
ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA DE BLOCK DE TIERRA COMPRIMIDO EN CLIMA CÁLIDO SUBHÚMEDO.

José Adán Espuna Mújica; Pablo David Elías López

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas
Av. Universidad S.N. Esquina Blvd. A. López Mateos
Tampico, Tam. México- Tel-Fax- +52 833 241200 Ext. 3351
jespuna@uat.edu.mx ; pdelias@uat.edu.mx

Palabras clave: comportamiento térmico, simulación, evaluación

RESUMEN

Se presentan los resultados del análisis del desempeño térmico de un módulo experimental de vivienda construida con block de tierra comprimida (BTC).

La tierra es uno de los primeros materiales de construcción en la historia de la humanidad; como sistema constructivo requiere de muy poca energía para su fabricación (adobe). Su uso se ha sustituido por materiales industrializados debido a deficiencias en la resistencia estructural y la resistencia a la humedad principalmente. El sistema BTC consiste en blocks de tierra que son comprimidos mecánica o manualmente; este proceso mejora las condiciones de resistencia estructural respecto a un adobe común. Diversas variantes mejoran la resistencia a la humedad pero incrementan la demanda energética para su elaboración. La presente alternativa utiliza la savia de nopal como aglutinante.

La utilización del mucílago o savia de nopal en el BTC permite beneficios en las características de resistencia estructural y a la humedad sin incrementar sustancialmente el consumo de energía para su elaboración. Esto se debe a que la savia permite mayor adherencia, plasticidad y densidad del BTC. El BTC utilizado tiene densidad estimada de 1900 kg/m^3 , una conductividad de 0.9 W/m K y una transmitancia de $1.90 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Se puede agregar que si bien la tecnología de construcción en tierra es muy antigua y ha sido superada, todavía tiene potencial positivo para ofrecer soluciones a los problemas habitacionales actuales (de disponibilidad de recursos energéticos y económicos).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el desempeño térmico de dos espacios arquitectónicos ubicados dentro de la vivienda o prototipo de BTC, edificado en el Campus Universitario Tampico-Madero; donde uno de los espacios, la recámara oeste, ha sido modificado, incorporándole una capa de poliestireno expandido de 2.5 cm en la parte interior de la cubierta.

OBJETIVOS PARTICULARES

Evaluar las condiciones de habitabilidad teórica y determinarlos en las recámaras de la vivienda de BTC en la ciudad y puerto de Tampico, Tamaulipas,

- Evaluar las condiciones de confort del prototipo en los espacios considerados de mayor utilización en la vivienda sustentable de tierra, edificado en la zona sur de Tamaulipas.
- Simular con programas computacionales el comportamiento físico del prototipo y la vivienda, contrastándolos con elementos de construcción diferentes durante el periodo de recolección de datos.
- Establecer y determinar las relaciones posibles entre los factores biofísicos y los materiales de construcción.

Esto para evaluar el comportamiento termo higrométrico referente a la vivienda o prototipo, con la intención, en su caso de rediseñar elementos y materiales, con soluciones acordes a las necesidades de sus habitantes, utilizando productos que no produzcan emanaciones tóxicas y con un material natural, que se adecue al contexto físico

ANTECEDENTES

Es conocido en el campo de la arquitectura que un ambiente sensiblemente cálido resulta incómodo para los habitantes de los espacios diseñados. Si a las condicionantes térmicas se le incrementa una elevada humedad relativa, se acentúa la incomodidad, ya sea en temperaturas elevadas, con la consecuente transpiración, como en clima frío, en donde se pueden presentar problemas de salud. Uno de los aspectos a considerar a la hora de diseñar una vivienda o de escoger un material con el que se va a edificar, es el impacto ambiental que se genera por su fabricación. La construcción de las viviendas consumen entre el 45% i el 60% de los materiales extraídos de la litosfera, por tanto su extracción y transformación supone una parte significativa del impacto ambiental en la sociedad actual. Este impacto puede ser de forma de agotamiento de los recursos no renovables, las emisiones de diversos tipos de gases y los efectos nocivos que perjudican los ecosistemas o bien, la acumulación de los residuos sólidos que pueden lixiviar sustancias contaminantes al suelo y al aire.

