

ARQUITECTURA CONTEMPORÁNEA EN TIERRA Y SUSTENTABILIDAD

2.1 Análisis experimental para determinar la productividad térmica en la tierra vertida. Yolanda G. Aranda J./Edgardo J. Suárez Domínguez

Yolanda G. Aranda J.¹, Edgardo J. Suárez Domínguez²

Universidad Autónoma de Tamaulipas, Mexican Institute of Complex systems.

¹yoli212@yahoo.com.mx, ²sd@mics.edu.mx

Palabras clave: conductividad, difusividad térmica, tierra vertida.

Resumen

A partir del proyecto de investigación denominado: Vivienda Experimental Sustentable financiado por COTACYT (Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología) el cual utiliza como sistema constructivo muros de tierra vertida, una vez terminado, se inicia el monitoreo térmico. El sistema de muros de carga a base de tierra vertida ha sido poco estudiado en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, por lo que determinar su capacidad de conductividad térmica es uno de los factores que permitirán seguir conociendo las propiedades de dicha técnica.

El presente trabajo describe y analiza, a partir de un experimento diseñado para tal efecto, la conductividad térmica de los muros de tierra vertida de 25 cm de ancho del prototipo. Se determinó la variación temporal de la temperatura interior y exterior de los muros en diversas zonas, incluyendo la losa, y se realizó una correlación entre los valores encontrados. Se encontró que aún cuando los muros así como la losa tienen diversos espesores pueden tener una temperatura interior similar debido a un mecanismo de convección-conducción aún cuando experimentalmente, la difusividad y conductividad térmica en el material es bajo en comparación con otros materiales, como el hormigón y el ladrillo.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el déficit de vivienda en México ha llevado a la creación de diversos programas de apoyo hacia la población de menores recursos, sin embargo, diversos sectores de la población difícilmente tienen acceso a los mismos. En diversas poblaciones de nivel bajo del estado de Tamaulipas y el país entero recurren a la edificación vernácula, predominando la madera y palma, aunque en ocasiones es combinada con otros materiales como cimentaciones simples de piedra o de concreto y estructuras a base de lámina galvanizada o de cartón. La construcción con tierra, a base de adobe, es común en

diversos estados del país y ha mostrado durabilidades razonables para ser utilizadas por las poblaciones (Bui et al, 2009).

En el presente trabajo se analizó en el prototipo mencionado, la transferencia de calor a través de los muros. En la segunda parte se explica cómo se realizó el estudio incluyendo los experimentos a nivel laboratorio y por último los resultados y discusión empezando por las pruebas de laboratorio, se finaliza con las conclusiones respectivas.

2. MARCO TEORICO

La tierra vertida es una técnica constructiva cuyos materiales principales son suelo arcilloso con agregados pétreos (Houben; Guillard, 1994) y en algunos casos cemento que estabiliza la mezcla, sin embargo es poco conocida así como sus propiedades. Existen algunos estudios que demuestran una aceptable resistencia a la compresión, así como características físicas que difieren del adobe tradicional, principalmente su impermeabilidad. Sin embargo, es poca la información existente en la construcción sobre tierra vertida, predominando los estudios empíricos (Suárez-Domínguez et al, 2013) que se han extendido a diversas áreas, como por ejemplo los análisis de resistencia y efecto de sismos en estructuras existentes (Morris et al, 2010).

El estudio térmico, es un área dentro de la arquitectura, de importancia relevante por su relación con el confort. Aun cuando materiales como la madera presentan ciertas ventajas en cuanto transferencia de calor (Salinas et al, 2004) se cree que los materiales de tierra tienen menor

conductividad del calor (Doat et al, 2004) en comparación con el concreto, que presenta coeficientes de transferencia de calor elevados (Gea et al, 2009). Sólo se han realizado algunos modelos aplicados al tapial (Hall; Allinson, 2010) y experimentos aplicados al adobe (Revuelta-Acosta et al, 2010).

