

*Thermal Performance
of Alternative Roof
for Housing in Tuxtla
Gutiérrez, Chiapas,
Mexico*

Desempeño Térmico de Techo Alternativo para Vivienda en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México



Autores

- CASTAÑEDA, G.** Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Colina Universitaria. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México
email: gnolasco@prodigy.net.mx
- ARGÜELLO, T.** Facultad de Arquitectura, Universidad Autónoma de Chiapas, Colina Universitaria. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. México
email: tereargu@hotmail.com
- VECCHIA, F.** Escuela de Ingeniería de San Carlos, Universidad de San Pablo, Brasil (USP)
email: fvecchia@sc.usp.br

Fecha de recepción 14/02/2010

Fecha de aceptación 19/06/2010

Resumen

Se presenta el resultado experimental del desempeño térmico de un sistema de techo alternativo ante el comportamiento térmico de dos sistemas de techo: *Losa de Concreto Armado* y *Placa Losa*. En los tres sistemas se utiliza el concreto y acero, pero en el *Techo alternativo* también materiales de desecho como aislante: *Politereftalato de Etileno* (PET), *Aserrín* (A) y *Cáscara de Coco* (CC).

El trabajo es resultado de una serie de experimentos realizados por el Cuerpo Académico COCOVI entre 2006 y 2008 y se justifica debido a que en Tuxtla Gutiérrez, más del 70 % de los techos de las viviendas son de concreto armado, INEGI (2006), por lo que se considera como parámetro a mejorar por las características propias de los materiales que lo conforman, lo que genera un impacto térmico

Palabras clave: Comportamiento térmico de techo alternativo, confort térmico, techos de vivienda.

no deseado, principalmente, en los habitantes de la vivienda de hasta dos niveles.

La evaluación se desarrolló con base en la climatología dinámica, mediante la determinación de un día típico experimental, basado en un periodo representativo de máximo calor, definido con las normales climatológicas del lugar. Las mediciones térmicas se realizaron con registradores automáticos de datos en células de evaluación escala 1:1, para su comparación.

El resultado nos permite afirmar que el techo alternativo con relleno de materiales de desecho, presenta un mejor comportamiento que los dos sistemas de techo con los que se comparó, por lo que se percibe conveniente su aplicación en la vivienda.

Abstract

The experimental result of the thermal performance of an alternative roof system under the thermal behavior of two roof systems is presented: Reinforced Concrete Slab and Slab Plate. In the three systems, concrete and steel is used, but in the alternative Roof waste materials are also used as insulator: Polyethylene terephthalate (PET), Sawdust (A) and Coconut Shell (CC).

The work is the result of a series of experiments carried out by the Academic Corps COCOVI between 2006 and 2008 and it is justified because in Tuxtla Gutiérrez, over 70% of houses roofs are made of reinforced concrete, INEGI (2006). This is why it was taken as a parameter to improve because of the characteristics of the conforming materials, which generates

Key words: *Thermal behavior of alternative roof, thermal comfort, housing roofs.*

an unwilling thermal impact, mainly, in the inhabitants of housing of up to two levels.

The evaluation was developed on the basis of dynamic climatology, by determining an experimental typical day, based on a representative period of maximum heat, defined under the normal climatologic conditions of the place. Thermal measurements were carried out with automatic recording devices in evaluation cells at 1:1 scale, for comparison.

The result allows us to assert that the alternative roof filled with waste materials, presents a better behavior than the two roofing systems with which it was compared. Thus its application in the housing is considered convenient.

Introducción

Desde hace poco más de cuatro años en el cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la vivienda (COCOVI), de la Facultad de Arquitectura de la UNACH, se han venido estudiando diferentes alternativas para mitigar el paso de calor radiante en los techos de las edificaciones, especialmente en el de la vivienda masiva. Lo anterior se debe, principalmente, a la evidencia que se tiene en COCOVI sobre las condiciones de calentamiento interior de las viviendas, principalmente las de interés social, donde el componente de mayor aporte de calor radiante es el techo al ser la mayor superficie expuesta a la acción de la radiación directa del sol, y a que en Tuxtla Gutiérrez más del 70% de las vivienda han sido construidas con techo de concreto armado INEGI (2006), la mayoría de las veces de 10 cm. de espesor, lo que implica un almacenamiento de energía durante el día y su liberación durante la tarde y noche, incluso hasta horas de la madrugada después de un día representativo de calor.

