

4.6 Análisis de retraso térmico de bloques de tierra comprimida. Rubén Salvador Roux Gutiérrez/ Diana Patricia Gallegos Sánchez

Rubén Salvador Roux Gutiérrez 1, Diana Patricia Gallegos Sánchez 2
1 Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Coahuila. rroux33@hotmail.com
2 Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, dianna_gallegos@hotmail.com

Palabras clave: BTC, retraso térmico, construcción con tierra.

Resumen

La presente ponencia es el resultado de la investigación que aborda el tema las propiedades térmicas de los Bloques de Tierra Comprimida (BTC), con la finalidad de corroborar las ventajas de este material de construcción alternativo, sobre los materiales convencionales, por otro lado se busca comprobar que estos nuevos materiales pueden satisfacer las necesidades de la población para la construcción de sus viviendas de manera adecuada, mejorando la calidad de vida del usuario y produciendo un menor impacto ambiental, por eso se plantea el uso de BTC como unidad de análisis, elaborado con material de la zona del sur de Tamaulipas para probar sus ventajas como regulador natural de temperatura contra el bloque de concreto y el ladrillo recocido de la región, que son más empleados en el ámbito de la construcción de viviendas. Las pruebas térmicas realizadas consistieron en colocar una fuente de calor que simulara el efecto del sol sobre un muro, con las temperaturas registradas durante la prueba se graficaron y se determinó el retraso térmico en los muros dependiendo del material. Además se empleó una cámara termográfica para apreciar la manera en la que el calor va incrementando la temperatura del muro en la cara expuesta a la fuente de calor y en la posterior. Como los resultados de las pruebas se determinó cual es el material óptimo para emplear como envolvente de la vivienda, no solo por las características nobles de la tierra con el ambiente, sino por el confort térmico que se obtiene dentro de la vivienda, lo cual también reduce el costo de energía.

1. INTRODUCCION

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.

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.

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.

La construcción es el sector productivo que más 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.

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 puntualiza 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 son 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 está 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 (Gameros, 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 evapora 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).

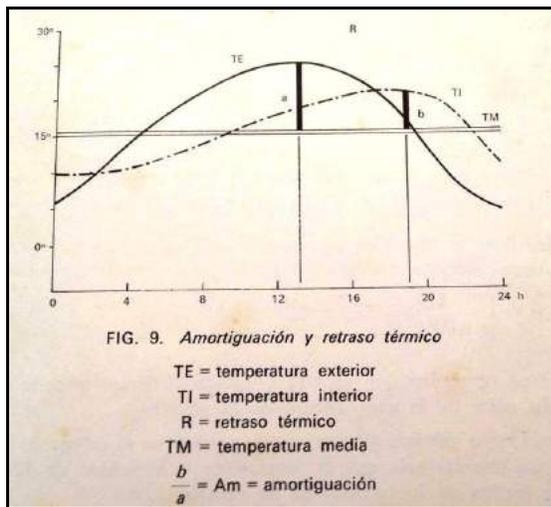


Figura 1. Retraso térmico y amortiguación. Fuente: (Puppo; Puppo 1972:85)

En la investigación realizada, son estas características térmicas lo que se evaluó. Para poder comprender mejor las propiedades termo físicas relacionadas con estos

2. ESTRATEGIA METODOLÓGICA

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), bloque de concreto convencional y ladrillo. Los bloques de concreto 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 instalaciones de la facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, contando con

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 $W/m \times K$.
- Calor específico (c): Se define como la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa, elevando su temperatura en una unidad. Se expresa en $J/kg \times K$.
- Densidad (ρ): Cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Se expresa en kg/m^3 .

Miguel Ángel 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 (Clima Block, 2000).

De manera gráfica en la figura 1 se muestran cuando varían las temperaturas exteriores e interiores, las diferencias entre estas resultan en 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).

material disponible en la zona, la cantidad de BTC 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.

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 la figura 2 se observan estas fases, y posteriormente se explica cada una de ellas.



Figura 2. 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 bloque convencional 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, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Cuadro resumen de pruebas. Fuente: Elaboración propia, 2014.

