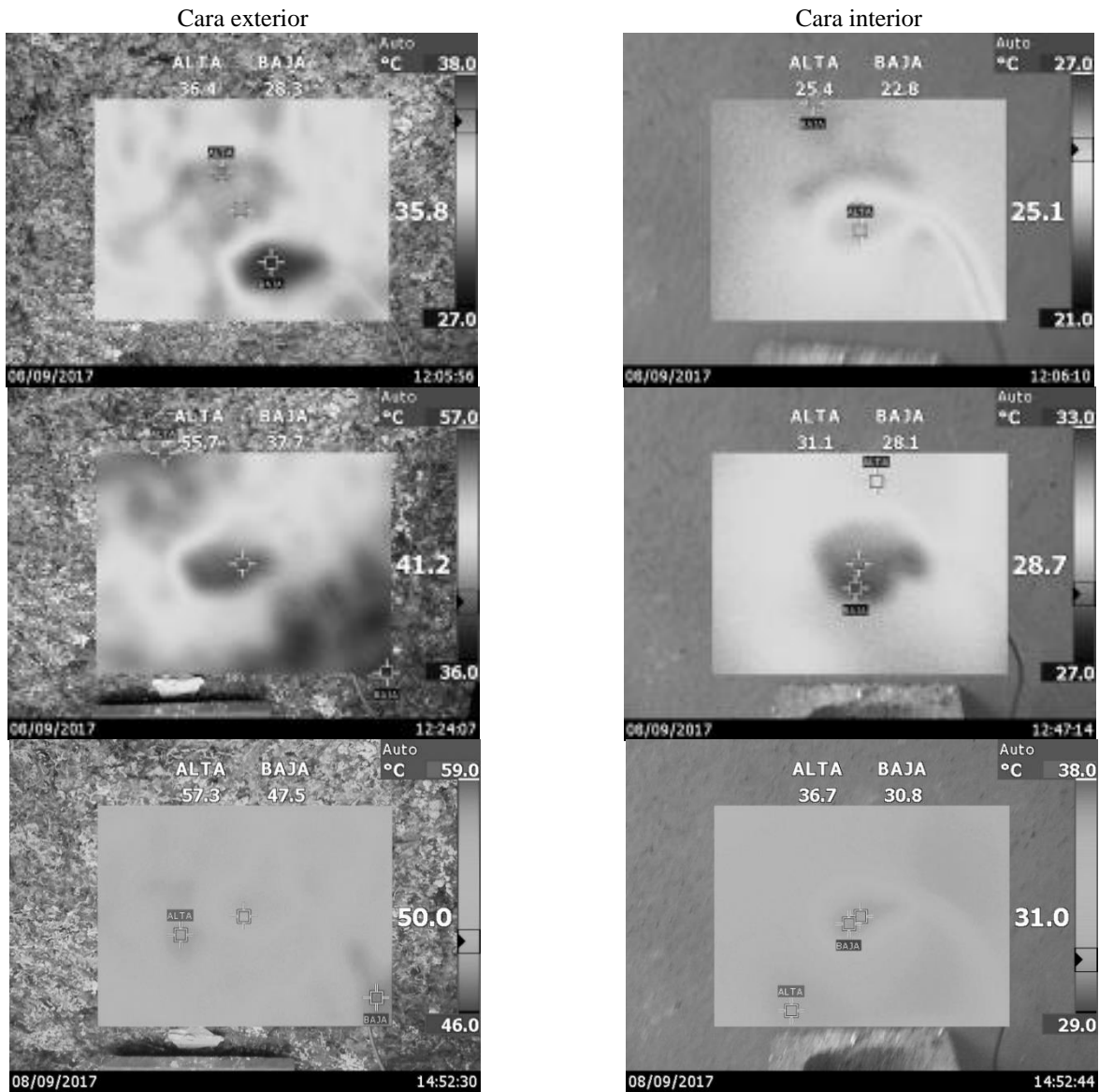


Figura 5. Fotografías termográficas panel de 3 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

Al comenzar el experimento, la cara exterior se encontraba a 35.8 °C, estando a más de diez grados centígrados con relación a la cara interior, que se encontraba a 25.1 °C, sin embargo durante el desarrollo de la prueba la cara exterior aumentó a los 41.2 °C, mientras que la interior sólo llegó hasta los 28.7 °C; para el final de la prueba la cara exterior alcanzó los 50 °C, pero la interior se mantuvo en los 31 °C, alcanzando una diferencia de 19 °C, en relación de una cara con la otra, exponiendo una superficie más integrada, sin las variaciones térmicas que presentó el material en las otras etapas del experimento, o incluso, en relación con el panel de 1 cm de grosor, puede

observarse que el uso de más material permitió el intercambio de calor de forma más uniforme a través de la muestra.

