

CONSTRUCCIÓN SUSTENTABLE, ANÁLISIS DE RETRASO TÉRMICO A BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDOS

Recibido: 03/04/2015
Aceptado: 04/08/2015

Rubén Salvador Roux Gutiérrez¹
Diana Patricia Gallegos Sánchez²

Resumen:

Este artículo es el resultado de la investigación que aborda el tema las propiedades térmicas de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), para corroborar las ventajas de este material de construcción alternativo, sobre los materiales convencionales, para comprobar que estos materiales pueden satisfacer las necesidades de la población en la construcción de sus viviendas digna, mejorando la calidad de vida del usuario y produciendo un menor impacto ambiental. Se plantea el uso de BTC como unidad de análisis, elaborado con material de la zona del sur de Tamaulipas, probando sus ventajas como regulador natural de temperatura contra el bloque de concreto y el ladrillo recocido de la región, que son empleados en el ámbito de la construcción de viviendas. Las pruebas térmicas realizadas fueron simulando el efecto del sol sobre un muro, registrándose la temperatura durante las pruebas determinándose el retraso térmico en los muros dependiendo del material. Es así como con el resultado de las pruebas se determinó cual es el material óptimo para emplear como envolvente de la vivienda.

Palabras clave:

CEB, retardo térmico, edificio con tierra, sostenibilidad en la vivienda.

Abstract:

This article is the result of research that addresses the issue the thermal properties of the Compressed Earth Blocks (CEB), to corroborate the benefits of this alternative building material, on the conventional materials, to verify that these materials can meet the needs of the population in the construction of their homes worthy, improving the quality of life of the user and producing a lower environmental impact. Considering the use of CEB as a unit of analysis, developed with materials from the area of southern Tamaulipas, proving its advantages as natural regulator of temperature against the concrete block and brick annealing of the region, who are employed in the field of housing construction. Thermal testing carried out were simulating the effect of the sun on a wall, the temperature recorded during the tests determined the delay in the thermal walls depending on the material. That is how, with the result of the tests will be determined which is the optimum material for use as housing surround.

Key Words:

CEB, thermal delay, building with Earth, sustainability in housing

¹ Doctorado de la Universidad Autónoma de Coahuila, su contacto es: rroux33@hotmail.com

² Master en Ciencias de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, su contacto es: dianna_gallegos@hotmail.com

1. Introducción.

Construir con tierra es una técnica milenaria en la historia de la humanidad, donde el hombre la empleaba para protegerse de la intemperie. Según Neves (2007) pasando la construcción con tierra por las debidas adaptaciones técnicas y culturales de cada región. Los habitantes de épocas pasadas supieron como explorar las buenas propiedades de la tierra y usarla en bellísimas construcciones. (Neves, 2007)

Sin embargo de acuerdo a McHenry (2004) los cambios radicales producidos por la revolución industrial, la energía de bajo costo, una rápida expansión de los sistemas de transporte, distribución y la preferencia por materiales más “modernos” como el cemento Portland que tuvo un importante papel en la segunda guerra mundial para la reconstrucción de las ciudades europeas, virtualmente acabaron con la utilización de tierra como material de construcción. (McHenry, 2004)

Actualmente en México, la construcción con tierra es una técnica que se practica de manera artesanal, no hay normas oficiales que regulen su uso, por lo que su difusión es mínima en el mercado de la construcción.

Tampoco existen estudios sobre aspectos físicos del material como es el caso de la capacidad térmica del material es especial de la técnica de Bloques de Tierra Comprimida (BTC), que permita hacer una comparación sobre materiales convencionales y corroborar su eficiencia energética y su grado de sustentabilidad.

2. ¿Por que construir con tierra?

La construcción es el sector productivo que mas contaminación produce, como menciona Fuentes (2005) causa además un impacto en el ambiente por la energía utilizada para proveer al edificio de los servicios necesarios y la energía usada para la fabricación de los materiales utilizados en la construcción, consume una importante cantidad de energía y provoca un porcentaje significativo de emisiones de CO₂ a la atmosfera. (Fuentes,2005)

Es por eso que al tomar en cuenta el impacto que causa al ambiente la construcción, haya surgido de nuevo la tierra siendo un material de fácil localización, como plantea De Oteiza (2002) actualmente un tercio de la humanidad se refugia de la intemperie en construcciones de tierra.(De Oteiza,2002) Claro está que tiene sus ventajas y desventajas como cualquier otro material, la tierra es un material que ofrece tantos beneficios algunos de ellos expuestos en Fuentes (2005) este material funciona como acumulador térmico en invierno debido a su masa térmica, por factores como la constitución del material y el espesor de las paredes, también funciona como aislante acústico y de muy baja transmisión del sonido. No es tóxico y es libre de emisiones. Es completamente ecológico como recurso renovable, totalmente reciclable, además de que es disponible localmente y requiere de pocos recursos adicionales tales como la fabricación, el transporte, y demás. No es inflamable, y mantiene confortable la temperatura superficial de los materiales. Estéticamente hablando se logran con la tierra texturas y colores naturalmente bellos de muy fácil mantenimiento. (García, 2003)

Ciertas desventajas que son, el que es no es un material de construcción estandarizado. Su composición depende del lugar de donde se extrae puede contener diferentes cantidades y tipos de arcilla, limo, arena y agregados; Otra desventaja es que se contrae al secarse por la evaporización del agua, y pueden aparecer fisuras como se puntualiza en Roux (2005) Además no es impermeable, debe protegerse de la lluvia y de las heladas especialmente en estado húmedo. (Minke, 2005).

