

BAHAREQUE Y SU INERCIA TÉRMICA PARA MUROS DE VIVIENDAS

DE INTERÉS SOCIAL

RUBÉN SALVADOR ROUX-GUTIÉRREZ*

*Bahareque
and its
thermal
inertia
for walls
of social
housing*

RESUMEN. Este artículo presenta el tema de la construcción sustentable y parte del uso de materiales naturales para la construcción, especialmente la técnica del bahareque que es empleada por el hombre desde hace miles de años, pero debido a la producción de nuevos materiales y los procesos de producción masiva se estandarizaron los insumos de construcción y llevaron casi al olvido esta técnica. Con las nuevas políticas tomadas por México, que le han dado una importancia relevante a la conservación y restauración del medio ambiente, se aborda la investigación y uso de la tierra en la construcción debido a sus propiedades naturales, es así como se retoma el uso del bahareque como unidad de análisis para probar sus ventajas como regulador natural de temperatura contra el bloque de cemento y el ladrillo, que son más empleados en el ámbito de la construcción. La metodología incluyó la instalación de una fuente de calor que contaba con 6 focos de 150 w cada uno, colocada a una distancia de 34.5 cm de los paneles de bahareque, fabricados para tal efecto y que fueron probados durante 5 horas, las temperaturas se registraron por medio de termopares colocados en la parte anterior y posterior de cada panel a la misma distancia y altura, para posteriormente obtener las gráficas por medio del software HOBOWARE. Según los resultados indican que, el panel de bahareque con mayor retardo fue el que contenía poliestireno, con un retardo de 5 horas, muy superiores a los 30 minutos del retardo obtenido en los bloques de concreto y ladrillo.

Palabras clave: Bahareque, inercia térmica, vivienda.

ABSTRACT. This article addresses the issue of sustainable construction, based on the use of natural materials for construction, especially the bahareque technique that has been used by man for thousands of years, but due to the production of new materials and processes mass production, building materials were standardized and this technique was almost forgotten. With the new policies adopted by Mexico, which have given a relevant importance to the conservation and restoration of the environment, the research and use of the land in construction due to its natural properties is resumed, this is how the use of the bahareque as a unit of analysis, to prove its advantages as a natural temperature regulator against the cement block and brick, which are more used in the field of construction. The methodology included the placement of a heat source that had 6 bulbs of 150 watts each, placed at a distance of 34.5 cm from the panels of bahareque, manufactured for this purpose and that were tested for 5 hours, the temperatures were registered by half of thermocouples placed in the front and back of each panel at the same distance and height, to later obtain the graphics by means of software HOBOWARE. The results indicate that the bahareque panel with the longest delay was the one that contained polystyrene, with a delay of 5 hours, much higher than 30 minutes of the delay obtained in the concrete and brick blocks.

Key words: Bahareque, thermal inertia, housing.

Fecha de recibido:

23 agosto 2017

Fecha de aceptado:

12 octubre 2017

* Universidad Autónoma
de Coahuila, México
rroux33@hotmail.com



El bahareque es una técnica constructiva de tierra utilizada por los pueblos indígenas de diferentes partes del mundo, principalmente en las zonas tropicales, ya que para su realización se requiere de vegetación. La tierra se mezcla con fibras vegetales para rellenar la estructura y formar una unidad monolítica, también se le conoce como técnicas mixtas, pues actualmente se ha sustituido los materiales vegetales por elementos de acero en específico mallas de acero, también se utilizan envases de Tereftalato de polietileno (PET), lo que reafirma la arquitecta Lucía Esperanza Garzón:

Las técnicas mixtas dentro de la arquitectura con tierra son múltiples y en todo el mundo están realizadas con diversos recursos naturales y ahora industriales, pero es importante resaltar, que en esta área del conocimiento específico hay mucho por investigar en cada región, ya que pertenecen a las técnicas con mayor diversidad, especialmente en América Latina. Como lo dice su nombre, las técnicas mixtas son técnicas que incluyen varios materiales:

- El sistema estructural es realizado con múltiples materiales de origen vegetal o industrial que son el cuerpo o el esqueleto que lo sostiene.
- La tierra o el barro que cumple en algunos de estos sistemas la función de relleno y de revestimiento, potenciando una de las principales propiedades: dar respuesta a condiciones ambientales en un comportamiento acústico y térmico.