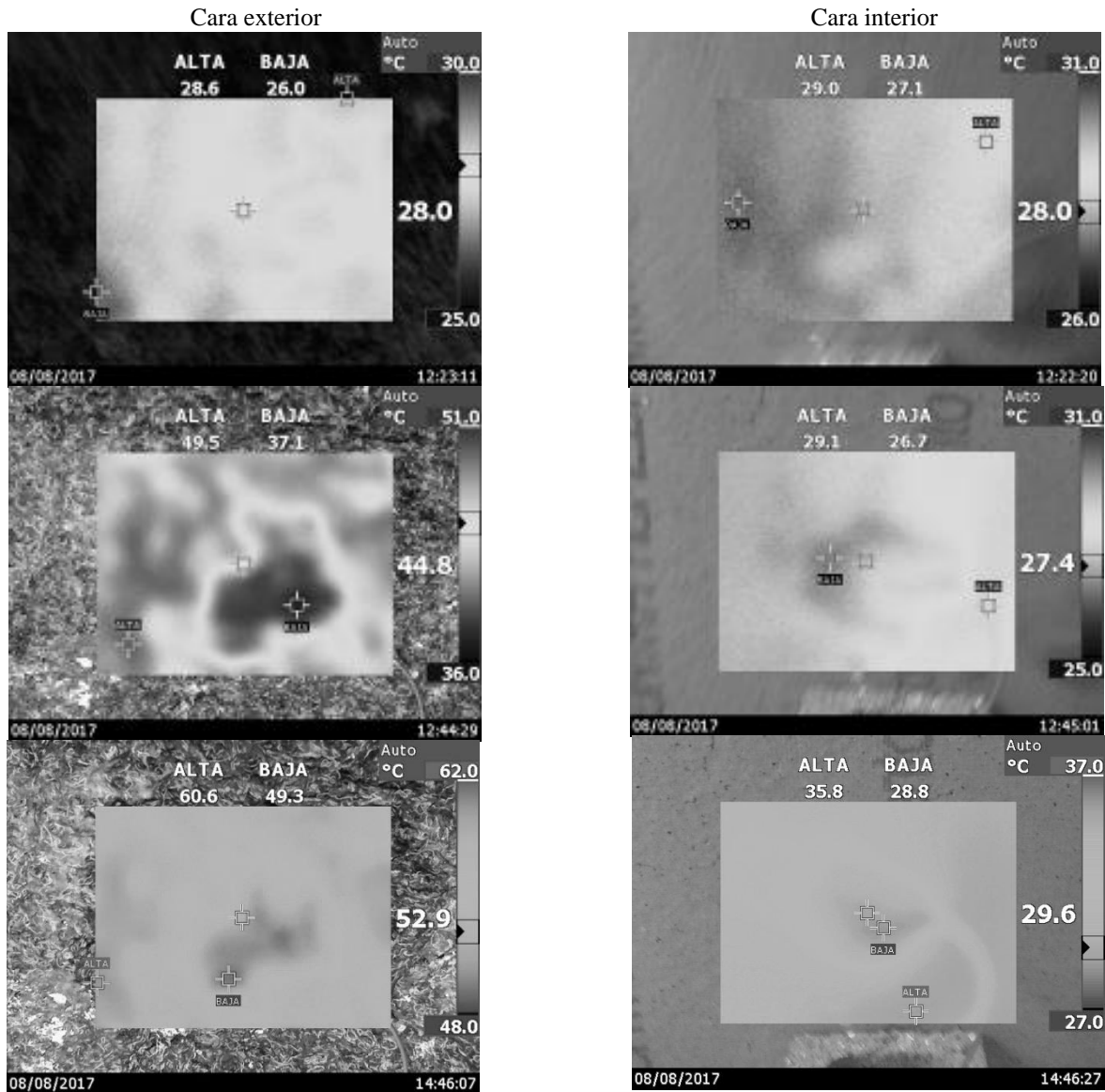


Figura 6. Fotografías termográficas panel de 5 cm de espesor.
Fuente: Elaboración propia.

Para este caso, al iniciar el experimento las dos caras se encontraban a 28 °C, pero durante el transcurso del mismo la temperatura de la cara exterior aumentó hasta los 44.8 °C, mientras que la temperatura de la cara interior solo aumentó a 27.4 °C, observándose que en la cara exterior el calor se absorbía de manera irregular, mostrándose gráficamente la diferencia en el calor captado por la cámara termográfica, mientras que en la cara interior la poca energía calorífica que logró pasar se

mantenía estable en la superficie. Para el final de la prueba la cara exterior aumentó su temperatura a 52.9 °C, mientras que la cara interior solamente aumentó a 29.6 °C, manteniendo una diferencia de 23.3 °C entre las caras, absorbiendo y radiando calor de manera estable.