En este artículo se hará énfasis en las propiedades térmicas de los BTC, Los datos encontrados de las características térmicas de la materia tierra con relativamente escasos en comparación con la información existente para otros materiales de construcción. En México existen pocos laboratorios que se dediquen a analizar dichas características, lo cual es un impedimento para la difusión de este material puesto que la construcción esta

regulada por normas estrictas de calidad. (Aranda & Fuentes, 2007).

En la construcción de viviendas la envolvente cumple con la función de ser intermediario entre el clima exterior y el ambiente dentro de esta. Es posible que la cantidad de calor que penetra del exterior al interior sea minimizada, utilizando la capacidad térmica de los materiales que conforman la envolvente. (Gamerós, 2007).

La tierra estabilizada, por sus propiedades naturales, tiene la capacidad de regular la temperatura y la humedad a través de la evaporación y la condensación, si la temperatura en el exterior es más alta la pared de tierra estabilizada evaporará humedad, lo que enfriará la pared y por lo tanto la temperatura interior bajará. Si es al contrario y hace más frío en el exterior entonces la pared condensará la humedad, que creará calor en la pared y por lo tanto en el interior de la vivienda. (Auroville, 2004).

En la investigación realizada, son estas características térmicas lo que se evaluó. Para poder comprender mejor las propiedades termo físicas relacionadas con estos procesos de transferencia de calor, se explican brevemente a continuación de acuerdo a Goulart (2004): conductividad térmica (λ), calor específico (c), y densidad (ρ).

- Coeficiente de conductividad térmica (λ): Caracteriza la cantidad de calor necesario por m^2 , para que se obtenga una diferencia de $1^\circ C$ de temperatura entre las dos caras de $1m$ de material homogéneo en una unidad de tiempo. Se expresa en: $(W/(m.K))$.

- Calor específico (c): Se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa, elevar su temperatura en una unidad. Se expresa en $J/(kg.K)$.

- Densidad (ρ) Cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Se expresa en (kg/m^3) . (Goulart, 2004).

El autor Gálvez (2002) denomina inercia térmica a la resistencia que presentan los cuerpos para variar su temperatura, acumulando en su interior la energía que reciben.

Los flujos de calor que se presentan en una edificación varían constantemente, siempre que las temperaturas interiores y exteriores sean diferentes, esta transferencia de energía no es instantánea pues, al aplicar calor a un muro la conducción de un lado al otro se apreciará en cierto tiempo, lo que depende de las características termo físicas del material. (Fuentes, 2001).

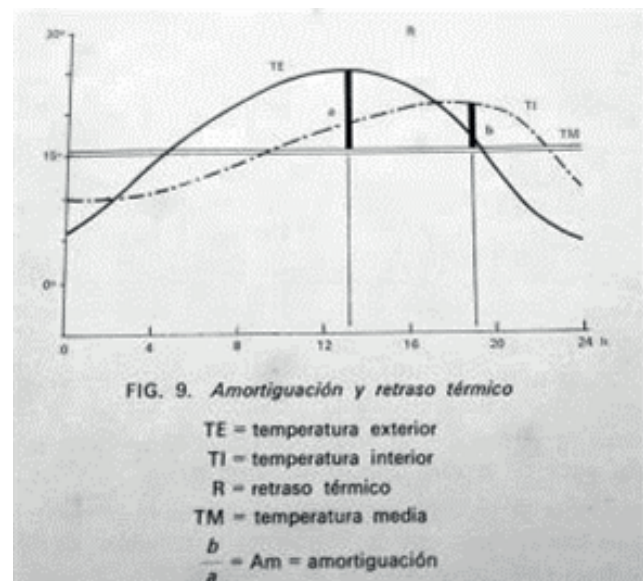
Dentro de la expresión “Inercia térmica” se deben entender estos conceptos:

- Retraso: es el tiempo transcurrido desde que la parte de calor absorbida por el muro llega a la cara opuesta

- Amortiguamiento: es la diferencia de energía que hay entre la cara expuesta del muro y la interior. (Climablock, 2000)

De manera gráfica se muestran cuando varían las temperaturas exteriores e interiores, las diferencias entre estas, nos brindarán la amortiguación, y el retraso térmico. Por eso se dice que si un material tiene más o menos inercia térmica, se refiere a cuanto mayor o menor es su amortiguación y retraso térmico. Se puede concluir que un material es mejor acumulador de calor, cuanto más baja es su retraso térmico. (Puppo & Puppo, 1972)

Figura 1. Retraso Térmico y Amortiguación



Fuente: (Puppo & Puppo 1972:85)

3. Objetivo de la experimentación

La presente investigación se enfoca en el análisis de las propiedades térmicas que tienen los bloques de tierra comprimida, para determinar el retraso térmico que presentan 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), block convencional y ladrillo.