Lo antes expuesto se demostró experimentalmente en el periodo de primavera, con la evaluación de un sistema de techo de concreto armado de 10 cm. de espesor en Tuxtla Gutiérrez, el cual mostró una temperatura superficial de 45°C, cuando la temperatura del aire exterior era de 37°C y, sin ningún sistema activo o pasivo para el mejoramiento de las condiciones térmicas del interior del edificio, la temperatura del aire interior llegó a 35°C, manteniéndose dicha temperatura durante 12 horas por arriba de los 30°C a partir del mediodía, temperatura que puede considerarse como límite para que el ser humano no sufra problemas en su metabolismo por estrés térmico, considerando que la temperatura de la piel se mantiene entre 31 y 34°C (Auliciems y Szokolay, 1997).

Por lo anterior se entiende que las personas que habitan bajo techos de concreto armado, sin ningún tipo de protección contra la radiación solar directa, sufren estrés térmico que con el tiempo puede afectar, no solo su comportamiento o rendimiento físico, sino también su salud. Sumado a esto cabe hacer notar la utilización de medios mecánicos o de climatización artificial, lo que impacta en el incremento del consumo de energía eléctrica, con los efectos económicos y ecológicos negativos (Castañeda N.G. y Vecchia F., 2007).

Argumentando el incremento del consumo de energía en el futuro, además de lo esperado por el incremento de la población en Tuxtla Gutiérrez, se prevén los efectos del calentamiento global, que para el año 2020, se espera un incremento en la demanda de energía por uso de aire acondicionado de hasta 500% Tejeda y Rivas (2005), por lo que es conveniente desde ahora, estudiar alternativas de cubiertas factibles, que coadyuven en la

reducción de penetración de calor radiante a las vivienda en particular y/o a los edificios en general.

Con base en los antecedentes expuestos, en el presente trabajo se presentan los resultados experimentales del estudio comparativo de tres tecnologías para techo, la primera y funcionando como parámetro a mejorar, la losa de concreto armado de 10 cm. de espesor, la segunda denominada "Placa losa", y la tercera el techo alternativo nombrada "Losa Térmica", estas dos últimas, desarrolladas en COCOVI¹.

Cabe aclarar que del desarrollo de este proyecto de investigación se derivó la tesina "Comparación experimental de cuatro materiales aislantes alternativos, como relleno en sistema de techo térmico en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas", para obtener la especialidad en tecnologías alternativas para el Hábitat, impartida en la Facultad de Arquitectura de la UNACH, que a su vez fue parte de la tesis doctoral "Adaptação tecnológica para teto de habitação social: Estudo de caso em Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México", de la Universidad de San Pablo, Brasil.

Para abordar las condiciones del experimento, primero se exponen las diferentes tecnologías detalladas en gráficos, además de la explicación de su aplicación en la construcción de la vivienda social, especialmente en procesos de autoconstrucción. Posteriormente se explica la aplicación de la Climatología Dinámica para la definición de un día representativo de calor en la zona de estudio, lo cual permitió la evaluación térmica comparativa de las tecnologías citadas.

Con los resultados obtenidos se analizaron y se buscó la explicación de lo ocurrido, lo que permitió enunciar las conclusiones que pasan a enriquecer el banco de datos experimentales sobre este tema y a fortalecer los trabajos de investigación mencionados.

Materiales y métodos

a. El contexto

Tuxtla Gutiérrez se localiza en la zona centro del estado de Chiapas, a 16° 45' 11" Longitud Norte, a 93° 06' 56" Longitud Oeste y a una altitud de 550 msnm. Según la clasificación de W. Koeppen, Ayllón (1996), se localiza en una zona tropical con lluvias en verano, con tipo climático Aw, por lo que en gran parte del año se viven altas temperaturas durante el día, llegando incluso, en casos excepcionales, hasta 42°C.

1 Tanto la Placa Losa como la *Losa Térmica* fueron desarrolladas por Gabriel Castañeda Nolasco.

Por otra parte, de acuerdo al mapa de bioclima de México, se muestra calor en casi todo el territorio nacional durante más de 7 meses, destacando en el sureste, Chiapas y Yucatán, donde solamente en los meses de diciembre y enero se percibe un pequeño cambio que puede detonar frío (Morillón, 2005).