Resultados

Pudo observarse que la muestra de mejor eficiencia es la de 5 cm de espesor, sin embargo, la diferencia de temperatura fue de 22.73 °C, con un retardo térmico de 2 h 55 min, mientras que la del panel de 3 cm de espesor es de 18.57 °C, con un retardo térmico de 3 h, contra 18.14 °C del panel de 1 cm, con un retardo térmico de 2 h 40 min, por lo tanto el panel de mejor funcionamiento fue el de 3 cm de espesor, debido a que el retardo térmico fue más largo que en cualquiera de los otros dos pánels y a pesar de que la variación de temperatura fue menor que en el panel de 5 cm de espesor, el de 3 cm utiliza menor cantidad de materia prima (tabla 2).

Tabla 2. Retardo térmico en las muestras de aislante térmico.

Tipo de muestra	Espesor de la muestra (cm)	Temperatura máxima		Tiempo de retardo térmico	Factor de reducción $\mu = \frac{T_i max}{T_o max}$
		Lado de la muestra			
		Expuesto °C	Posterior °C		
Aislante de mezclilla	1	50.96	32.82	2 h 40 min	1.553
Aislante de mezclilla	3	51.49	32.92	3 h	1.564
Aislante de mezclilla	5	53.00	30.27	2 h 55 min	1.751

Estas temperaturas son propias para cada probeta, así como el tiempo de retardo térmico que presentó variaciones en las tres pruebas.

Fuente: Elaboración propia.

Debido a que este experimento está basado en una investigación previa de Roux y Gallegos (2015), la misma sirvió como guía para el desarrollo del análisis de retardo térmico. En esa investigación se trabajó con diversos tipos de materiales de construcción, con los que se cotejaron las muestras de aislamiento térmico para comprobar su funcionalidad (tabla 3).

Tipo de muestra	Temperatura máxima		Tiempo de retardo térmico	Factor de reducción $\mu = \frac{T_i max}{T_o max}$
	Lado de la muestra			
	Expuesto °C	Posterior °C		
BTC sencillo sin revoque 1	57.786	33.183	1 h	1.741
BTC sencillo sin revoque 2	54.602	32.407	1 h	1.685

BTC revoque 1	55.832	30.343	1 h 15 min	1.84
BTC revoque 2	55.021	30.444	1 h 30 min	1.807
BTC doble con revoque	55.56	25.695	4 h 15 min	2.162
BTC doble sin revoque	60.918	26.671	4 h 15 min	2.28
Ladrillo de barro cocido.	58.776	37.645	30 min	1.561
Block	64.838	34.387	30 min	1.886

Tabla 3. Retardo térmico en otros materiales.

En la tabla se entiende por BTC como Bloque de Tierra Comprimida.

Fuente: Roux y Gallegos (2015).

En la tabla anterior se expresa una variable llamada "Factor de reducción", la cual se considera como la diferencia de energía que hay entre la cara expuesta de la muestra y la interior (Citado en Roux y Gallegos, 2015).

En conclusión, puede observarse que materiales como el block, o incluso el ladrillo de barro cocido presentan un muy bajo tiempo de retardo térmico y otros como el BTC (Bloque de Tierra Comprimida) presentaron un retardo térmico superior al de las muestras de aislante térmico que se fabricaron en esta investigación. Sin embargo, las muestras son un producto delgado y más ligero, lo que quiere decir que utiliza menos material, por lo tanto, puede deducirse que tiene un rendimiento eficiente, pero siempre debe tomarse en cuenta que el aislamiento térmico no es un producto estructural, sino que es un producto agregado, considerado como una tecnificación o innovación.