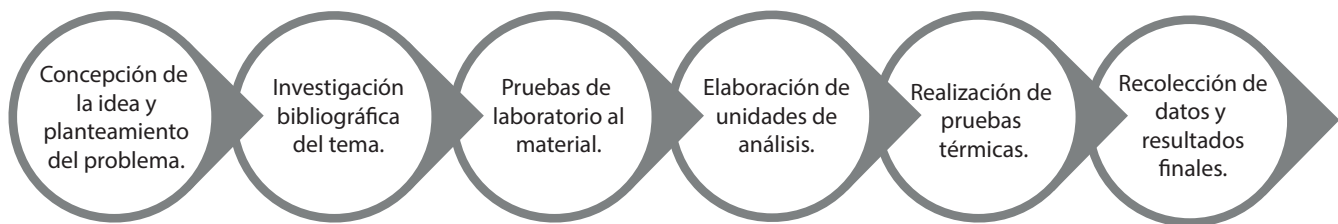
Los blocks y ladrillos empleados fueron brindados por el laboratorio de materiales de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Los bloques de tierra comprimidos se elaboraron en las insta-

laciones de la facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, contando con material disponible en la zona, la cantidad de bloques realizados fue en alcance a los recursos que fueron destinados para la investigación, su procedimiento constructivo fue en base a la información consultada bibliográficamente sobre este tema, apoyándose de normas mexicanas para la clasificación del suelo y análisis de propiedades mecánicas del mismo. 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.

4. Proceso de la prueba

El procedimiento que se empleó en esta investigación requirió de 6 fases generales de continuidad estricta, puesto que era necesario concluir con la actividad en curso antes de pasar a la siguiente fase. En el gráfico 1 se observan estas fases, y posteriormente se explica cada una de ellas.

Gráfico 1. fases de la Investigación



Fuente: elaboración propia. 2014

Por los alcances de esta investigación que se limita a analizar el comportamiento térmico de los muros de BTC, comparado con el de block de concreto y de ladrillo de barro cocido, se realizaron las pruebas de: Eades y Grimm, ensayo de compactación Proctor, límites de Atterberg y contracción lineal; todas estas pruebas en base a consultas bibliográficas y electrónicas que se hicieron para contar con un respaldo teórico de lo que se iba a realizar, ya que con estas pruebas se determinaron las características de los bloques que se elaboraron.

Tabla 1. Cuadro Resumen de Pruebas

Tipo de prueba	Norma oficial consultada	Resultados esperados
Eades y Grimm	ASTM D6276 - 99 ^a (2006)e1. (EUA)	Determinar el porcentaje óptimo de cal, para la estabilización de la tierra.
Prueba de compactación Proctor.	M-MMP-1-09-06 (México)	Permiten determinar la curva de compactación, con esta se infiere su masa vol. Seca máxima y su contenido de agua optimo.
Límites de Atterberg.	M-MMP-1-07-03 (México)	Con esta prueba se darán a conocer los límites líquidos y límites plásticos. Así determinar con que tipo de suelo se trata.
Contracción lineal.	NMX-C-416-0NNCCE (México)	Se conocerá el porcentaje de contracción lineal que tiene el suelo a estudiar.

Fuente: Elaboración propia. 2014

5. Resultados

Al concluir las pruebas de laboratorio, se prosiguió a la fase de fabricación de los BTC, las pruebas anteriores brindaron la pauta para conocer el tipo de suelo con el que se trabajaba, la cantidad de estabilizante adecuada y el contenido de humedad óptima. El resumen de los resultados es el siguiente:

Tabla 2. Cuadro Resumen de Resultados

Tipo de prueba	Resultado
Eades y Grimm	7% cal
Prueba de compactación Proctor.	peso volumétrico seco máximo es de: 1694 t/m ³ y el contenido de humedad óptimo es de un 15.8%
Límites de Atterberg.	CL (Arcilla de Baja Compresibilidad), Límite líquido=31% Límite plástico=23%
Contracción lineal.	Contracción promedio 1.55%

Fuente: Elaboración propia. 2014

Después se comenzó la fabricación de los BTC, el proceso requirió de equipo de laboratorio especializado la prensa empleada fue tipo Cinva-Ram. Una vez curados los BTC, se prosiguió a la elaboración de los muros usando: block concreto de (15x20x40cm), el ladrillo de barro recocido (6x12x24cm) y el BTC (10x14x29cm). Se construyeron: dos muros sencillos de BTC sin revoque, dos muros sencillos de BTC con revoque de cal, un muro doble con revoque de cal y arena 4:1, un muro doble sin revoque, un muro de ladrillo de barro cocido y un muro de block convencional; para ser un total de ocho muros a probar, con unas dimensiones aproximadas de 40x40 cm. El mortero usado fue de 1:1/2:3 cemento, cal y arena.