Como en muchas ciudades del país en Tuxtla se ha experimentado un crecimiento urbano alarmante en las últimas décadas, como se aprecia en el Gráfico 1, lo que ha llevado a un crecimiento de la superficie cubierta por pavimentos (Hidráulico y Asfáltico) además de la construcción de diferentes tipos de edificios, lo que ha reducido significativamente la vegetación, por lo que se presupone el incremento en la temperatura del microclima de estas zonas de la ciudad en general y, en las edificaciones en particular, por el almacenamiento de energía radiante durante el día y su liberación por la noche, Castañeda y Vecchia (2007), adicionalmente se observa la demanda de energía eléctrica de toda la población que de la misma forma ha crecido y, como capital del estado de Chiapas, presenta una tendencia de crecimiento permanente.

b. Descripción de tecnologías de techo

El techo de concreto armado

Es el techo convencionalmente utilizado en Tuxtla Gutiérrez, según el INEGI (2006), en más del 70% de las viviendas construidas. La principal ventaja que socialmente se le atribuye es la seguridad, debido a su resistencia a las exigencias de tensiones y compresiones al integrar dos materiales que trabajan eficientemente en este sentido, lo que se suma a las exigencias sísmicas de la zona geográfica. Sin embargo, también son reconocidas dos de

sus desventajas más notorias: Su precio, pues el sistema exige su construcción monolítica, lo que requiere de una inversión fuerte en un solo momento, además de mano de obra calificada para su construcción; la segunda es su comportamiento térmico, que debido a los materiales que lo conforman y a su volumen, almacena calor durante el día y lo libera durante la tarde y gran parte de la noche (Castañeda y Vecchia, 2007).

El techo placa losa

Este sistema de techo fue desarrollado en COCOVI, como una alternativa para la población de bajos recursos, por lo que se planteó, considerando principalmente el factor económico, reduciendo la cantidad de materiales en su fabricación y planteando un proceso constructivo que permitiera su autoconstrucción y en un periodo de tiempo que permita a estas familias conseguir el dinero necesario para hacerlo.

El sistema se compone de placas de concreto de 150 cm, de largo por 75 cm de ancho y por 3 cm de espesor, armadas con malla electrosoldada 6-6/10-10, prefabricadas en una superficie plana. Posteriormente, cuando se cuenta con el número de placas suficientes para cubrir el local objetivo, se prefabrican las vigas que serán el medio de soporte de las placas, siendo estas para un claro de 3 m, de acuerdo con las características de la vivienda de interés social, de 7 cm de base por 20 cm. de peralte con armado de 2 varillas de 3/8" y estribos de 1/4 @ 20cm., pudiendo ser dichas vigas de madera o metal, para lo cual deberían calcularse sus dimensiones necesarias. Para concluir el techo se coloca una capa de microconcreto de 3 cm de espesor, armado con la misma malla electrosoldada, con un acabado impermeabilizado, como se muestra en las figuras 1, 2 y 3.

Gráfico 1
Crecimiento poblacional en Tuxtla Gutiérrez.
Fuente: Plan de Desarrollo Municipal, 2008 - 2010

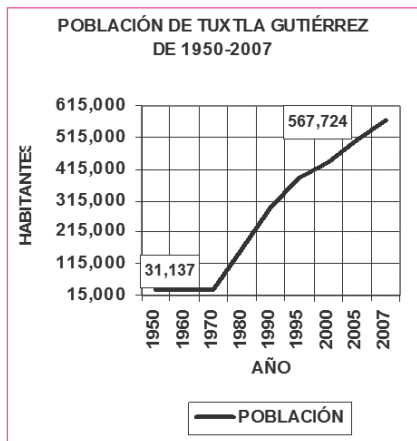


Figura 1
Detalle en corte del sistema placa losa



Figura 2

Detalle de capa superior de microconcreto en techo con armado de malla electrosoldada 6-6/10-10 del techo placa losa

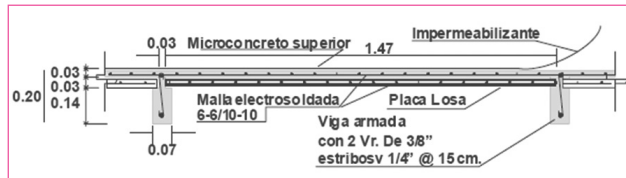


Figura 3

Detalle interior de placa losa en vivienda social



El techo térmico

Este sistema se ha propuesto como una alternativa que trata de dar respuesta a las dos desventajas principales del sistema de techo de concreto armado, su precio tan alto y su comportamiento térmico desfavorable para el contexto de estudio, orientado originalmente a las familias de ingresos bajos.