Gráficas

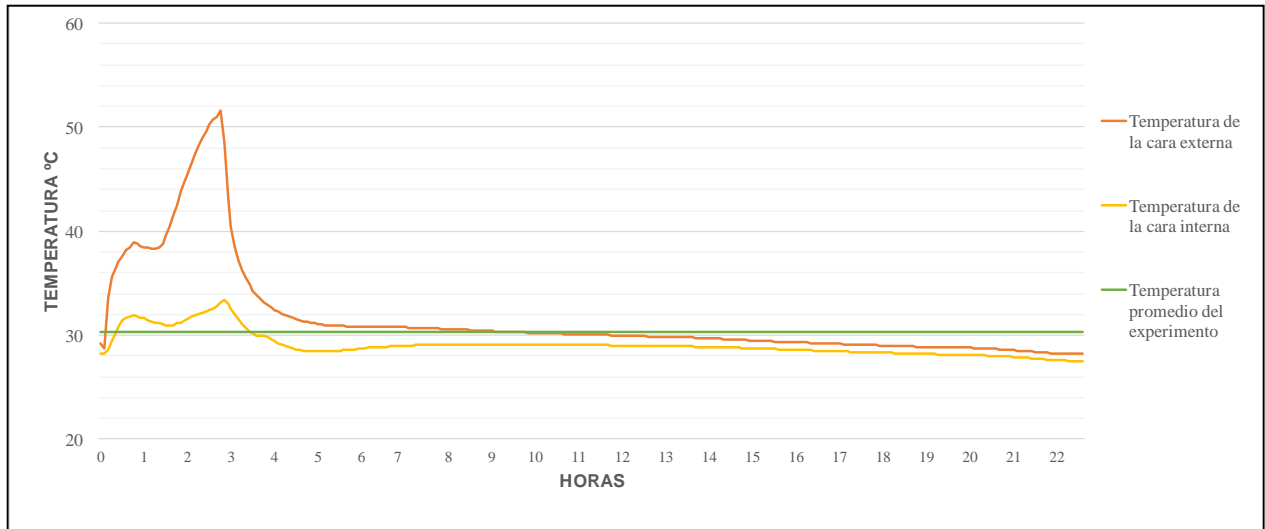


Figura 7. Diferencia de temperatura durante el análisis de retardo térmico en el panel de 1 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

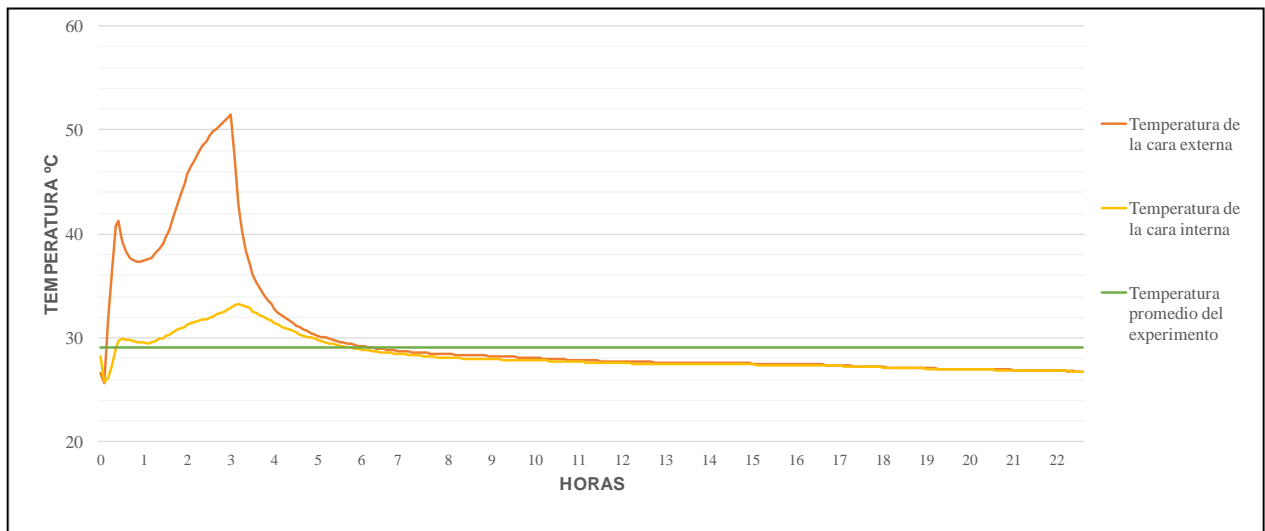


Figura 8. Diferencia de temperatura durante el análisis de retardo térmico en el panel de 3 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

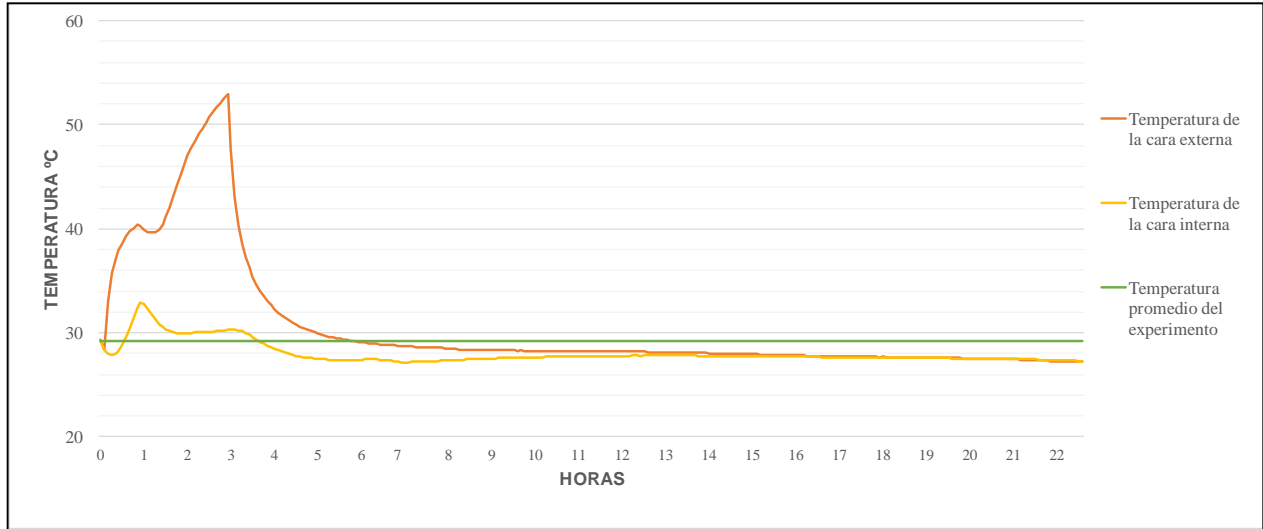


Figura 9. Diferencia de temperatura durante el análisis de retardo térmico en el panel de 5 cm de espesor.