Considerando que los principios de adecuación de los espacios arquitectónicos habitables deben aparecer como un hábito en la construcción y no como una rareza o una excepción. Se debe hablar de buenas prácticas arquitectónicas y constructivas y no de arquitectura como un elemento aislado de su edificación. Estas buenas prácticas tendrán como objetivo la calidad del ambiente interior y la reducción de los efectos nocivos que sobre el entorno la edificación pueda ocasionar, como puede ser:

- La calidad del ambiente interior: condiciones adecuadas de temperatura, humedad, movimiento y calidad del aire, etc.
- Los efectos de los edificios sobre el entorno serán función de las sustancias que desprendan, del impacto que produzca el asentamiento y de los consumos que afecten al desarrollo sostenible del lugar.
 - Sustancias desprendidas: sólidas (residuos sólidos urbanos), líquidas (aguas sucias) y gaseosas (gases de combustión vinculados fundamentalmente al acondicionamiento).
 - Impacto del asentamiento: Exceso de población, vías de acceso, aparcamientos, destrucción de tejido vegetal, etc.
 - Desarrollo sostenible del lugar: consumo energético y de recursos hídricos o de materias primas contaminantes o que estén por encima de su capacidad de renovación.

Analizar el consumo energético en los edificios puede tener algunas variables. Tratar de reducir representa menor costo para sus habitantes, además de menor dependencia de fuentes limitadas, con la consecuente disminución de la contaminación vinculada a la producción. Se puede agrupar los aspectos arriba mencionados, en tres grandes grupos:

- Aspectos energéticos (vinculados a los consumos de materias primas y a la contaminación gaseosa).
- Calidad del ambiente interior.
- Contaminación y medio ambiente (vinculados a las sustancias desprendidas, el impacto del asentamiento y el desarrollo sostenible).

El buscar un concepto de arquitectura bioclimática se ha vuelto cada vez más complejo, por ser una preocupación retomada recientemente, la arquitectura de suyo es bioclimática, sin embargo, se ha ido olvidando que ésta debe estar en diálogo con su entorno natural, “... No existe una “arquitectura bioclimática”, sino la arquitectura, simple y llanamente” (López de Asiaín; 1997; 19). Como consecuencia, se hace cada vez evidente que la estandarización de modelos de viviendas en diferentes puntos de la geografía del país es inadecuado y sobre

todo, no es recomendable si se buscara una vivienda de calidad.

En la primera etapa de análisis sobre la habitabilidad del modelo de vivienda sustentable, presentado en el anterior SIACOT, realizado en Sao Luis do Maranhao, Brasil, se analizaron los espacios y el resultado mostraba que existía una problemática de sobrecalentamiento presumiblemente por la cubierta, como se menciona por Espuna (2008) en donde ... “Los resultados de las simulaciones en la vivienda de Tampico indican que las construcciones con BTC tendrá mejores condiciones de confort si contasen con aislamientos mínimos, que se hacen indispensables para alcanzar los niveles de confort en verano”. . Edificado el centro universitario de Tampico-Madero, Tamaulipas, se construyó un módulo experimental de vivienda con este sistema constructivo. Es conveniente recordar que la vivienda tiene muros de carga de 28 cm de espesor y divisorios o de cerramiento de 14 cm, aplanados en ambas caras con mortero de cal-arena con mucílago de nopal. Está diseñado en dos plantas, en la planta baja se localiza el acceso, la sala-comedor, la cocina, las escaleras y un cuarto de baterías en la parte exterior, en la planta alta se localizan dos recámaras y el baño.

Se realizó una fase de medición durante los meses de septiembre de 2008 a enero de 2009. Se midió la temperatura mediante Data-loggers marca Onset - Hobo modelos U-12 ubicados al interior de la vivienda en cuatro espacios. Cada espacio coincidente con una orientación (N, S, E, W). Se contrastó con las mediciones de temperatura exterior realizadas por la estación meteorológica del aeropuerto de Tampico. La vivienda se encuentra normalmente con poca gente en ella, se abre de las 9:00 a las 14:00 horas, de lunes a viernes, misma que se encuentra utilizándose como centro de trabajo del Cuerpo Académico de la FADU e investigadores de la misma. Los registradores de temperatura mini-data-loggers, modelo HOBO U-12, fueron colocados en las ubicaciones indicadas en la Tabla 1.