TIPO DE PRUEBA	NORMA OFICIAL CONSULTADA	RESULTADOS ESPERADOS
Eades y Grimm	ASTM D6276 – 99A (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 óptimo
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 qué 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

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

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 ese muestra en la tabla 2 siguiente:

Tabla 2 Resumen de resultados. Fuente: Elaboración propia, 2014

TIPO DE PRUEBA	RESULTADO
Eades y Grimm	7% cal
Prueba de compactación Proctor	peso volumétrico seco máximo es de: 1694 kg/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%

Después se comenzó la fabricación de los BTC (figura 3), el proceso requirió de equipo de laboratorio especializado la prensa empleada fue tipo Cinv-a-Ram. Una vez curados los BTC, se prosiguió a la elaboración de los muros usando: bloque concreto de (15x20x40) cm, el ladrillo de barro recocido (6x12x24) cm y el BTC (10x14x29) cm. 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 bloque convencional; para ser un total de ocho muros a probar, con unas dimensiones aproximadas de 40 cm x 40 cm. El mortero usado fue de 1:1/2:3 cemento, cal y arena.

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 (figuras 4). 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.



Figura 3. Bloques elaborados. Fuente: elaboración propia, 2013



Figuras 4 Fotografía previa al inicio de la prueba. Fotografía durante la prueba. Fuente: Elaboración propia, 2014

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 de retardo y factor de reducción. Fuente: Elaboración propia, 2014

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
Bloque de concreto	64,838	34,387	0:30 h	1,886

Al concluir con la recolección de datos con el software, se tomaron fotografías termo gráficas ver figuras con la cámara: FLUKE Ti- Series, con esta 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 del material.

Las figuras 5, 6 y 7 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.

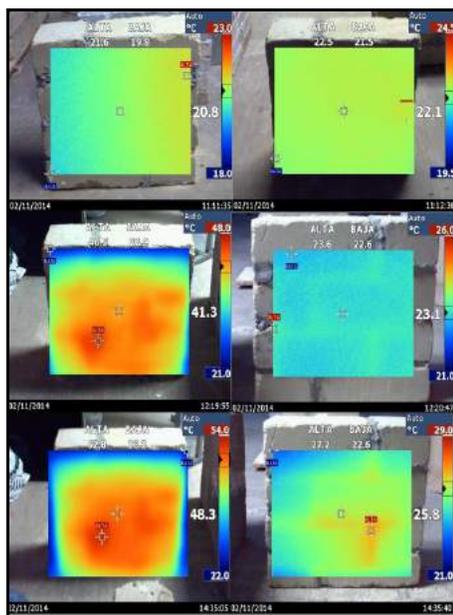


Figura 5. Fotografías termo gráficas a BTC sencillo sin revoque. Fuente: Elaboración propia, 2014

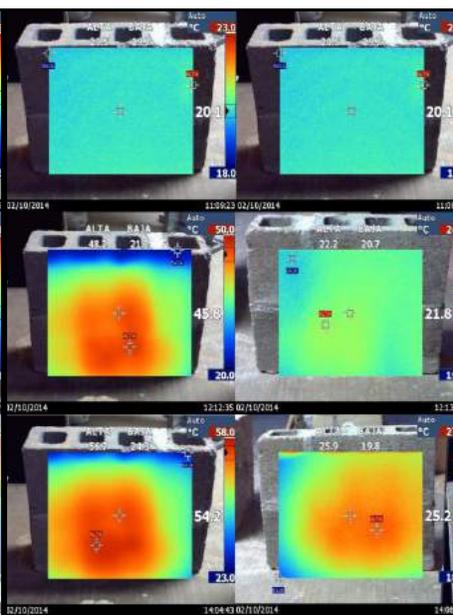


Figura 6. Fotografías termo gráficas a muro de bloques de concreto. Fuente: Elaboración propia, 2014

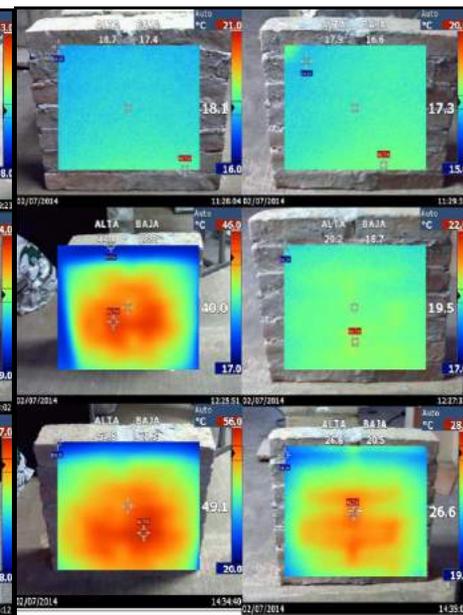


Figura 7. Fotografías termo gráficas a muro de ladrillo barro cocido. Fuente: Elaboración propia, 2014

4. CONCLUSIÓN

Retomando la hipótesis de la investigación la cual trata de comprobar que un bloque de tierra comprimida (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 actualmente; los resultados comprueban que los BTC

mejoran la sensación de confort térmico en el interior de las viviendas, considerablemente mejor que el bloque de concreto y el ladrillo, puesto que mostró un mayor retraso térmico que estos; Se comprobó que a lo largo del día el BTC presenta una temperatura menor en el exterior del muro, tanto como en el interior de la vivienda, al ser

expuesto a una fuente de calor, a diferencia de los otros materiales probados.