En las técnicas mixtas la tierra funciona como la piel, pues regula la temperatura, la humedad y el sonido (Neves & Faría, 2011).

La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) conjuntamente con la Agencia Alemana de Cooperación Técnica (GIZ) han implementado el programa de “Medidas de mitigación apropiadas a cada país (NAMA)” para desarrollar vivienda sustentable en México, la problemática es que nacionalmente hay pocos o nulos materiales con etiqueta verde, entre las características más importantes está la capacidad térmica de los materiales y en especial su retardo térmico, dicha característica permite saber el tiempo en que pasa el calor o frío de exterior al interior,

para mantener un ambiente confortable sin la necesidad de utilizar un sistema de climatización artificial por tiempos prolongados y por consecuencia, un alto consumo de energía eléctrica.

Se presenta la investigación realizada en paneles de bahareque para determinar su inercia térmica y compararlos con materiales alternativos (bloques de tierra comprimida) y convencionales (bloques de concreto vibro comprimidos), realizados por la ingeniera Diana Patricia Gallegos Sánchez, a su vez se aplica la metodología utilizada en la mencionada investigación.

La definición de inercia térmica vendría a decir que es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Debido a esta capacidad, teniendo en cuenta la inercia térmica de los cerramientos de un edificio, puede disminuirse la necesidad de climatización, con la consecuente reducción de consumo energético y de emisiones contaminantes (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, 2017).

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gran problemática de la vivienda en México es que se ha privilegiado la cantidad y el costo a pesar de que en el cuarto trimestre de 2015 tuvo un decremento del -0.29%, como lo refleja el estudio del Estado Actual de la Vivienda 2015 (Topelson de Grinbert, 2016), sobre la calidad y los aspectos de sustentabilidad, lo que ha provocado que ésta sea una de las causas de abandono de viviendas en México.

El Programa Nacional de Vivienda 2014-2018 menciona:

Resulta innegable el impacto ambiental que se genera en las viviendas de manera cotidiana. Se estima que este sector es responsable del 32 por ciento de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en México, “lo que representa el 16.2 por ciento del consumo total de energía y el 26 por ciento del consumo total de electricidad” (Gobierno Federal Mexicano, 2014).

Esto último se ha tratado de corregir con la aplicación de la NAMA de vivienda nueva en México, sin embargo, son muy pocos los materiales alternativos utilizados en este programa, para disminuir el consumo de energía eléctrica se ha basado más en la aplicación de aislantes térmicos, que no son

económicos ni muy sustentables, y no se han promovido normas de materiales regionales alternativos para sustituir a los convencionales y lograr un mejor aislamiento de las viviendas.

De lo anterior se desprende la siguiente pregunta de investigación: ¿Si se determina el retardo térmico de los muros de bahareque de acuerdo con sus propiedades térmicas en un ambiente controlado en laboratorio, se podrá comparar con los datos obtenidos de retardo térmico de los bloques de tierra comprimida (BTC), bloques de concreto vibro comprimidos y ladrillo, para determinar si tiene un mejor comportamiento térmico?

OBJETIVO

Analizar las propiedades térmicas que tienen los muros de bahareque para determinar el retraso térmico que presenta al aplicar una fuente de calor en un ambiente controlado, en este caso el laboratorio. De esta manera se compara la transmisión del calor a través de muros de elaboración propia con bloques de tierra comprimida (BTC), bloques de concreto vibro comprimidos y ladrillo.

METODOLOGÍA

Los muros de bahareque fueron elaborados por los alumnos de la materia de Construcción con Tierra de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Primero realizaron los marcos de aproximadamente 60 x 60 cm con madera de una

pulgada de gruesa por 2 pulgadas de ancho y después colocaron 6 varitas de 1 x 1 cm, separadas por 8 cm, dentro del marco como soporte para emular la técnica del bajareque (Ver Figura 1 y 2).