REFERENCIA	UBICACIÓN	COMENTARIOS
1	Recámara Este	En el centro de la habitación, suspendido del techo a una distancia de 40 cms.
2	Recámara Oeste	En el centro de la habitación, suspendido del techo a una distancia de 40 cms.

Tabla 1. Ubicación de los registradores de temperatura

Para la segunda etapa del proyecto de investigación, en este caso, la evaluación con aislamiento y simulación térmica, la metodología propuesta abarcó la investigación directa a base de la prospección y análisis del hecho arquitectónico, así como de la investigación documental, dentro de la cual se recurrió a las fuentes históricas, acervos de archivos, monográficos, estadísticos y censos, entre los que conviene destacar en esta etapa:

- Medición y análisis de datos climáticos, con énfasis especial en la intensidad de la radiación solar, obtenida con mediciones sistemáticas y automáticas cada 30 minutos durante el periodo mencionado.
- Simulación del comportamiento térmico de espacios similares con diferentes materiales a fin de obtener temperaturas interiores pico y máxima demanda de energía en épocas de calor.
- Presentación de resultados: método gráfico de evaluación de alternativas, análisis de conclusiones

Se consideraron las temperaturas para el estudio las del mes de septiembre se empezaron a hacer una serie de mediciones y recolección de datos a manera de ensayo, con la intención de establecer una metodología de trabajo, basándonos en la propuesta de López de Asiaín (1997) que permitiese en términos generales:

- La toma de datos y recolección de información, tanto del entorno como del interior

de los espacios habitables.

- Valoración de los resultados, mediante la interrelación de los datos obtenidos.
- Interpretaciones parciales y globales del análisis, con la ulterior conclusión.

El análisis bioclimático que se realizaron, así como su vinculación en la vivienda que se evaluó está referido a aspectos climáticos, como lo es la temperatura y humedad relativa. Para la toma y recolección de la información de los factores climáticos debe haber una continua interrelación en los datos parciales obtenidos, con la intención de obtener conclusiones manejables en lo que respecta a los valores de bienestar o habitabilidad, tanto en el prototipo como en la vivienda convencional, mismos que estarán vinculados a determinar una zona teóricamente adecuada a las condiciones de un clima subtropical húmedo.

De lo anterior se desprende el presente estudio. Se analizaron las diferentes posibilidades que causaban este sobrecalentamiento y se encontró que efectivamente la problemática era la cubierta. Se probaron diferentes alternativas entre un techo masivo (incorporar un sistema de terrado), el techo ligero (situación actual) y techo aislado. Las simulaciones numéricas realizadas para cada sistema constructivo (simulación de régimen estacionario para calcular la U o K que es el coeficiente global de transmitancia) arrojaron que la mejor opción era el techo aislado. Por lo anterior se probó aislar el techo; se colocó un *plafón* de poliestireno expandido (PeE) densidad mediana con un espesor de 3 pulgadas (7.56 cm) de modo que quedó acorde al siguiente esquema (fig 1). Este material tiene las siguientes características, tomadas de las normas del ASHRAE: Densidad, Calor específico y Conductibilidad.

El espacio que presentó las condiciones más relevantes tuvo una temperatura exterior máxima (To_{max}) de 33.5°C y mínima (To_{min}) de 27°C lo que provoca una oscilación térmica exterior (ΔTo) de 6.5 °C ($\Delta To = To_{max} - To_{min}$). Temperaturas interiores máxima (Ti_{max}) y mínima (Ti_{min}) de 30°C y 29°C con una oscilación térmica interior (ΔTi) de 1.5 °C ($\Delta Ti = Ti_{max} - Ti_{min}$).