El prototipo de vivienda fue construido de acuerdo a la planta mostrada en la figura 1. La tierra vertida se obtuvo a partir de suelo denominado champayan proveniente del banco del mismo nombre de la ciudad de Tampico, Tamaulipas, México, compuesto, según análisis de suelo por 2.5% arcilla, 18% limo, 79.5% arena, y agregados gruesos (rocas) de buena calidad compuestas por sulfatos cálcicos, estabilizado con cemento al 6%. Los muros tuvieron un espesor de 25 cm mientras que la losa se construyó con bambú recubierto con concreto aligerado y de 8 cm de espesor. Este prototipo formó parte de un proyecto apoyado por el Consejo Tamaulipeco de Ciencia y Tecnología (Aranda-Jiménez et al, 2012).

2. METODOLOGIA

2.1 De las mediciones para corroborar experimento.

Se registró la temperatura durante 9 meses. Para efectos del presente trabajo, se presenta el monitoreo del mes de agosto, por ser estadísticamente el más caluroso. En la figura 1 se muestran los puntos donde se midió la

temperatura superficial interior y exterior de los elementos verticales y de la losa para lo cual se utilizó un equipo de tipo Data-logger marca HobboOn set Modelo U-12 con entrada de termopares.

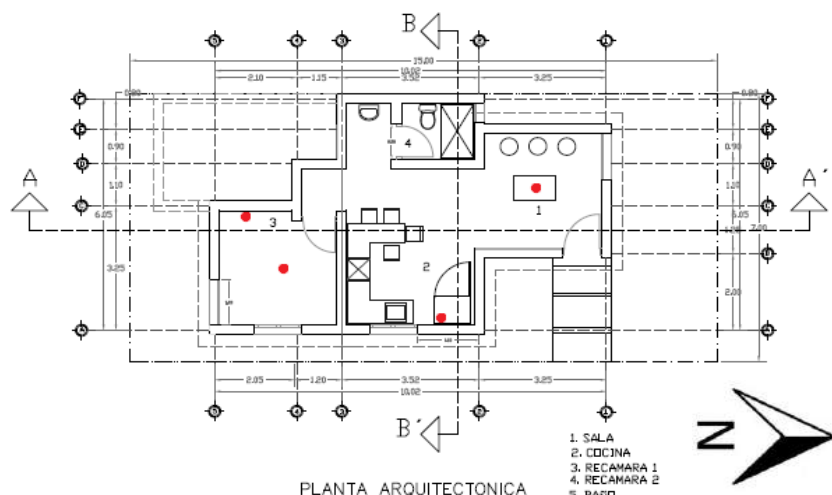


Figura 1 –

Planta de la vivienda fabricada con tierra vertida. Los puntos indican la posición de los hobbos para medición de temperatura, los puntos al centro son de la losa y los pegados a los muros miden esa temperatura.

2.2 Del experimento de conductividad térmica

Durante la fase constructiva del prototipo se tomaron muestras de los muros por medio de cilindros de acuerdo a la norma NMX-C-404-ONNCCE-2005, y se determinó la densidad a partir de la norma NMX-C-126-1982. Los cilindros se recubrieron con poliestireno expandido para evitar la transferencia de calor hacia el exterior y se

colocó una fuente de calor a 42°C en la cara del mismo, midiendo la temperatura en diversos puntos. Para determinar la conductividad térmica de los muros se utilizó un equipo medidor de difusividad térmica modelo: KD2 Pro Thermal Properties Analyzer de la marca Decagon Devices, inc.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Pruebas de laboratorio.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que experimentalmente el material tuvo una conductividad térmica $k = 0,814 \pm 0,049 \text{ W} \times \text{K}^{-1} \times \text{m}^{-1}$ a una temperatura de 29°C. Puede notarse en primera instancia que la conductividad térmica es menor a la reportada para otros materiales como el concreto $k = 0,930 \text{ W} \times \text{K}^{-1} \times \text{m}^{-1}$ y el ladrillo de sílice $k = 1,070 \text{ W} \times \text{K}^{-1} \times \text{m}^{-1}$ aunque es superior al yeso y bloques huecos con valores en derredor de $k =$

$0,391 \text{ W} \times \text{K}^{-1} \times \text{m}^{-1}$ (Lira-Cortés et al, 2008), estos últimos generalmente presentan baja resistencia. En cuanto a la densidad del material se tuvo que fue de $\rho = 1,89 \pm 0,09 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$. Se sabe que la densidad aproximada del concreto es de $2,35 \text{ g} \times \text{cm}^{-3}$. Con estos dos valores puede inferirse que es probable que la densidad del material pueda probablemente impactar en la transferencia de calor.