Consiste en una placa de concreto prefabricada de características similares a la Placa Losa (150 cm de largo por 75 cm de ancho y 2.5 cm de espesor, sin embargo el acero de refuerzo (malla electrosoldada 6-6/10-10), sale de los límites longitudinales hasta 20cm como se aprecia en la Figura 4, el cual sirve para ser integrada a las vigas de concreto armado, coladas en el lugar, que sirven de apoyo en la construcción del techo, lo que permite un espacio que posteriormente se rellena con material de residuos fácilmente obtenidos en el contexto (figuras 5 y 6), que en el caso de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y para el caso del presente experimento, se utilizaron dos materiales naturales: Aserrín y Cáscara de Coco, además de uno no natural: *Politereftalato de*

Etileno (PET). Estos materiales sirven inicialmente como cimbra muerta que posibilitan la colocación de una capa de compresión de 4 cm de espesor, también armada con malla electrosoldada 6-6/10-10, pero que a su vez el material de relleno cumple con una función de aislante térmico como se demuestra más adelante.

Figura 4

Detalle de componente prefabricado para techo térmico

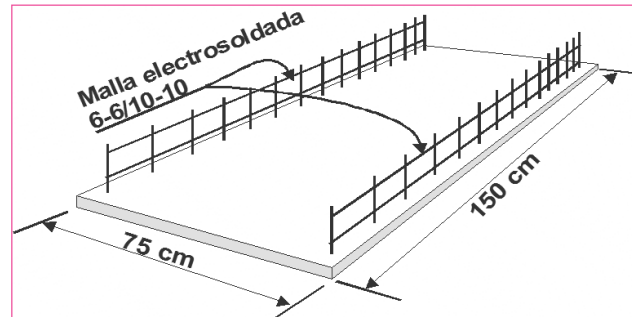


Figura 5

Detalle en corte del sistema techo térmico

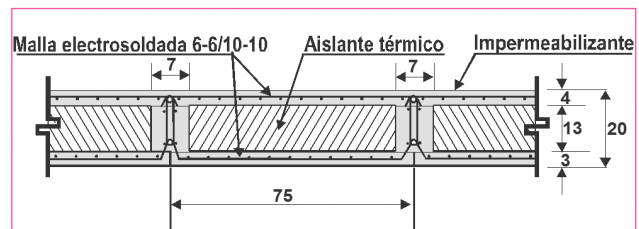


Figura 6

Detalle en corte del sistema techo térmico con diferentes materiales de relleno en prototipo experimental escala 1:1



c) El equipo de mediciones

Para el desarrollo del experimento se utilizaron registradores de datos de la familia Hobo, tanto para el levantamiento de las temperaturas interiores como para la temperatura del aire exterior, apoyados con el software respectivo. Como se aprecia en la Figura 7.

d) Método de análisis térmico

Para realizar la comparación del comportamiento térmico de los tres sistemas de techo, se definió un día típico ex-

perimental con base en la climatología dinámica, lo que significa que la evaluación no solo consistió en la comparación de la reacción al calor de los sistemas de techo en estudio sino, también, se ubicó en el contexto climática de Tuxtla Gutiérrez, tomando el día típico experimental representativo de calor para la zona, con base en las normales térmicas de 30 años, donde se aprecian las curvas que muestra el promedio de las temperaturas máximas, medias y mínimas en el contexto en estudio (Gráfico 2).

e) El día típico experimental

Con base en lo anterior, y con apoyo en la teoría de la climatología dinámica, Vecchia (1997), se determinó que el día típico experimental puede ser aquel en el que domine una masa de aire caliente y que muestre una temperatura de aire exterior igual o superior a la temperatura media de las máxima expuestas en la gráfica 2, cumpliendo con un ritmo climático, Monteiro (1971), que muestre que las características del tiempo de dicho día sea recurrente en el periodo analizado.

El día definido para realizar la comparación experimental fue el 26 de marzo de 2007, día en que la temperatura máxima del aire exterior fue de 34.43 °C, a las 14:30 hrs., Gráfico 3, temperatura que igualó al promedio de las máximas de las normales climatológicas, por lo que los registros de temperatura de ese día se analizaron para llevar a cabo la comparación entre las tecnologías citadas.

Figura 7
Equipo de mediciones utilizadas durante el experimento



Gráfico 2
Período de máximo calor en Tuxtla Gutiérrez.
Fuente: Datos del Sistema Meteorológico Nacional