El sistema constructivo permitió que al interior se manifestara amortiguamiento (η) del 23% respecto a las condiciones exteriores ($\eta = \Delta Ti / \Delta To$) lo cual indica que el sistema constructivo está amortiguando las condiciones exteriores evitando el sobrecalentamiento interior. Esto es positivo para la evaluación del desempeño térmico. Se identifica también un desfase térmico (ω) de 2 horas entre la hora de temperatura exterior máxima (hro_{max}) y la hora de temperatura interior máxima (hri_{max}); ($\omega = hro_{max} - hri_{max}$) lo cual indica que la masa térmica del sistema constructivo permite pasar al interior las condiciones exteriores amortiguadas hasta después de 2 horas.

Las oscilaciones térmicas exterior e interior se desarrollan respecto a un mismo rango de temperatura media del período de medición. Solo un sistema consumidor de energía permitiría temperaturas interiores inferiores a la media exterior, esto se puede lograr mediante sistemas pasivos de enfriamiento. La principal conclusión del presente artículo es que el uso del BTC como sistema constructivo en muros permite controlar las condiciones exteriores de temperatura. Combinado con las mejoras estructurales el BTC puede ser utilizado como material de construcción económico y de bajo consumo energético con posibilidades de utilizarse total o parcialmente en viviendas de interés social.

METODOLOGIA

El análisis del desempeño térmico en el presente estudio, se evaluó desde el enfoque del amortiguamiento y desfase térmico que se presenta en la vivienda estudiada. Con el análisis de estos factores, es posible determinar el aporte de las modificaciones arquitectónicas a la cubierta (capa de poliestireno expandido). El amortiguamiento térmico (η) se define como: la diferencia entre la temperatura máxima exterior (T_{maxext}) y la temperatura máxima interior

(T_{maxint}).

$$\eta = \Delta T_{max\ ext} - T_{max\ int}$$

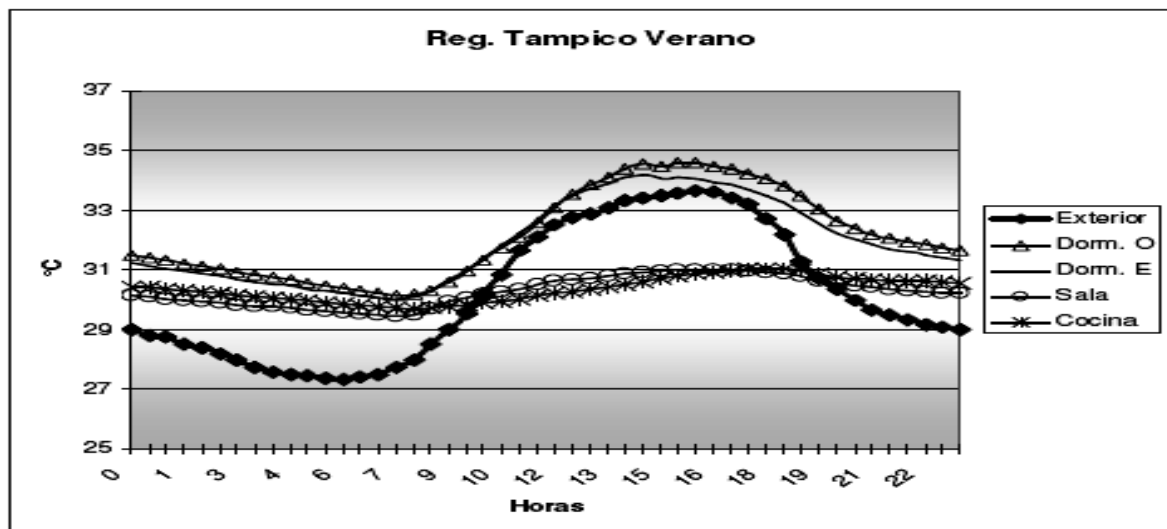
El desfase térmico (ω) se define como: La diferencia entre la hora de temperatura exterior máxima ($hT_{e_{max}}$) y la hora de temperatura interior máxima ($hT_{i_{max}}$).

$$\omega = hT_{e_{max}} - hT_{i_{max}}$$

BASES DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Para realizar el estudio se tomaron datos de dos bases de datos. Por una parte, la base del monitoreo al interior de la vivienda, entre el periodo antes mencionado (Septiembre 2008 a enero 2009), dicho monitoreo con los Data-loggers con un intervalo de 30 min. Por otra parte los datos exteriores del año típico de la zona de estudio de la base de datos de Meteoronorm 6.0. En el presente estudio se evalúa únicamente del 9 al 23 de septiembre de 2008, por ser el mes más crítico por la temperatura tan elevada que se presenta en la zona de estudio.