Fuente: Elaboración propia.

Como reflejan las figuras 7, 8 y 9, correspondientes a los paneles de 1, 3 y 5 cm, la temperatura exterior aumentó alrededor de 20 °C, sin embargo en las caras interiores la temperatura aumentó 8.33 °C en promedio, manteniéndose prácticamente estable en correlación con las capas exteriores, además de que una vez alcanzado su pico, y al desactivar la fuente de calor, se observó una caída casi inmediata de la temperatura en los tres casos, demostrando que el material posee una buena inercia térmica. Con los resultados tabulados es posible cotejar en una gráfica comparativa (figura 10) con los datos arrojados de cada uno de los tres experimentos.

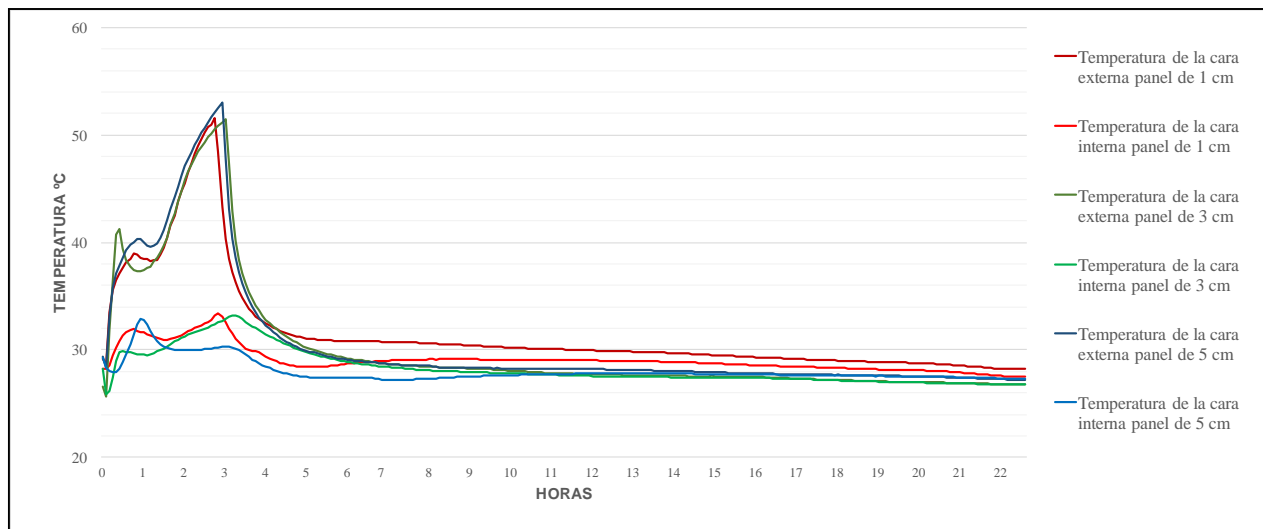


Figura 10. Comparativa de resultados de las pruebas realizadas a los tres paneles analizados.

Fuente: Elaboración propia.

En esta última gráfica es posible observar de manera más clara que el panel de 5 cm es el que más calor absorbió en la superficie externa, seguido por el panel de 1 cm, colocando al de 3 cm como el panel de menor captación térmica durante el experimento, sin embargo, el panel de 1 cm fue el que mayor energía calórica desprendió en la cara interna, sucedido por el de 3 cm, siendo el de 5 cm de espesor el panel que menor cantidad de calor permitió pasar por el material.

Conductividad térmica

Se calculó la conductividad térmica debido a que se precisó obtener un método de comparación con el panel de tabla cemento con que se contó, en la que se dice que mientras menor sea, mejor es la eficiencia del material, donde se utilizó el método planteado por Villalobos (2014), en el que se calcula el gradiente de temperatura, que es la diferencia de la temperatura de la cara externa menos la temperatura de la cara interna. Tomando un gradiente de temperatura de otro material, como por ejemplo el block, que la diferencia de sus temperaturas es de 30.451 °C (tabla 11), obtenida de los datos de la tabla 4, como ejemplifica la siguiente fórmula (1).

$$\Delta T = T.E. - T.I. \quad (1)$$

Dónde:

ΔT = Gradiente de temperatura.