Después se preparara una mezcla con las siguientes proporciones: 76.95 kg de arcilla, 24.23 kg de Medrano y 31.16 kg de arena de río, 9.50 kg de cal y 24 l de agua. Incorporaron todo hasta obtener una mezcla homogénea, después dividieron en cuatro porciones iguales, y aparte, para cada “masa”, agregaron a tres de las mezclas lo siguiente:

- A la primera incorporan 5.70 kg de poliestireno en grumos o “perlas”,
- A la segunda agregaron 16.15 kg de grava de 3/8” de diámetro y
- A la tercera añadieron 0.25 kg de fibra ixtle deshilachada hasta obtener una mezcla homogénea.
- Posteriormente rellenaron con las tres mezclas los moldes de madera.
- La cuarta mezcla se dejó en el molde sin agregados para que después usarlos como control para la experimentación de transitividad térmica, es decir, de la misma proporción de tres de arcilla, uno de limos (Medrano) y uno de arena de río, más la cal hidratada como cementante (Ver Figura 3, 4, 5, 6 y 7).

Las pruebas de conductividad térmica se limitarán a aplicar una fuente de calor constante, para tomar las medidas de temperatura que presentaron los diferentes muros probados, y así comparar su comportamiento.

La prueba consistió en el análisis de las temperaturas registradas en ambas caras de los muros donde se colocaron los termopares, se creó una fuente de calor constante que consistió en una placa de madera instalada con 6 focos marca Osram de 150 W, los muros fueron colocados uno por uno a una distancia establecida de la placa de focos a 34.5 cm (distancia que permite emular el calentamiento solar con la fuente de calor artificial), y se registraron las temperaturas en ambas caras del muro. Para la recolección se utilizó el software HOBOWare U-12, el cual fue programado para tomar la temperatura a cada intervalo de 15 minutos por ambas caras durante 5 horas, después se graficaron los datos para poder apreciar el retraso térmico de los muros y así comprobar o rechazar la hipótesis (Gallegos Sánchez, 2014).

A continuación se presenta el proceso de experimentación y resultados obtenidos a lo largo de la investigación. En las gráficas 1, 2, 3 y 4 se observa el comportamiento de las temperaturas en la capa anterior línea continua y posterior línea punteada, de los paneles probados. También se indica la hora de inicio del experimento, la hora en que se alcanza la mayor temperatura en ambas caras y el tiempo de enfriamiento en ambas caras, hasta alcanzar la temperatura ambiental, en las gráficas 5 y 6 el comportamiento de las temperaturas de los ladrillos de barro cocido y los bloques de concreto.



FIGURA 1 Y 2. ARMADO DE LOS MARCOS DE MADERA PARA RELLENARLOS CON LAS DIFERENTES MEZCLAS DE SUELO.
FUENTE: FOTOGRAFÍAS DEL AUTOR.



FIGURA 3 Y 4. PROCESO DE RELLENO CON LA MEZCLA DE SUELO Y DIFERENTES AGREGADOS, COLOCACIÓN EN LOS MARCOS DE MADERA.
FUENTE: FOTOGRAFÍAS DEL AUTOR.