Figura 2. Bloques Elaborados



Fuente: Elaboración propia. 2013

La prueba consistió en el análisis de las temperaturas registradas en ambas caras de los muros donde se colocaron 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. y se registraron las temperaturas en ambas caras del muro. Para la recolección los resultados se utilizó el software HOBOWare U-12, el cual fue programado para tomar la temperatura a cada intervalo de 15 min por ambas caras durante ocho horas, después se graficaron los datos para poder apreciar el retraso térmico de los muros y así comprobar o rechazar la hipótesis.

En la tabla 3: se muestra un resumen de las máximas temperaturas que alcanzan los muros de los diferentes materiales, además de mostrar el retardo que hubo, es decir, cuanto tiempo transcurrió desde el momento en que se registraron las temperaturas máximas en cada lado del muro, lo cual es el retraso térmico.

Tabla 3. Tiempo Retardado y Factor de Reducción

Tipo de muro	Temperatura máxima		Tiempo de retardo Térmico	Factor de Reducción $\mu = \frac{T_i \max}{T_o \max}$
	Lado de muro			
	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	1:15 h	1.840
BTC revoque 2	55.021	30.444	1:30 h	1.807
BTC doble con revoque	55.56	25.695	4:15 h	2.162
BTC doble sin revoque	60.918	26.671	4:15 h	2.28
Ladrillo de barro cocido.	58.776	37.645	0:30 h	1.561
Block	64.838	34.387	0:30 h	1.886

Fuente: Elaboración propia. 2014

Figura 3. Fotografía Previa al Inicio de la Prueba



Fuente: Elaboración propia. 2014

Figura 4. Fotografía Durante la Prueba



Fuente: Elaboración propia. 2014

Después de probar los ocho muros y analizar los datos, se elaboraron las siguientes gráficas con las cuales de manera gráfica se observa el retraso térmico de cada muro.

Para poder calcular el retardo térmico se graficaron las temperaturas de cada uno de los muros que se registraron durante ocho (8) horas, tomándose el registro cada 15 minutos. De esta manera, se muestran las variaciones de temperatura en cada caso y el tiempo que demora en pasar la energía de un lado del muro al otro.

Las gráficas corresponden a los ocho (8) muros probados, se muestran dos curvas que representan al lado expuesto a la fuente de calor, que es la placa de focos y el lado opuesto: Se señala el punto donde se alcanzó la temperatura máxima en cada lado del muro.

Gráfico 2: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 1

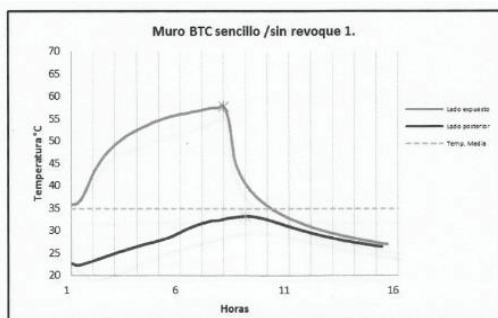


Gráfico 3: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 2

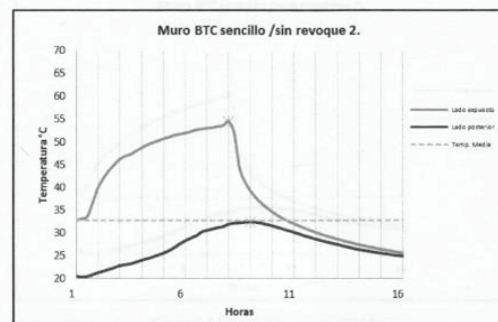


Gráfico 4: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 3

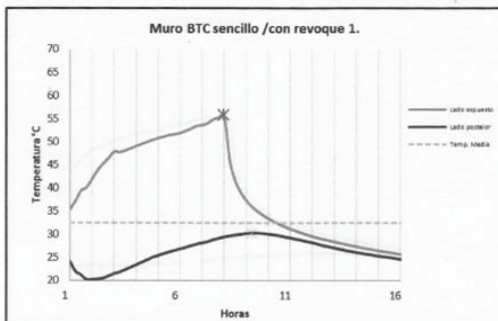
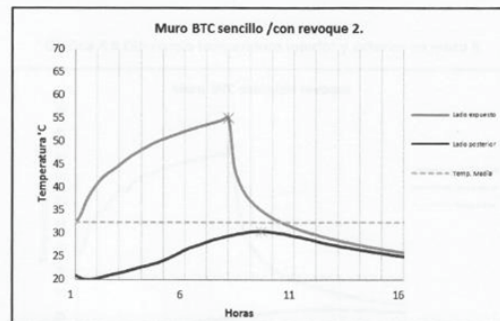