Como conclusión final, se puede inferir que la construcción de muros con BTC en una vivienda, dará como resultado que esta sea más fresca en verano y más caliente en invierno, debido a las propiedades aislantes de este material, además con el beneficio de consumir menos recursos energéticos incorporados, debido a que es un material de origen natural y no requiere de un

proceso de industrialización, solo el uso de un estabilizante de acuerdo a las características del suelo empleado, es por eso que al reintegrarlo a la naturaleza el impacto que tiene es mínimo. También tiene como ventaja económica el ahorro en el acondicionamiento de la vivienda ya que solo se necesitaría utilizar ventilación natural, en comparación con los otros materiales, que debido al paso del calor más rápido en el ladrillo y el bloque de concreto, requieren de climatización artificial para lograr el confort en la vivienda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society for Testing and Materials (2006). ASTM D6276 – 99ª (2006) e1. Standard test method for using pH to estimate the soil-lime proportion requirement for soil stabilization.
- Aranda Jiménez, Yolanda G.; Fuentes Pérez, Carlos 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.
- Auroville Earth Institute (2004), Building with earth. Recuperado: 21 de Septiembre de 2013 en: <http://www.earth-auroville.com/index.php>
- Clima Block (2000). Construcción sostenible. España. Recuperado el miércoles, 12 de febrero de 2014 de: <http://www.climablock.com/Construccion%20Sostenible-02.06-Inercia-termica-Bloque-aislante.htm>
- De Oteiza, I. (2002) Introducción a la construcción con tierra. En: Maldonado Ramos, L.; Rivera Gómez, D; Vela Cossio, F. (Edits.). Arquitectura y construcción con tierra. Editorial Maira libros. España.
- Fuentes Frexainet, V. A. (2001). Arquitectura bioclimática. Editorial UAM colaboración con Limusa. México.
- Gálvez Huerta, M. A. (2002). Bioclimatismo y construcción con tierra en la obra de Hassan Fathy: El ejemplo de Nueva Gouna. En: Maldonado Ramos, L.; Rivera Gómez, D.; Vela Cossio, F. (Edits.). Arquitectura y construcción con tierra. Editorial Maira libros. España.
- Gameros González, G. (2007). Agua encapsulada como amortiguador térmico sobre losas de concreto. Tesis para obtener el grado de Maestría en Arquitectura. Universidad de Colima, Facultad de Arquitectura y Diseño. México.
- García Casals, X. (2003). Análisis técnico-económico 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.
- Instituto Mexicano del Transporte. IMT (2003). M-MMP-1-07-03. 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>
- Instituto Mexicano del Transporte. IMT (2006) M-MMP-1-09-06. 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>
- Mc Henry, P. G. (2004). Adobe, como construir fácilmente. Editorial Trillas. México.
- Minke, G. (2005). Manual de construcción con tierra, La tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura. Uruguay: Editorial fin de siglo.
- Neves, Celia. (2007) Arquitectura y construcción con tierra: Pasado, hoy y futuro. En: García Izaguirre, V. M., Roux Gutiérrez, R. S., Espuna Mujica, J. A., Pier Castello, M. L. (Edits.). Anuario de investigación de construcción con tierra y del diseño sustentable. Editorial Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación. ONNCCE (2003). NM X-C-416. Industria de la construcción - Muestreo de estructuras terreas y métodos de prueba.
- Puppo, E.; Puppo, G. A. (1972). Acondicionamiento natural y arquitectura. Editorial MARCOMBO S.A de C.V. España.
- Roux Gutiérrez, R. S. (Ed.). (2005). Memorias 1º congreso-taller internacional para normalización de la arquitectura de tierra. Editorial Universidad Autónoma de Tamaulipas. México.

AUTORES

Rubén Salvador Roux Gutiérrez, Arquitecto por la Universidad Autónoma de Tamaulipas, Maestro en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Tamaulipas y Doctor en Arquitectura por la Universidad de Sevilla, miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I, catedrático investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Coahuila, Unidad Saltillo

Diana Patricia Gallegos Sánchez, Ing. Civil en la Facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (2009-2013), servicio social en el departamento de posgrado de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Tamaulipas en proyectos de cambio climático (2012). Examen profesional presentado el 7 de abril del 2014.