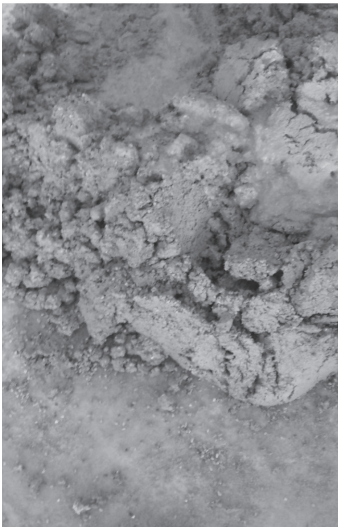
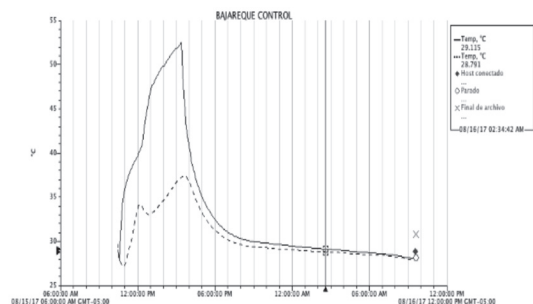
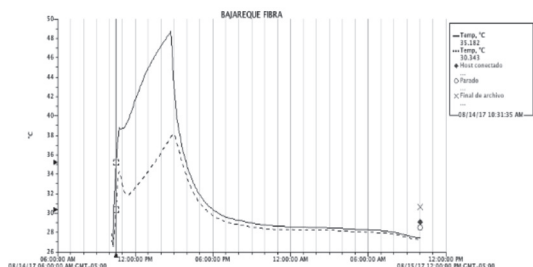


FIGURA 5, 6 Y 7. PROCESO DE RELLENO CON LA MEZCLA DE SUELO Y DIFERENTES AGREGADOS.
FUENTE: FOTOGRAFÍAS DEL AUTOR.



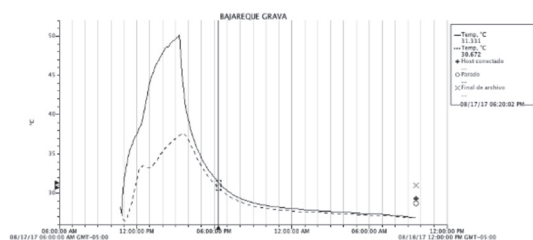
GRÁFICA 1. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE DE CONTROL DURANTE LA PRUEBA DE 5 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



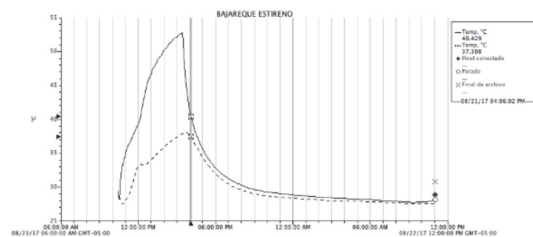
GRÁFICA 2. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON FIBRA DURANTE LA PRUEBA DE 5 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 3. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON GRAVILLA DURANTE LA PRUEBA DE 5 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 4. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON POLIESTIRENO DURANTE LA PRUEBA DE 5 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La parte final de la investigación fue percibir visualmente cómo sucede el proceso de conducción de calor a través de los paneles de bahareque. Se empleó la cámara termográfica FLUKE Ti25- Series, en donde se capturaron fotografías del proceso de calentamiento de los paneles, por lo que se empleó de nuevo la placa de focos a la misma distancia de 34.5 cm de la prueba de retraso térmico.

Las Figuras 8, 9, 10 y 11 muestran el momento en que los muros comienzan a absorber el calor, se presentan las fotografías en ambas caras de los muros. Se observan las variaciones de calor y se marcan las temperaturas máximas y mínimas de acuerdo con la tonalidad de la imagen, en cada imagen se muestra primero la fotografía al iniciar la prueba, es decir, 30 minutos después de encender los focos, la segunda fila son imágenes tomadas aproximadamente cada 30 minutos, y por último fotografías tomadas aproximadamente dos y media hora después, para que se aprecie la elevación de temperatura que ocurre en el lado opuesto del panel, la primera fila son fotos de la cara anterior del panel y la segunda fila de la cara posterior del panel.