Gráfico 5: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 4



Fuente. Elaboración Propia 2014

Fuente. Elaboración Propia 2014

Gráfico 6: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 5

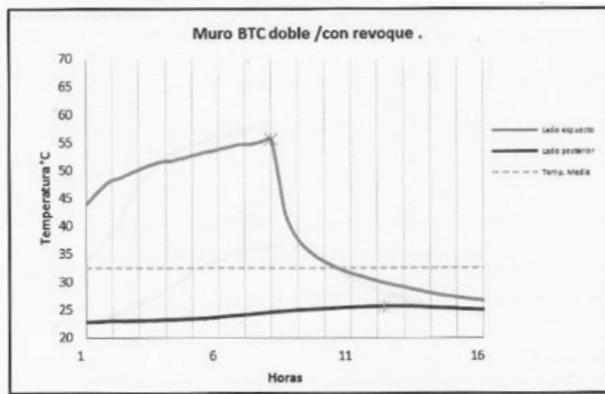


Gráfico 7: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 6

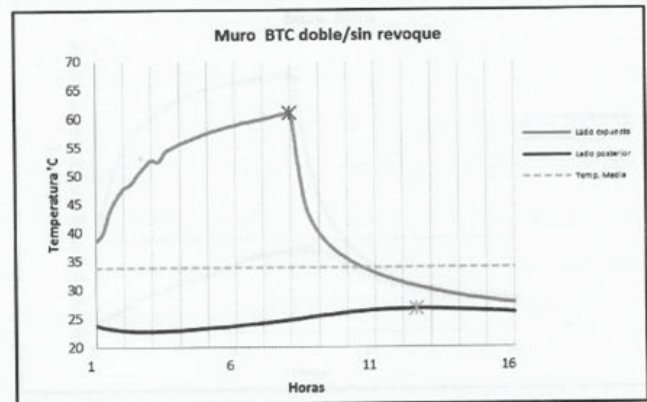
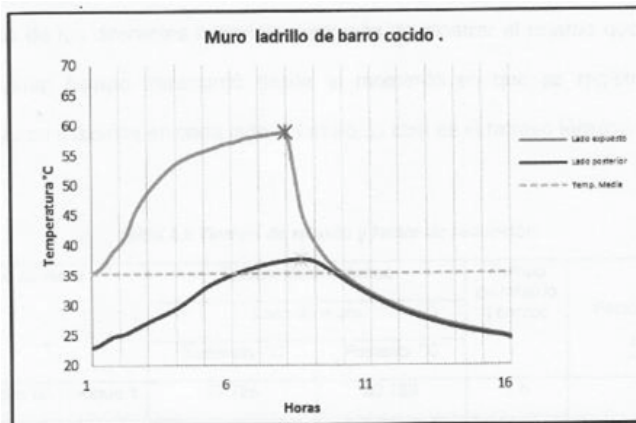
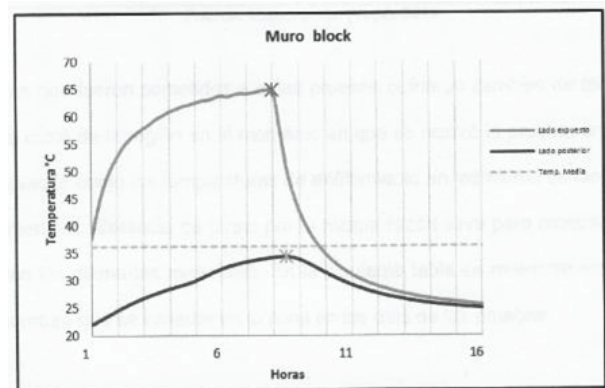