3.2 Pruebas de temperatura en cilindros

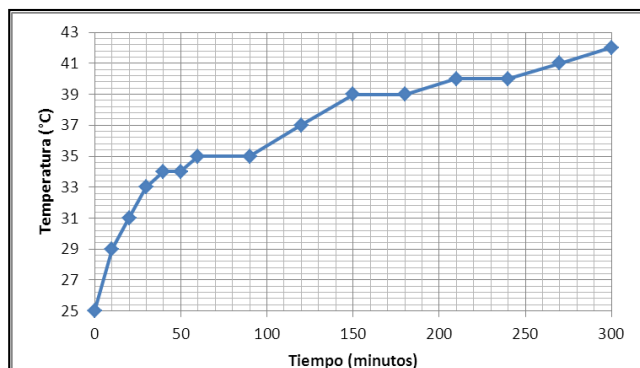


Figura 2 – Estudio temporal para la variación de la temperatura con respecto al tiempo cuando una de las caras del sólido se encuentra a

Para observar el comportamiento de los cilindros, se tomó la temperatura del cilindro a 10 cm de la base del mismo, donde se localizó la fuente de calor.

En la figura 2 se muestran los resultados para la fuente de calor de 42°C. En la figura 2 puede observarse que son necesarias 5 horas para alcanzarse el equilibrio térmico con la misma fuente de calor.

El comportamiento es exponencial, sin embargo se nota un comportamiento recto los primeros 60 minutos.

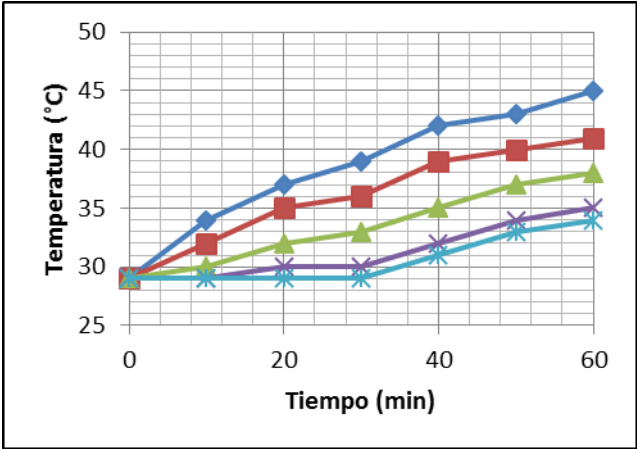
Para visualizar mejor el efecto al inicio, se realizó un segundo experimento, pero con 60°C en la fuente de calor y censando la temperatura a los 1, 3, 5, 7 y 10 centímetros de distancia a la base de la fuente de calor.

En la figura 3 se muestran los resultados obtenidos. Las curvas corresponden de arriba abajo a 1, 3, 5, 7 y 10 cm respectivamente.

Distancias (cm)	a	b	r ²
10	0,2536	30,821	0,9591
7	0,2000	30,000	0,9655
5	0,1571	28,714	0,9919
3	0,1071	28,071	0,9073
1	0,0893	27,893	0,8054

Figura3 – Izquierda: comportamiento experimental de la variación temporal de la temperatura (para los primeros 60 min) cuando una de las caras se encuentra a 60°C. Derecha: valores de a y b para la línea de tendencia para cada curva mostrada a la izquierda.