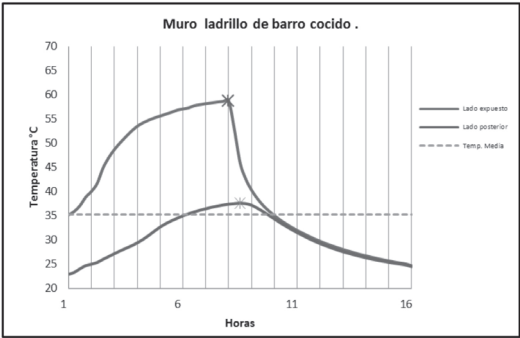
En la tabla 1 se muestra un resumen de las máximas temperaturas que alcanzan los muros de los diferentes materiales probados, además de mostrar el retardo que hubo, es decir, cuánto

tiempo transcurrió desde el momento en que se registraron las temperaturas máximas en cada lado del panel, es el retraso térmico, el cual se determina al calcular el tiempo transcurrido en que se encendieron los focos y el tiempo en que se alcanzaron las máximas temperaturas (anterior y posterior) del panel. El factor de reducción se calcula dividiendo la máxima temperatura anterior y la máxima temperatura posterior. Los datos del ladrillo de barro cocido y el block de concreto son tomados de la tesis de la Ing. Civil Diana Patricia Galleos Sánchez, realizada en febrero de 2014, considerando la misma metodología.

TABLA 1. TIEMPO DE RETARDO Y FACTOR DE REDUCCIÓN DE LOS DIFERENTES MUROS ANALIZADOS.

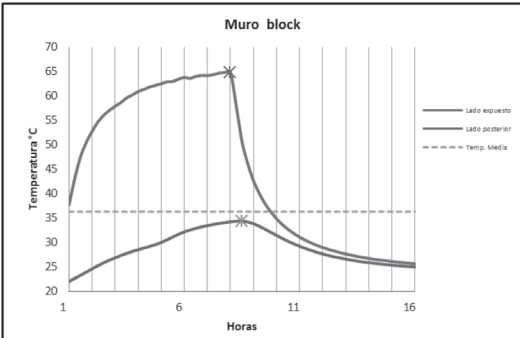
Tipo de muro	Espesor del muro en cm	Temperatura máxima		Tiempo de retardo térmico	Factor de reducción $u = \frac{T_{i \text{ máx}}}{T_{o \text{ máx}}}$
		Anterior °C	Posterior °C		
Bahareque control	0.07	52.49	48.97	4:55	1.072
Bahareque con fibra	0.07	48.73	38.11	4:25	1.279
Bahareque con gravilla	0.07	50.16	37.56	4:35	1.335
Bahareque con poliestireno	0.07	52.74	37.97	5:00	1.389
Ladrillo de barro cocido	0.12	58.78	37.64	0:30 h	1.561
Block de concreto	0.15	64.84	34.39	0:30 h	1.886

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



GRÁFICA 5. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR, MURO DE LADRILLO DE BARRO RECOCIDO.

FUENTE: ELABORADO POR DIANA PATRICIA GALLEGOS CON BASE EN CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, ANALISIS DE RETRASO TÉRMICO A BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS.



GRÁFICA 6. TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LA CARA EXTERIOR E INTERIOR, MURO DE BLOQUES DE CONCRETO.

FUENTE: ELABORADO POR DIANA PATRICIA GALLEGOS CON BASE EN CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, ANALISIS DE RETRASO TÉRMICO A BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS.