Gráfico 8: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 7



Fuente. Elaboración Propia 2014

Gráfico 9: Diferencia de temperaturas interior y exterior en muro 8

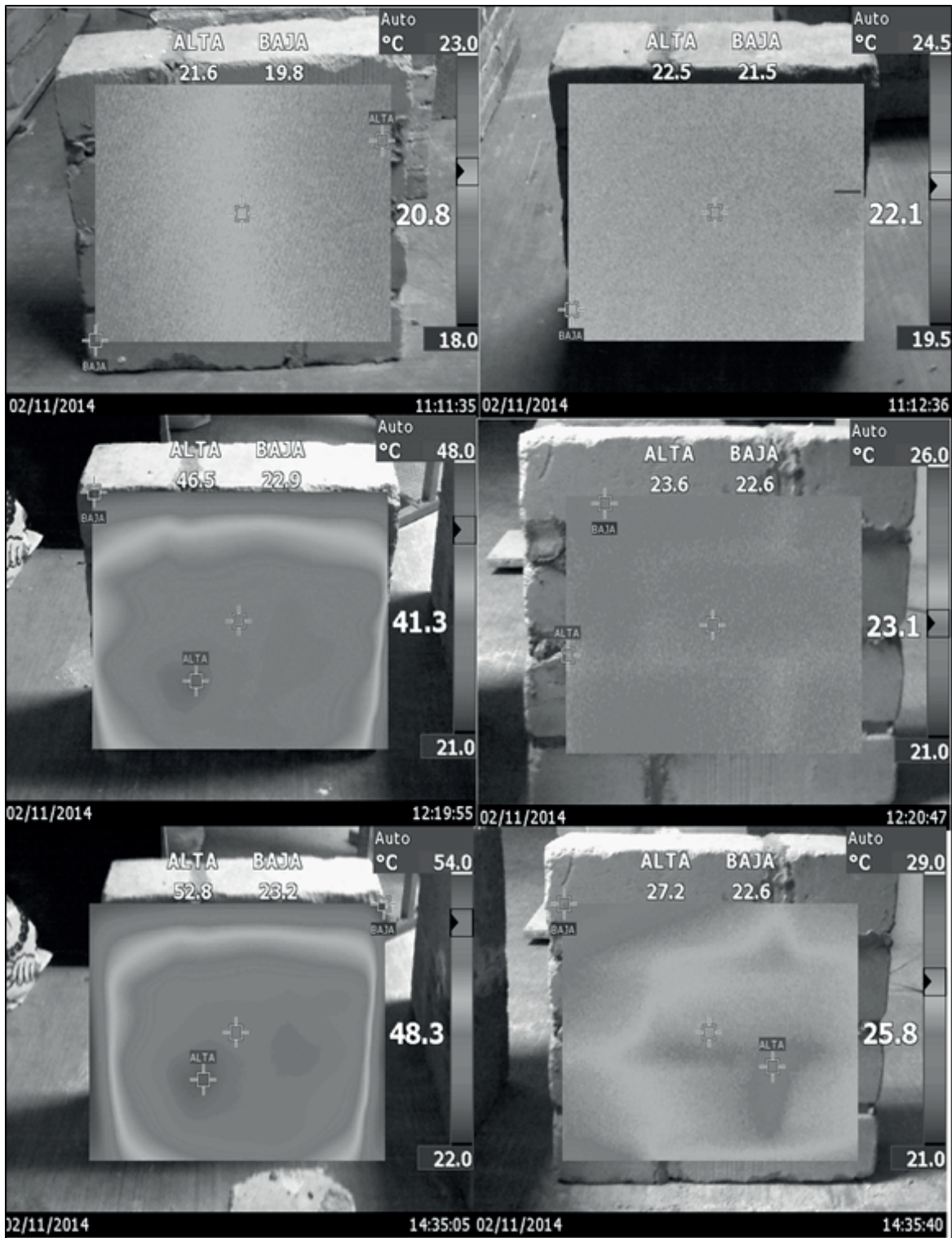


Fuente. Elaboración Propia 2014

Al concluir con la recolección de datos con el software, se tomaron fotografías termo gráficas con la cámara: FLUKE Ti- Series, con está se captó el cambio de temperatura en las caras de los muros y así determinar la manera en la que la energía es conducida a través de el material.

Las figuras siguientes muestran el momento en el que los muros comienzan a absorber el calor, se muestran las fotografías en los muros. Se observa las variaciones de calor y marca las temperaturas máximas y mínimas de acuerdo a la tonalidad de la imagen, en cada imagen se muestra primero la fotografía al iniciar la prueba, es decir previo al encendido de los focos, la segunda fila son imágenes tomadas aproximadamente una hora después y por último fotografías tomadas aproximadamente tres horas después, para que se aprecie la elevación de temperatura que ocurre en el lado opuesto del muro.