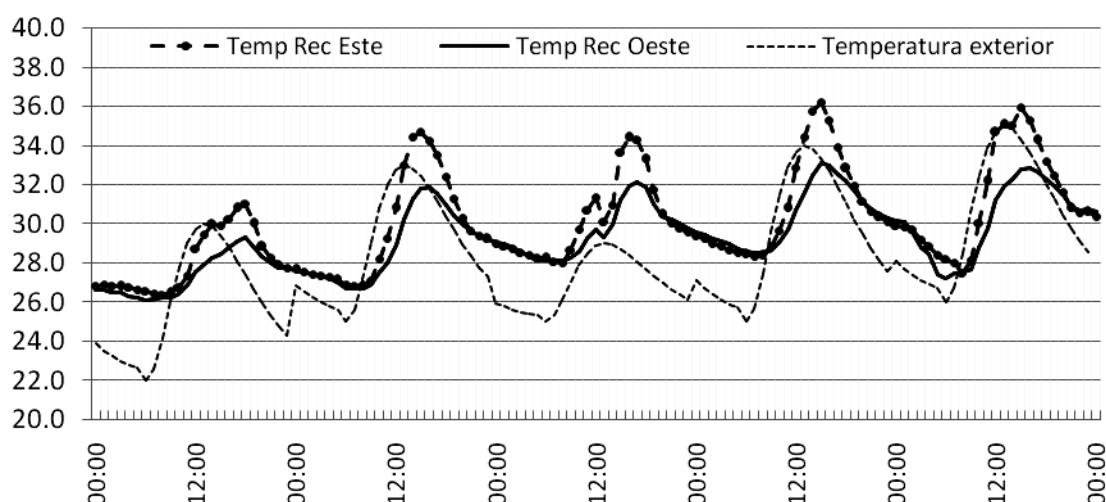
Las mediciones se realizaron en el intervalo indicado anteriormente, a una separación aproximada de la techumbre de 40 centímetros, al centro de las recámaras, para evitar las corrientes de viento, en donde la primera, que estuvo con el acabado original, ubicada al este y la segunda, ubicada al poniente, que en resultados anteriores se había comprobado, como se puede observar en la Gráfica 1 que era la más cálida, se le colocó una protección de poliestireno de 7.5 cms.



Gráfica 1. Temperaturas promedio registrados durante los seis días de medición en verano (De acuerdo a Espuna, et al; 2008)