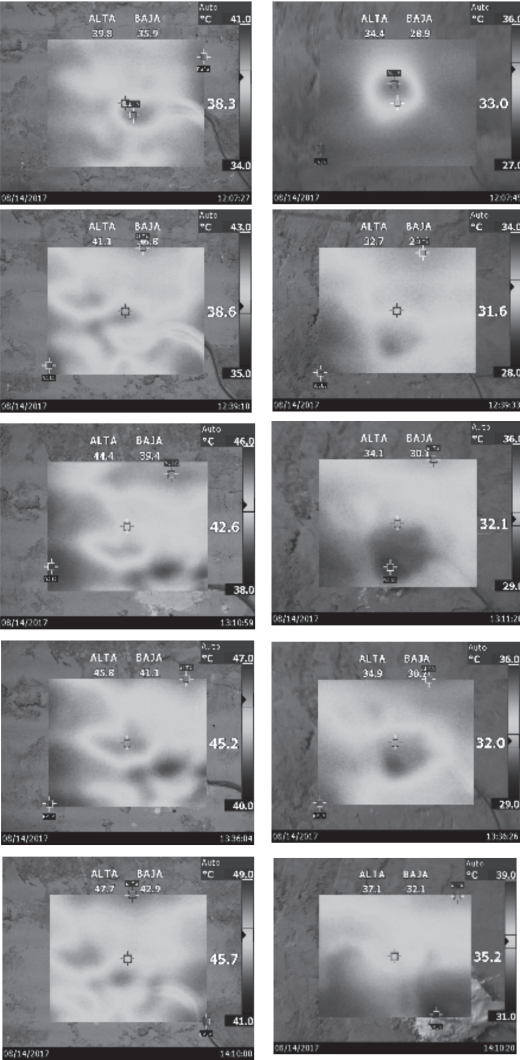


FIGURA 8. FOTOS TERMGRÁFICAS OBTENIDAS EN LA CARA ANTERIOR Y POSTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CONTROL DURANTE LA PRUEBA DE 2:30 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

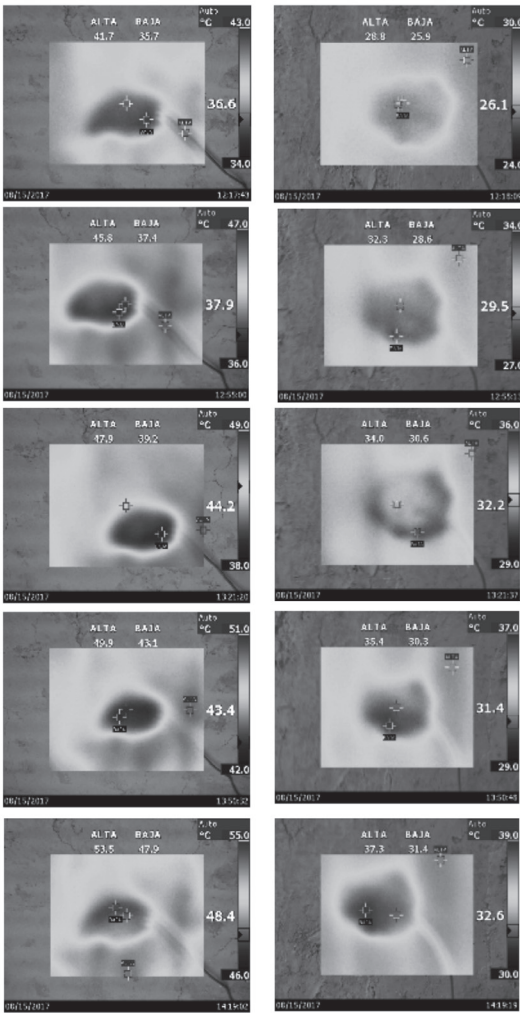


FIGURA 9. FOTOS TERMGRÁFICAS OBTENIDAS EN LA CARA ANTERIOR Y POSTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON FIBRAS DURANTE LA PRUEBA DE 2:30 HORAS.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