Figura 5. Fotografías Termográficas a BTC Sencillo sin Revoque



Fuente: Elaboración propia. 2014

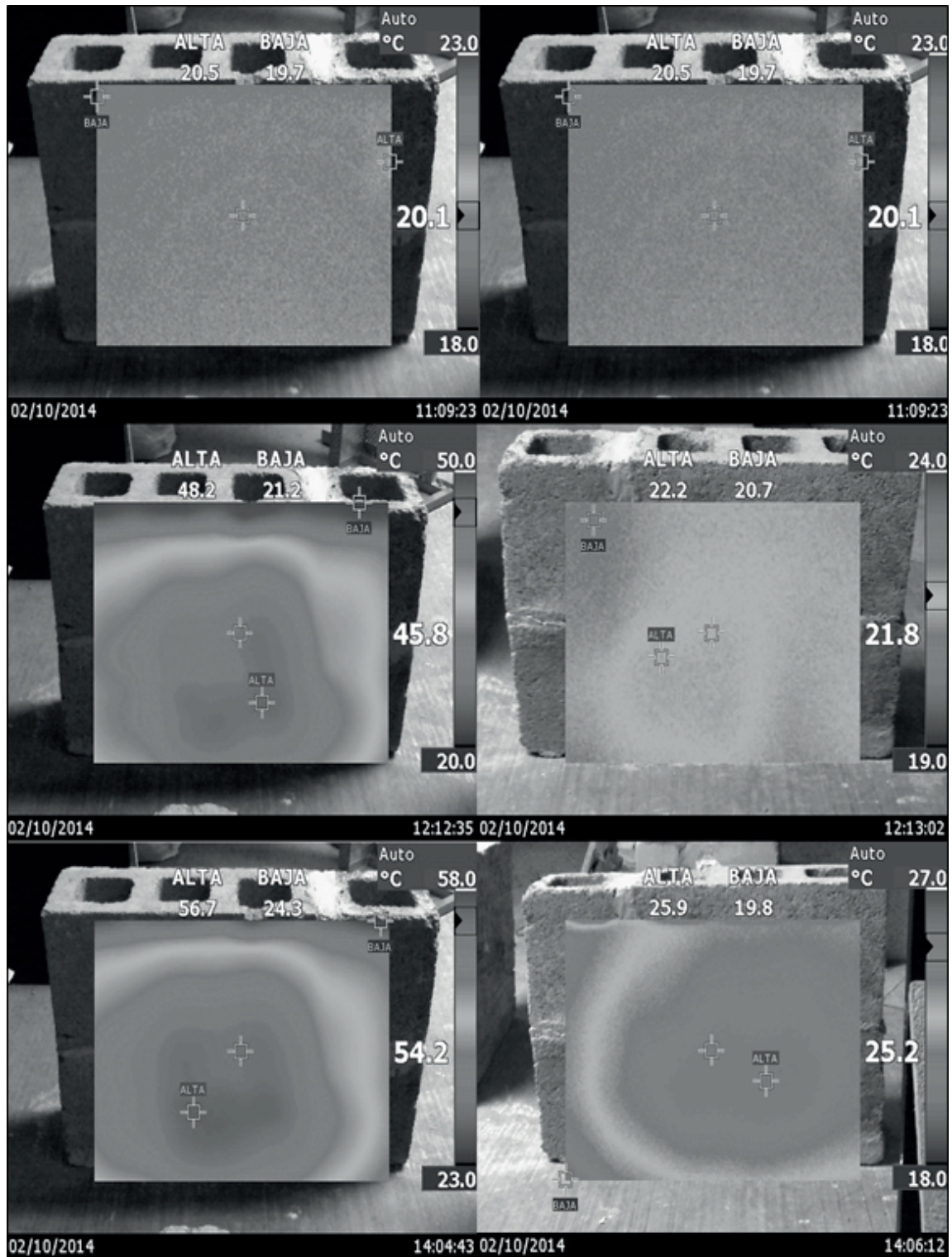
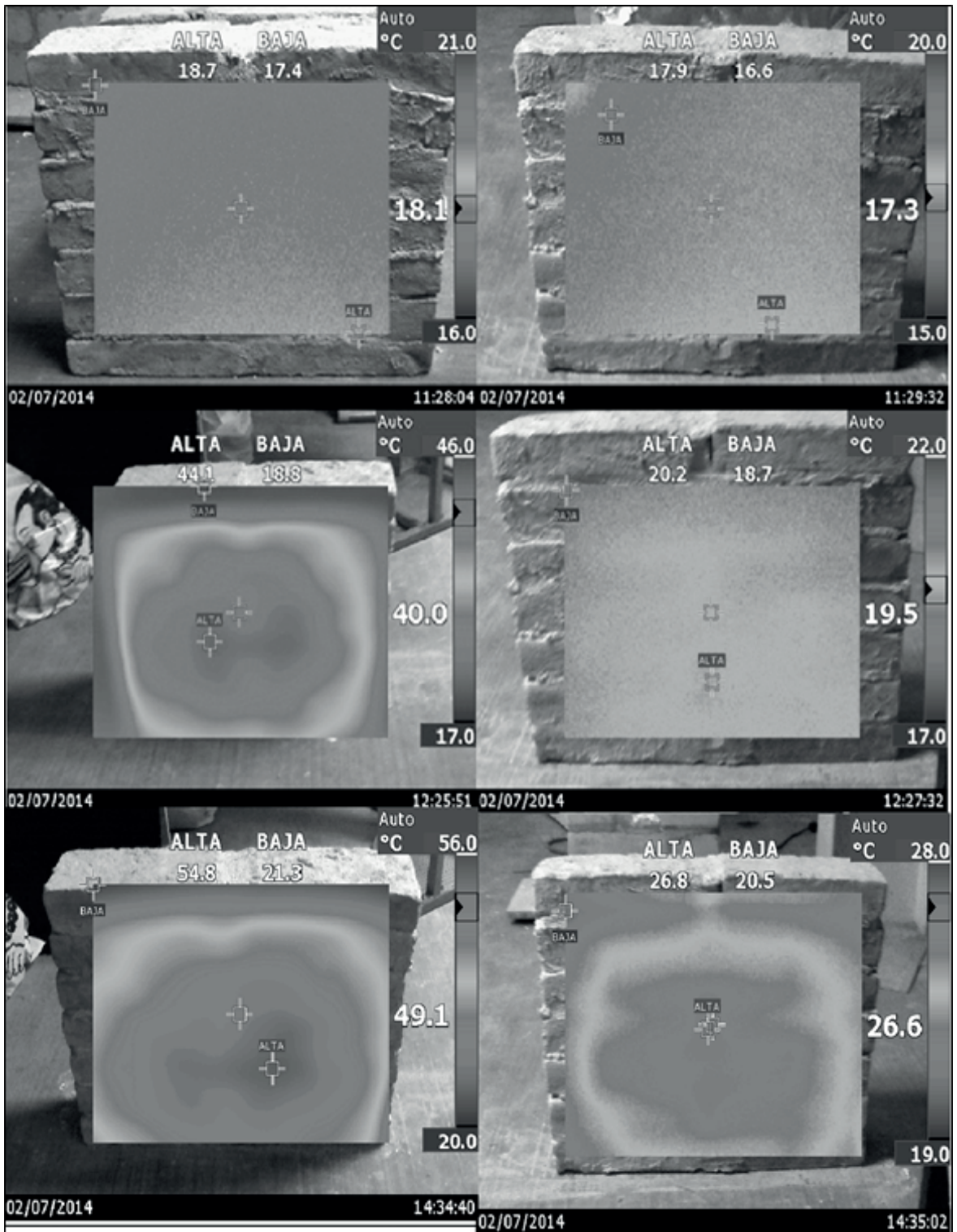


FIGURA 6. FOTOGRAFÍA TERMO GRÁFICAS A MURO DE BLOCK.