T.E. = Temperatura de la cara externa.

T.I. = Temperatura de la cara interna.

Una vez obtenidos los gradientes de temperatura y la conductividad térmica del block, que es 1.11 W/m°C (Cortés, 2008), puede calcularse la conductividad térmica de las probetas mediante regla de tres simple, como se muestra en la fórmula (2) siguiente.

$$\Delta T \text{ Muestra} \left(\frac{\lambda \text{ Block}}{\Delta T \text{ Block}} \right) = \lambda \text{ Muestra} \quad (2)$$

Dónde:

ΔT Muestra = Cambio de temperatura de los paneles tipo.

λ Block = Conductividad térmica del block.

ΔT Block = Cambio de temperatura del block.

λ Muestra = Conductividad térmica de los paneles tipo.

Los datos en las fórmulas anteriores pueden sustituirse por lo datos de la tabla 4.

Tabla 4. Datos para el cálculo de la conductividad térmica de los páneces.

Material	Temperatura cara externa (°C)	Temperatura cara interna (°C)	ΔT (°C)	λ (W/m °C)
Panel de mezclilla de 1 cm de espesor	50.96	32.82	18.176	0.0234
Panel de mezclilla de 3 cm de espesor	51.49	32.92	18.565	0.047
Panel de mezclilla de 5 cm de espesor	53	30.27	22.732	0.0563
Block	64.838	34.387	30.451	1.11

Es importante mencionar que esta conversión funcionó porque se conocía el gradiente de temperatura y la conductividad térmica del block, pudiendo así substituir los datos en la formula.

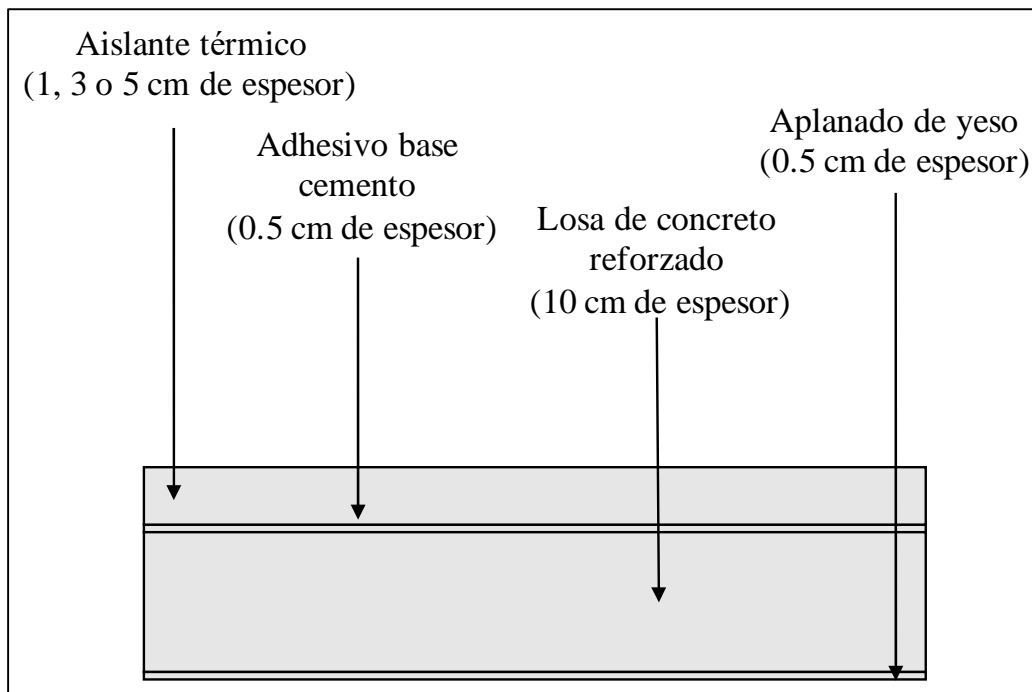
Fuente: Elaboración propia y datos del block obtenidos de Roux y Gallegos (2015) y Cortés (2008).

De acuerdo a los resultados de la tabla 4, puede observarse que los páneces muestran un muy buen grado de conductividad térmica, que los califica como aislamientos térmicos, cabe señalar que el coeficiente de conductividad térmica es igual para un mismo tipo de material, sin embargo el resultado fue diferente en las tres muestras, lo que reafirma la idea que se tenía desde la producción de las mismas, que aunque las tres sean productos derivados de la mezclilla, al ser un proceso artesanal, son materiales con propiedades intrínsecas, por lo que no es inverosímil el hecho de que los resultados sean únicos e independientes en cada caso, donde el panel de 1 cm de espesor fue el de mejor funcionamiento, sin embargo no dista mucho del resultado del panel de 3 cm de espesor o del panel de 5 cm de espesor. Por lo que, considerando el factor de material utilizado, el panel de 1 cm de espesor resultó ser el de mejor funcionamiento en esta ocasión. Otro aspecto a considerar es la forma en que estos afectaron a la conductividad térmica del panel de tabla-cemento, que tiene una conductividad térmica de 0.26 W/m°C, acorde a la hoja técnica del mismo (Durock, 2005), demostrando que los páneces de mezclilla lograron disminuir la conductividad térmica de las hojas de tabla cemento en los tres casos.