Se distingue un comportamiento casi recto mientras mayor sea la distancia censada a lo largo del tiempo durante los primeros 60 minutos, lo cual puede notarse para los diversos valores del coeficiente de correlación (r^2). La incertidumbre de las mediciones fue del 2%. Se observa en



los valores dados que la diferencia entre la temperatura interior y exterior es amplia y que ésta se modifica más rápidamente en la cara exterior del muro, pero no así en la interior. Esto garantiza, para las temperaturas elevadas utilizadas, una temperatura más agradable en el interior con respecto a la exterior).

3.3 Resultados en el prototipo de vivienda (nivel piloto)

En la Figura 4 se presentan los resultados de temperatura en la cara exterior e interior para la losa. Con línea roja aparecen las temperaturas exteriores y con azul las interiores. Se presentan las temperaturas del mes de agosto del 2013, debido a que es el mes con mayores temperaturas registradas en la ciudad de Tampico, Tamaulipas. Para la losa se encontró que el retraso térmico es de aproximadamente 60 minutos y una diferencia entre la temperatura interior y exterior de hasta 12°C. La sensibilidad de la medición de temperatura fue de 0,5°C.

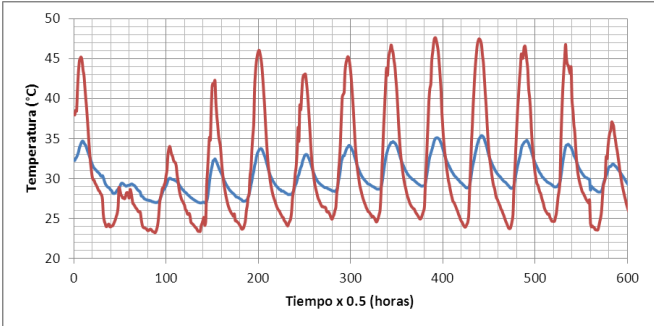


Figura 4 – Estudio en campo de una losa de 8 cm de espesor en el mes de agosto de 2013.

Puede observarse que la diferencia entre la temperatura interior y exterior fue de aproximadamente 8°C. Sin embargo, para los muros no comprometidos fue de aproximadamente 3°C. En el denominado muro poniente, el sensor se encuentra localizado en la recámara como se observa en la Figura 1.

El diferencial de temperatura debería implicar un ahorro de energía en cuanto a mantener el confort de la vivienda.

En la Figura 5 se presentan los resultados obtenidos para el muro poniente, que fue el más crítico en el experimento debido a que recibió los rayos solares durante mayor tiempo.

El eje 'x' corresponde al tiempo en 0,5 horas y el eje 'y' la temperatura en °C. La curva roja (de mayor amplitud) corresponde a la cara exterior del muro, la curva de amplitud más baja (verde) corresponde a la cara interior y la curva azul (intermedia) es la temperatura ambiente del cuarto.

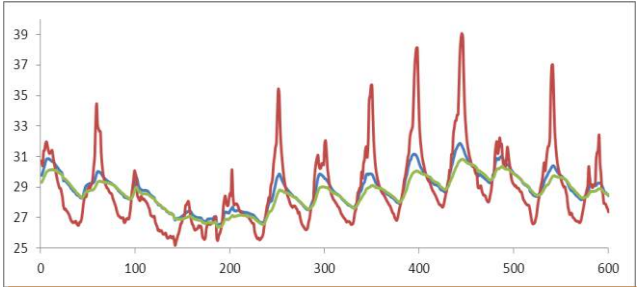


Figura 5.- Comportamiento temporal de la temperatura para un muro lado sol poniente a) cara exterior, b) cara interior y c) ambiente interior.

Sin embargo, es importante destacar la cercanía del valor de temperatura de las caras interiores de los muros y la temperatura ambiental interior, pues el espesor del muro igual a 25 cm debería, de acuerdo a los resultados experimentales en los cilindros, tomar mayor tiempo en transferir calor hacia la cara interior. Al parecer la cara interior de los muros presenta un calentamiento mayor no debida a la transferida por conducción si no a la convección interior.

4. CONCLUSIONES

Se encontró que el material tiene menor conductividad térmica que la reportada para otros materiales, basados en los resultados experimentales al comprobar que se requieren hasta 5 horas para alcanzar la temperatura indicada por la medición en campo.