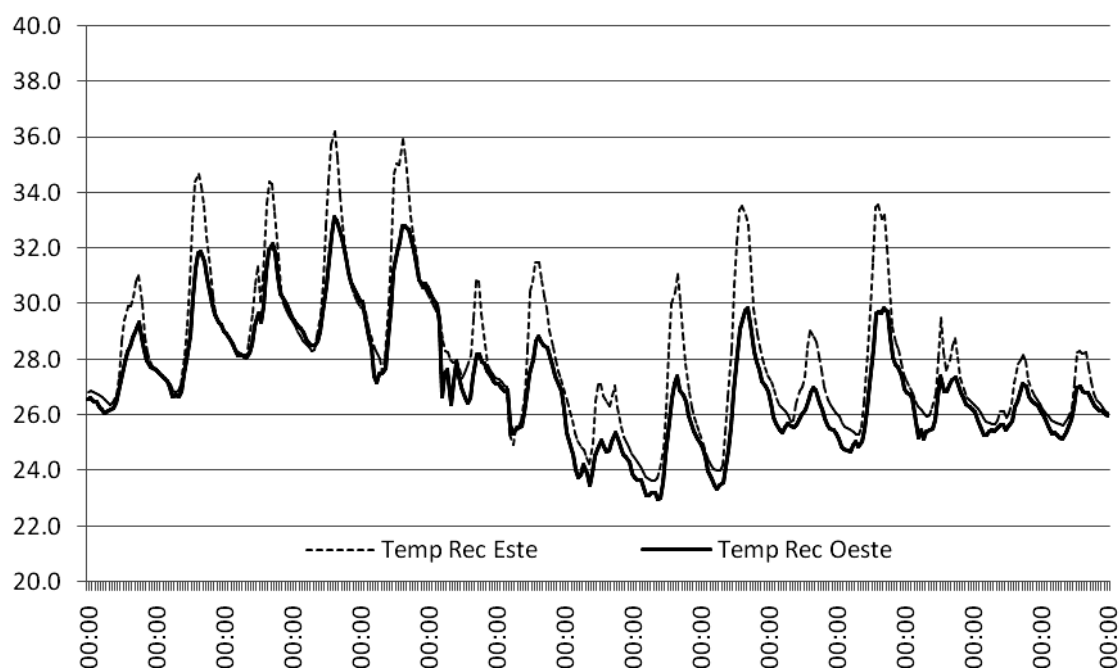
RESULTADOS

En la gráfica 2 se presentan y contrastan los datos de la *temperatura exterior* frente a las temperaturas de la recámara *este* y *oeste*. Como se puede observar en dicha figura, la temperatura exterior en general se encuentra por debajo de las temperaturas al interior de la vivienda, sin embargo, siendo la recámara al este la de mayor temperatura con respecto a la del oeste.



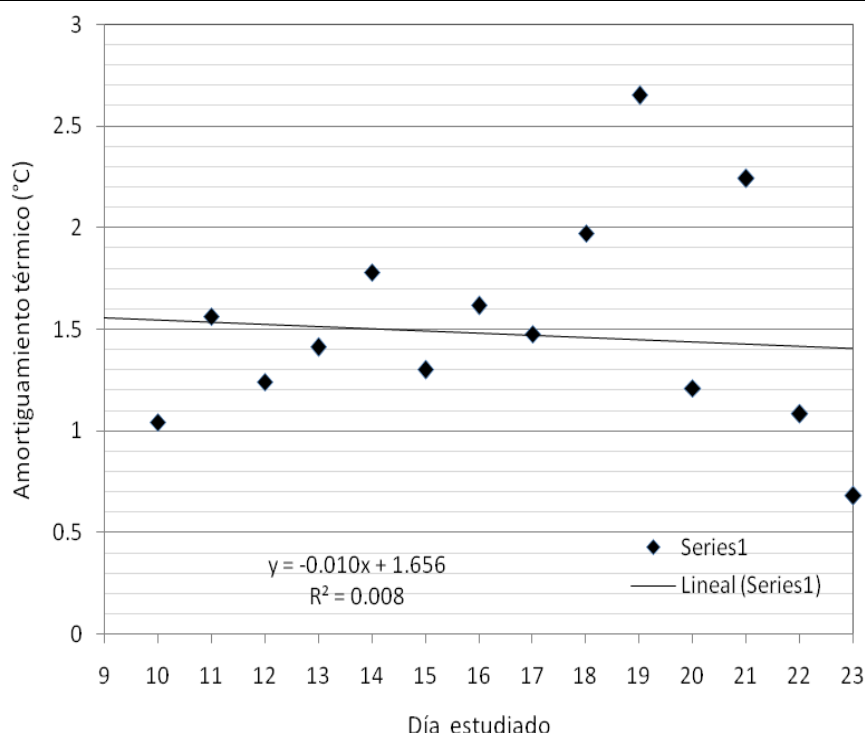
Gráfica 2: Temperaturas exterior e interior al este y oeste. Datos del 9 al 13 de septiembre de 2008

En la Gráfica 3 se analizaron las temperaturas monitoreadas de 9 al 23 de septiembre de 2008, en dicha gráfica se observa que la habitación al Este (no aislada) presentó las condiciones más críticas de sobrecalentamiento, mientras que la habitación al Oeste (aislada) logró evitar los "picos" de sobrecalentamiento al medio día, que presenta la habitación al este.