Diagrama de aplicación de los paneles

Una losa plana, como la de las viviendas de tipología común en México, recibe la mayor parte del total de radiación solar distribuida en la envolvente arquitectónica, lo que la coloca como la superficie con mayor radiación absorbida de toda la edificación, por lo tanto, es la losa el punto fuerte a tratar si se quiere impactar en la calidad de vida de los usuarios de las viviendas, así que en esta investigación se plantea que los paneles de mezclilla de desecho se instalen directamente sobre la losa, donde la primera capa de los mismos se considerará el aislamiento térmico, seguido por la capa intermedia, que es la losa de concreto reforzado (con un espesor de 10 cm) y por último se integró, para el aplanado interno de la superficie, una capa de yeso (de 5 mm de espesor), que son las características de una vivienda de tipología común en el país (Carrasco, 2011), y la forma de instalación es la mostrada en el diagrama de la figura 11.

Figura 11. Diagrama transversal de la losa con el aislamiento aplicado.



Fuente: Elaboración propia.

Este esquema es un ejemplo de la aplicación del aislamiento en el área de mayor incidencia solar en la vivienda, en donde las probetas, de igual forma que en la prueba de retardo térmico, se adhieren a la superficie de la losa mediante el uso de un adhesivo base cemento (pasta tipo lechada). Además, es preciso hacer la distinción entre aplicación e instalación, donde para efectos de esta

investigación, se entendió la instalación como el proceso práctico, en el cual se consideraron aspectos que mejoran la eficiencia del material, mediante el uso de una capa de pintura de color poco absorbente a la radiación en el exterior, impermeabilizantes ecológicos o recubrimientos que extiendan el tiempo de vida del producto, como por ejemplo: Cuando se adhirió el ácido bórico sobre las muestras de aislante térmico se le aplicó la llama de un encendedor, pudiéndose observar que no propagó el fuego, debido a que internamente el material no permite el paso del oxígeno, comprobando así que aunque el algodón, que es la base de fabricación de la mezclilla, arde entre los 250 °C y 350 °C (Balarezo, 2012), presentó una notable mejoría con la aplicación del compuesto bórico, porque la muestra fue capaz de resistir por lo menos 1110 °C y puede comprobarse debido a que el encendedor libera una llama de color naranja, ya que el color de la llama es relativo o indicativo de su temperatura (Serrano, 2012). En el caso de la absorción del agua, el material impide la acumulación de humedad debido a su porosidad, lo que permite que el tránsito libre del oxígeno a través de él, evitando la generación de moho, además de funcionar como diminutas cámaras de aire que ayudan a la liberación del calor acumulado (Franceschi, Pérez y Magarelli, 2010).

Conclusiones

Fue posible observar que el aislante fabricado con mezclilla de desecho puede mejorar las condiciones interiores de temperatura de una vivienda en Saltillo, debido a la forma en que funcionó el material, lo que daría como resultado un edificio más fresco en el verano y más cálido durante el invierno, porque las propiedades de este material facilitan la disminución en el consumo de recursos energéticos porque es un material originado de desechos, que ya fue transformado en un proceso industrializado.

Otro aspecto a considerar es que la etapa de reúso no requiere de gran consumo energético para obtener el producto y, por otro lado, coopera a solventar un problema de contaminación, pues este residuo actualmente no se utiliza, así que es depositado en los tiraderos de basura locales, provocando un gran impacto ambiental, liberando sustancias químicas contaminantes para el agua y el subsuelo. Además de que se tiene como ventaja económica el ahorro en el acondicionamiento de la vivienda, ya que emplearía ventilación natural, en comparación con otros materiales que debido a que permiten el paso del calor más rápido, como el ladrillo y el block, necesitarían el apoyo de aparatos electromecánicos para mejorar la sensación de confort térmico en el usuario.

En cuanto a la instalación la losa es la mejor a opción a considerar, además de que productos como el ácido bórico permiten al material aumentar su resistencia al fuego, así como evitar la acumulación de humedad, ayudado por la porosidad natural de la tela. Por lo tanto, el resultado fue un producto plétórico en funcionalidad y al mismo tiempo amigable con el medio ambiente.

Agradecimientos

A la Empresa Valtone S.A. de C.V. por la disponibilidad del personal, particularmente a la ayuda de la señora Rebeca Santos, encargada del área de compras de la empresa, que nos facilitó la información y la materia prima necesaria y también a la Coordinación de Investigación de la Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas por permitirnos el uso de las instalaciones y el equipo necesarios para este desarrollo experimental.