En laboratorio la densidad fue menor que la reportada para el concreto, la cual podría dar un indicio de su menor capacidad de transferir calor. Los cilindros estudiados mostraron un comportamiento lineal al inicio, mostrando ser exponencial cuando se visualiza el experimento de forma global, lo cual se corresponde a los comportamientos normales mostrados para transferencia de calor en sólidos.

Los resultados muestran un diferencial de temperatura entre la cara exterior e interior que fue mayor de 10°C tanto a nivel del laboratorio como para los muros de la casa estudiada.

En los resultados del prototipo de vivienda se estableció que la losa, elemento expuesto a los rayos solares por más tiempo a lo largo del día, presentó un retraso térmico de 1 hora y un diferencial de temperatura de hasta 8°C. Este mismo elemento al parecer es el principal aportador de calor en los espacios interiores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aranda-Jiménez Y. G.; González-Defelice A. A.; Roux-Gutiérrez R.; Espuna-Mujica J. A.; Arvizu-Sánchez, E. (2012). Tierra vertida. Hormigón verde. Estudio de los materiales componentes, su dosificación, interacción y puesta en obra de dos contextos. Informe Técnico. Programa de cooperación bilateral México- Argentina. CONACYT-MINCYT

Bui, Q.; Morel, J.; Venkatarama Reddy, B.; Ghayad, W. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. *Building and Environment*, 44(5), 912-919.

Doat, P.; Hays, A.; Houben, H.; Matuk, S.; Vitoux, F. (1990). Construir con tierra. Tomo I. Bogotá: Fondo Rotario Editorial.

Gea, M.; Tilca, F.; Placco, C.; Caso R.; Machaca, A.; Saravia, L. (2009). Acumulación térmica en hormigón de la energía solar captada por un concentrador tipo fresnel para la generación de vapor. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 13:113-119.

Hall M. R.; Allinson, D. (2010). Transient numerical and physical modelling of temperature profile evolution in stabilised rammed earth walls. *Applied Thermal Engineering*, 30:433

Houben, H.; Guillard, H. (1994). Earth construction. A comprehensive guide. London: ITDG publishing.

Lira-Cortés, L.; González Rodríguez, O. J.; Méndez-Lango, E. (2008). Medición de la conductividad térmica de algunos materiales utilizados en edificaciones. Simposio de Metrología, 2008 Santiago de Querétaro, México, 22 al 24 de Octubre. Disponible en: https://cenam.gob.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/S4/SM2008-S4C2-1100.pdf

Morris, H.; Walker, R.; Drupsteen, T. (2010). Observations of the performance of earth buildings following the september 2010 Darfield Earthquake. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 43:(4).

Revuelta-Acosta, J. D.; García-Díaz, A.; Soto-Zarazua G. M.; Rico-García, E. (2010). Adobe as a sustainable material: a thermal performance. *Journal of Applied Sciences*, 10:2211-2216.

Salinas C.; Ananías R.; Alvear, M. (2004). Simulación del secado convencional de la madera. *Maderas. Ciencia y Tecnología* 6(1): 3-18.

Suárez-Domínguez, E. J. Aranda-Jiménez, Y.G.; Roux-Gutiérrez, R. S. (2013). Tierra Vertida: Una descripción global. *Arquitectura y Humanidades*. Junio. Disponible en: <http://www.architectum.edu.mx/Architectumtemp/colaboradores/dominguez.et.al/dominguez.et.al.htm>

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación fue auspiciada por el CONACYT proyecto No 0175615

AUTORES

Yolanda Gpe. Aranda Jiménez, Arquitecta, Doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda. Mención Honorífica. Premio Universitario a la Investigación de Excelencia 2010. Catedrático Tiempo completo FADU/UAT Tampico, México

Edgardo Jonathan Suarez Dominguez, Arquitecto y LQI, Master en Ingeniería Administrativa, 2014, Presidente del Mexican Institute of Complex Systems, A.C.