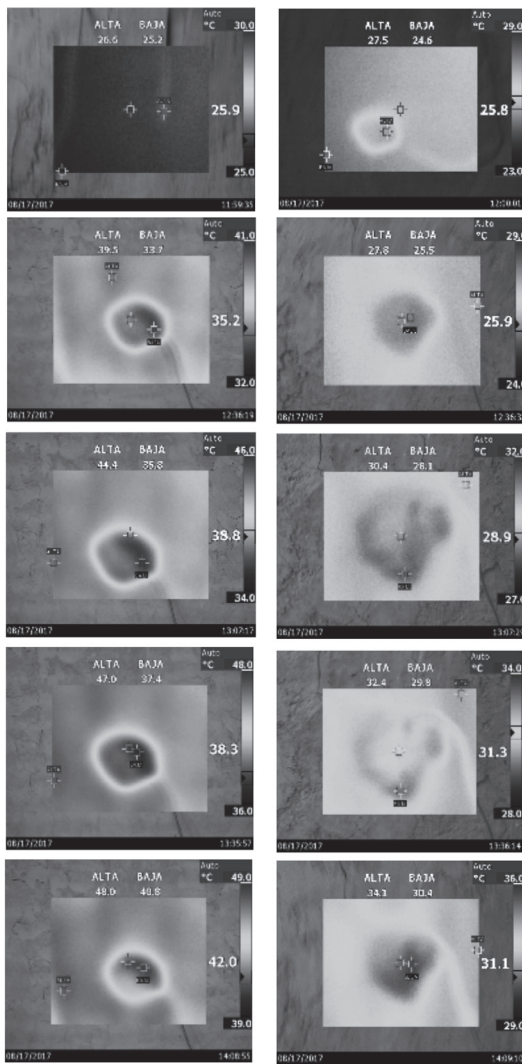


FIGURA 10. FOTOS TERMGRÁFICAS OBTENIDAS EN LA CARA ANTERIOR Y POSTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON GRAVILLA DURANTE LA PRUEBA DE 2:30 HORAS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

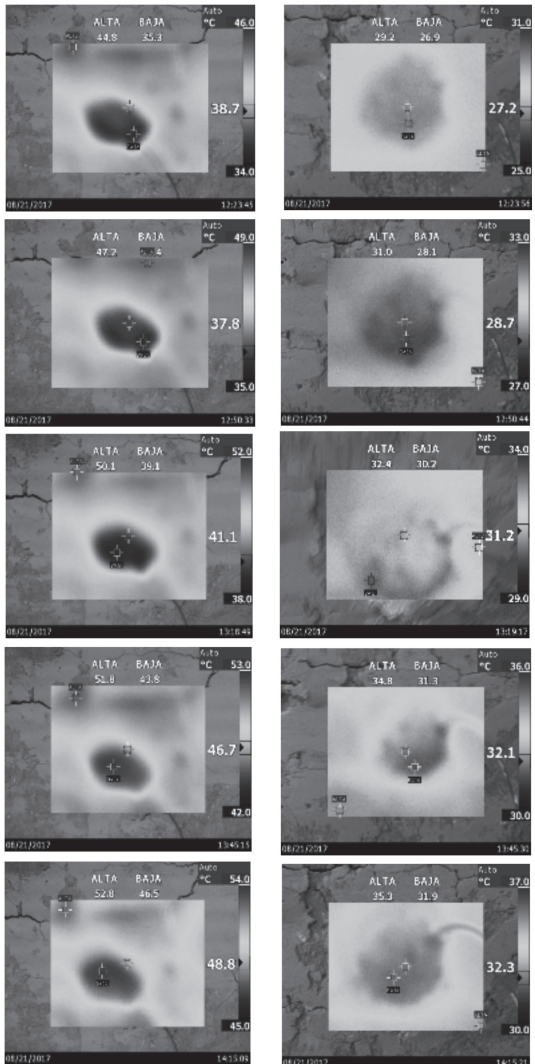


FIGURA 11. FOTOS TERMGRÁFICAS OBTENIDAS EN LA CARA ANTERIOR Y POSTERIOR DEL PANEL DE BAHAREQUE CON POLIESTIRENO DURANTE LA PRUEBA DE 2:30 HORAS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los resultados son superiores o similares a otras investigaciones, como el estudio realizado en Colombia que describe lo siguiente:

El muro de quinchá de 12 cm logra una transmitancia térmica similar a una pared de ladrillo macizo de 300 mm o una pared de adobe de 250 mm, adecuada para muchas condiciones climáticas, pero con limitada resistencia al paso de calor en climas fríos. El peso reducido es otra ventaja, pero la limitada inercia térmica produce un retraso térmico de solamente 3 horas (Martin Evans, de Schiller & Garzón, 2014).