Fuente: Elaboración propia. 2014

Figura 6. Fotografías Termográficas a Muro de Ladrillo Barro Cocido



Fuente: Elaboración propia. 2014

6. Conclusión.

El uso de la tierra como material de construcción es una técnica que ha sido retomada después de décadas de abandono, al considerarse como una técnica constructiva artesanal y tradicional no contándose con respaldos de estudios técnicos sobre su comportamiento en comparación con los materiales convencionales, es por eso la importancia del presente estudio al estudiar las características térmicas de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), que permitió el cálculo del retraso térmico de un muro fabricado con dicho material y hacer la comparación con muros fabricados con materiales convencionales.

Retomando la hipótesis de la investigación la cual trata de comprobar que un BTC tiene la capacidad de regular la temperatura en el interior de la vivienda, por lo tanto presenta ventajas comparado con el bloque convencional utilizado en la construcción; se obtuvieron resultados que comprueban que los BTC mejoran la sensación de confort térmico en el interior de las viviendas, considerablemente mejor que el block de concreto y el ladrillo cocido puesto que mostró un mayor retraso térmico que estos; Así se prueba que a lo largo de el día el BTC presentará una temperatura menor en el exterior del muro, tanto como en el interior de la vivienda al ser expuesto a una fuente de calor que los otros materiales probados.

Como conclusión final, se comprobó que con muros de BTC que pueden conformar una vivienda resultará mas fresca en verano y mas caliente en invierno, debido a las propiedades de este material, además de consumir menos recursos energéticos debido a que es un material de origen natural y no requiere de un proceso de industrialización, solo el agregado de estabilizante de acuerdo a las necesidades de el suelo empleado, es por eso que al reintegrarlo a la naturaleza el impacto que tiene sobre esta es mínimo. También tiene como ventaja económica

el ahorro en el acondicionamiento de la vivienda ya que emplearía ventilación natural, en comparación con los otros materiales debido al paso del calor más rápido que presentan el ladrillo y el block.

Referencias bibliográficas

Neves, C. (2007), *Arquitectura y construcción con tierra: Pasado, hoy y futuro*. En: García Izaguirre, V. M., Roux Gutiérrez, R. S; et al. (Edits.). *Anuario de investigación de construcción con tierra y del diseño sustentable*. Editorial Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.

De Oteiza, I. (2002), *Introducción a la construcción con tierra*. En: Maldonado Ramos, L. & Rivera Gómez, D; et al. (Edits.). *Arquitectura y construcción con tierra*. Editorial Mairea libros. España.

Auroville Earth Institute (2004), *Building with earth*. Recuperado: 21 de Septiembre de 2013 en: <http://www.earth-auroville.com/index.php>

Aranda Jiménez Y.G & Fuentes Pérez, C.A. (2007), *Bloques de tierra comprimida*. En: García Izaguirre, V. M., Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mujica, J. A., Pier Castello, M. L. (Comps.). *Anuario de investigación de construcción con tierra y del diseño sustentable*. Editorial Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.

Fuentes Frexainet V.A (2001), *Arquitectura bioclimática*. Editorial UAM colaboración con Limusa. México.

García Casals, X. (2003), Análisis tecnico-economico y de sustentabilidad (embodied energy) del BTC como solución bioconstructiva de Madrid. Universidad Pontificia Comillas Madrid. Madrid

Goulart, S. V. (2004), Thermal Inertia and natural ventilation-Optimisation of thermal storage as cooling technique for residential buildings in Southern Brazil. Tesis para obtener título de doctor en filosofía .Reino Unido: Open University: Architectural Association School of Architecture, Graduate School.

Gálvez Huerta, M.A. (2002), *Bioclimatismo y construcción con tierra en la obra de Hassan Fathy: El ejemplo de Nueva Gourná*. En: Maldonado Ramos, L. & Rivera Gómez, et al. (Edits.). *Arquitectura y construcción con tierra*. Editorial Mairea libros. España.

IMCYC (2009), El concreto en la obra, problemas, causas y soluciones. México. Recuperado el 10 de diciembre del 2013 en:
<http://www.imcyc.com/revistacyt/images/problemas/2009/pdf/NOVIEMBRE.pdf>

IMT (2003), *Métodos de muestreo y prueba de materiales. Parte 1.Suelos y materiales para terracerías. Límites de consistencia*. México. Recuperado el 10 de diciembre del 2013 en: <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-07-03.pdf>

IMT (2006), *Métodos de muestreo y prueba de materiales. Parte 1.Suelos y materiales para terracerías. Compactación AASHTO*. México. Recuperado el 10 de diciembre del 2013 en: <http://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-1-09-06.pdf>

Puppo, E., & Puppo, G. A. (1972). *Acondicionamiento natural y arquitectura*. Editorial MARCOMBO S.A de C.V. España.