Gráfica 3: Temperatura interior de recámara este comparada con la recámara oeste.

Del estudio anterior se obtiene que el amortiguamiento térmico promedio es de 1.5°C. Como se puede observar en la figura 3, la dispersión de los datos de amortiguamiento tienen una tendencia central a 1.5°C, sin embargo, como la misma gráfica, los valores son significativamente dispersos.



La hora que en promedio se presentó la temperatura máxima fue las 16:00 hrs. Presentándose un desfase térmico promedio del sistema constructivo en general de 2.5 hrs.

CONCLUSION

La mejoría que presenta el aislante térmico es importante al momento de evaluar el desempeño térmico de la vivienda de block de tierra comprimida. El aporte más importante de este sistema constructivo (BTC + cubierta aislada) radica en que, el almacenamiento de la masa térmica del BTC permite que la temperatura mínima sea similar a la temperatura mínima exterior, mientras que el aislante térmico, evita que la temperatura máxima se eleve considerablemente.

Con el anterior análisis queda demostrado que una vivienda con estas características no solamente es sustentable ambiental y económicamente, sino que puede proveer a los usuarios de mejores condiciones de confort térmico al interior.

BIBLIOGRAFÍA:

- COSCOLLANO RODRÍGUEZ, (2002) *Ahorro Energético en la Construcción y Rehabilitación de Edificios*; Ed. Paraninfo Thomson Learning, Madrid, España.
- ESPUNA MÚJICA, JOSÉ ADÁN; ROUX GUTIÉRREZ, RUBÉN SALVADOR; GARCÍA IZAGUIRRE VÍCTOR MANUEL; ARVIZU SÁNCHEZ, EDUARDO (2008): *Análisis de habitabilidad en una vivienda sustentable de tierra en un clima subtropical húmedo*; Terrabrasil 2008: VII Seminario Iberoamericano de Construção com Terra; Proterra-UNESM; Sao Luis do Maranhao, Brasil.
- EVANS, J. M. (2004) *Construcción en tierra, aporte a la habitabilidad*, 1 Seminario Taller, Construcción en Tierra, FADU UBA, Buenos Aires, Argentina
- GARCÍA IZAGUIRRE, ROUX GUTIÉRREZ, ESPUNA MÚJICA Y ARVIZU SÁNCHEZ, (2007) *Diseño modular una alternativa sustentable*, SIIDS – Tampico, México.
- GONZÁLEZ Y LÓPEZ DE ASIAÍN, (1994) *Análisis Bioclimático de la Arquitectura*; Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla; Sevilla, España
- PATRONE J. C. (2005) *Gestión y Desarrollo en la Construcción de la Vivienda de Interés Social con empleo de suelo estabilizado*, Construcción con Tierra 1, FADU UBA, Buenos Aires, Argentina.
- RODRÍGUEZ VIQUEIRA, ((2001) *Introducción a la Arquitectura Bioclimática*; Ed. Limusa; México, D.

F.

ROUX GUTIÉRREZ, ESPUNA MÚJICA, GARCÍA IZAGUIRRE Y ARANDA JIMÉNEZ (2007) *La construcción con tierra en Zonas Húmedas caso Tampico SIACOT – Tampico, México*

José Adán Espuna Mújica Doctor. Profesor e Investigador de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, miembro del Cuerpo Académico de Diseño y Edificación Sustentable, donde realiza investigaciones sobre Materiales Sustentables y Comportamiento y habitabilidad en los prototipos de vivienda sustentable desarrolladas por el Cuerpo Académico y estudios sobre arquitectura habitacional de la zona.

Pablo Elías López : Doctor. Profesor investigador de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Arquitecto de formación, durante 2008-2009 realizó estancia postdoctoral en el Centro de Investigación en Energía de la UNAM. Actualmente se enfoca en las temáticas: Sistemas pasivos y de ahorro energético para la climatización de espacios arquitectónicos, así como, simulación térmica de edificaciones con el programa "Energy Plus".