Referencias

- Balarezo R. M. F. (2012). Retardantes de llama. Caracas: Epsica: Higiene y seguridad ocupacional.
- Canto Sáenz, R. (2011). Competitividad y cohesión social: El caso de la industria del vestido en Yucatán. *Estudios sociales XIX* (38): 221- 248.
- Carrasco, C. (2011). El aislamiento térmico en la vivienda económica. Ponencia presentada en el Séptimo Simposio sobre Energía Estructural en la Vivienda, Cuernavaca.
- Cortés Portillo, O. (2008). Análisis térmico de los sistemas constructivos comunes utilizados en techos y muros en vivienda versus la normatividad oficial en el tema, en los diversos bioclimas de México. Tesis de Maestría en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Durock (2005). Tabla cemento marca Durock. Hoja técnica. <http://elmastilgt.com/web/wp-content/uploads/2015/02/Hoja-Tecnica-Durock.pdf>. (5 de marzo de 2018)
- Espínola Orrego, G. (2010). El derecho a una vivienda digna y adecuada en el ordenamiento jurídico español. Alcalá de Henares: Universidad de Alcalá.
- Franceschi, K., Pérez, S., y Magarelli, D. (2010). Determinación de los Coeficientes de Transferencia de Masa Energía para el Proceso de Secado de Textiles, en Función de la Densidad del Material. *Información tecnológica XXI* (5): 99-106.
- Gómez Muñoz, V. M. (2003). Desempeño solar de viviendas. Tesis de Doctorado en Ciencias en Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. La Paz: Centro de Investigaciones

Biológicas del Noroeste, A.C.

- González Herrera, E. V., y Ovando Mejía, J. D. (2011). Aplicación de aislante térmico en un aula académica para el ahorro de energía. Tesis de Doctorado en Ingeniería, Universidad Veracruzana.
- González, O. (2009). Los retardantes de fuego. <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/08121037131692233724fuego1.pdf> (5 de marzo de 2018).
- Guerra Menjívar, M. R. (2015). Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. *Ing-novación. Revista semestral de ingeniería e innovación de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco III* (5): 123-133.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2017). Banco de Información Económica. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/#D1040010001420030002000100050> (4 de marzo de 2018).
- Mercado Moraga Á. F. (2010). Perfil Tecnológico de la Vivienda de Interés Social en México: Evaluación y perspectivas del mercado de tecnologías de VIS y recomendaciones de medidas institucionales de fomento para la I+D en el sector habitacional. Universidad Autónoma Metropolitana. Ponencia presentada en el Primer Encuentro Académico CONAVI-CONACYT, México D.F.
- Mercier, D., Dutil, Y., Rouse, D., Pronovost, F., Boudreau, D., Hudon, N., & Castonguay, M. (2011). Los aislamientos térmicos naturales: Construcción ecológica y eficiencia energética. Ponencia presentada en el Coloquio Universitario Franco-Québécois, Saguenay.
- Molinar-Higuera, S. E., Jordán-Hernández, R., y Tiburcio-Munive, G. M. (2010). Evaluación térmica de un material natural atípico para uso como aislante térmico en construcciones civiles. *Revista Electrónica INTEC I* (1): 87-95.
- Najar, A. (2017). Los jeans, en riesgo por la disputa comercial entre México y EU. <http://www.animalpolitico.com/2017/02/trump-tlc-jeans-mexico-eu/> (1 de marzo de 2018).
- Roux Gutiérrez, R. S., y Gallegos Sánchez, D. P. (2015). Construcción Sustentable, Análisis de Retraso Térmico a Bloques de Tierra Comprimidos. *Contexto. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León IX* (11): 59-71.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). Generación estimada de residuos sólidos urbanos por tipo de residuo.

http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_RSM01_03&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce (26 de febrero de 2018).

- Serrano, J. F. A. (2012). ¿Es posible inferir la eficiencia de un proceso de combustión a partir de una inspección visual de la llama? *Revista Conocimientos Fluidos VII* (48): 64-70.
- Soluciones Integrales para Generación y Ahorro de Energía (2011). *Tablas de Consumo Energético México*: CIME.
- Sosa Juarico, M., y Rangel Vargas, G. (2007). Análisis del desarrollo económico del municipio de Tehuacán, Puebla y líneas de acción para su desarrollo local. *Mundo siglo XXI* (8): 45-59.
- Velázquez Rodríguez, M. (2015). *Materiales aislantes sostenibles*. Tesis de Licenciatura en Edificación, Escuela Politécnica Universidad de Extremadura.
- Villalobos Pardo, P. A. (2014). *Estudio de la Mezclilla como Aislante Termo-acústico en Construcciones de uso Habitacional*. Tesis de Licenciatura en Ciencias de la Construcción, Universidad de Valparaíso.