CONCLUSIONES

Después de realizar los estudios se concluye lo siguiente:

- Los paneles de bahareque tuvieron un mayor retardo térmico que los realizados con bloques de concreto y ladrillo de barro cocido, ya que el panel de bahareque con poliestireno tuvo un retardo de 5 horas, el panel de bahareque de control tuvo un retardo de 4:55 horas, el panel de bahareque con gravilla tuvo un retardo de 4:35 horas y el panel de bahareque con fibras de ixtle tuvo un retardo de 4:25 horas, el bloque de concreto y el ladrillo de barro cocido tuvieron un retardo de 30 minutos, lo que representa en horas de retardo comparados con los materiales convencionales (bloques de concreto y ladrillo de barro cocido) de 4:30 horas más de retardo para el panel de poliestireno, para el panel de control de 4:25 horas más de

retardo, para el panel de bahareque con gravilla de 4:05 horas más de retardo y para el panel de bahareque con fibras de ixtle de 3:55 horas más de retardo.

- El panel con mejor retardo térmico fue el de bahareque con poliestireno.
- Con respecto a las temperaturas máximas adquiridas tanto en la cara anterior se obtuvieron los siguientes resultados:
 - Para el panel de bahareque con poliestireno un 10.27% menor que el ladrillo de barro recocido y de 18.66% menor que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque control un 10.70% menor que el ladrillo de barro recocido y de 19.04% menor que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque con gravilla un 14.66% menor que el ladrillo de barro recocido y de 22.64% menor que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque con fibra de ixtle un 17.10% menor que el ladrillo de barro recocido y de 24.84% menor que el bloque de concreto.
- Con respecto a las temperaturas máximas adquiridas en la cara posterior se obtuvieron los siguientes resultados:
 - Para el panel de bahareque con poliestireno un 0.88% más que el ladrillo de barro recocido y de 9.92% más que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque control un 23.13% más que el ladrillo de barro recocido y de 29.77% más que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque con gravilla un 0.21% menor que el ladrillo de barro recocido y de 8.43% más que el bloque de concreto.
 - Para el panel de bahareque con fibra de ixtle un 1.23% más que el ladrillo de barro recocido y de 9.76% más que el bloque de concreto.

- Lo anterior nos indica que aunque los incrementos no son tan grandes con respecto a las temperaturas posteriores obtenidas salvo en el caso del panel de bahareque control con respecto al ladrillo, lo que afecta para que se de este fenómeno es el espesor de los paneles con respecto a los espesores de los paneles de ladrillo barro recocido y los bloques de concreto.
- Los datos anteriores permiten determinar que aunque las temperaturas posteriores en la mayoría de los paneles son más altas que las de los paneles de ladrillo de barro recocido y bloques de concreto, el retardo en horas para alcanzar estas temperaturas es mayor que el que tienen los materiales convencionales, lo que permite que la temperatura interior se pueda mantener cercana al área de la temperatura de confort, la que se ha determinado entre 23 y 25 °C para la región noreste de México, de acuerdo con las temperaturas promedio de los últimos 20 años, con la utilización de sistemas pasivo o activos, para el caso de estos últimos también se puede inferir que el uso será menor, ya que por la amplitud del retardo térmico en horas no tendrían que trabajar al máximo para poder alcanzar las temperaturas de confort y por consecuencia el consumo de energía se reduciría.

FUENTES DE CONSULTA

- Gallegos Sánchez, D.P. (2014), *Construcción sustentable, análisis de retraso térmico a bloques de tierra comprimidos*, UAT, México.
- Gobierno Federal Mexicano (2014), *Programa Nacional de Vivienda 2014-2018*, DOF, México.
- Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (30 de septiembre de 2017). IECA. [En línea] https://www.ieca.es/reportaje.asp?id_rep=692#, consultado el 2 de julio de 2017.
- Martin Evans, J., de Schiller, S. & Garzón, L. (2014), *Desempeño térmico de vivienda contruida con Quincha realizada en Colombia*, FADU-UBA, Buenos Aires.
- Neves, C. & Faria, B. (2011), "Técnicas Mixtas". En C. Neves & B. F. Faria, *Técnicas de Construcción con tierra*, FEBUNESP, Brasil, pp. 61-71.
- Topelson de Grinbert, S. (2016), *Estado Actual de la Vivienda en México (EAVM) 2015. Datos y retos*. Sociedad Hipotecaria Federal, México.