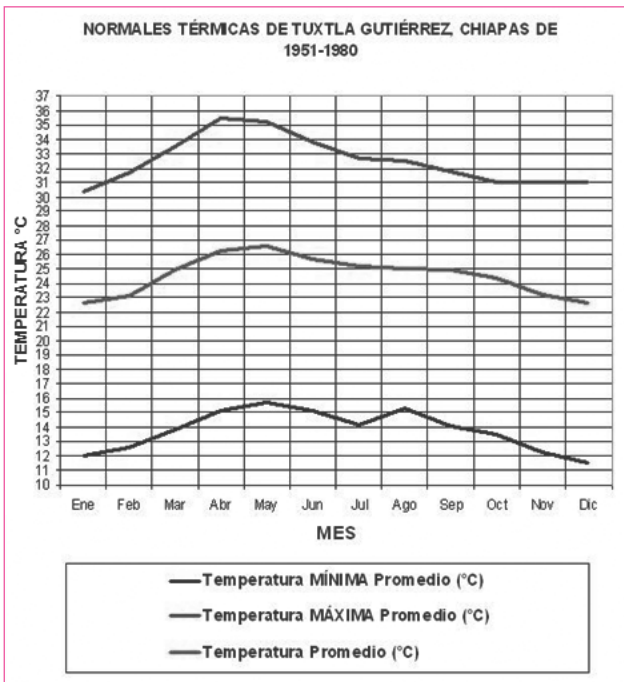
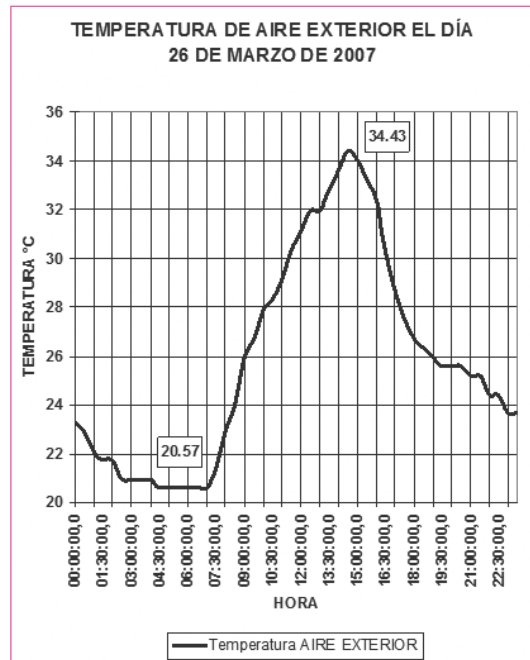


Gráfico 3
Curva del día típico experimental elegido para la comparación experimental



Resultados

En el Gráfico 4 se observan los resultados de la comparación entre los tres tipos de techo, Placa Losa, Losa de Concreto Armado y Techo Térmico, aunque en el experimento se analizaron cuatro tipos de relleno de residuos que participan en el sistema como aislantes térmico: PET, Poliestireno expandido, Aserrín y Cáscara de Coco, se excluyó el Poliestireno Expandido de los resultados que en este artículo se exponen.

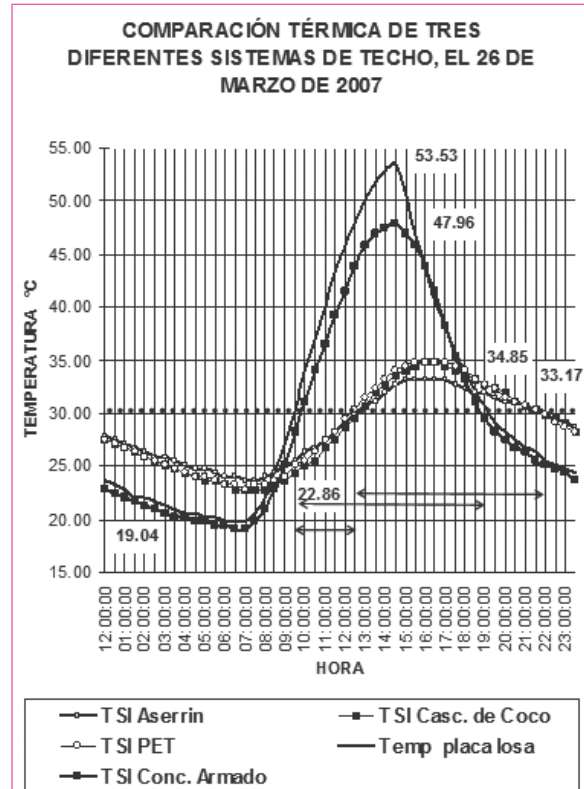
El Techo Placa Losa: En el Gráfico 4 se observa que el techo Placa losa es el que alcanza la temperatura superficial interior más elevada (TSI) 53.53 °C, con una amplitud térmica de 34.49 °C durante el día. Además, por ser un sistema construido con concreto armado y al ser de 7 cm. de espesor, se calienta más rápido que los otros sistemas. Junto con los otros techos coinciden en 23 °C a las 8:30 de la mañana, pero de inmediato es el primero en calentarse llegando a los 30 °C una hora después, considerados estos como el límite máximo para que la radiación térmica emitida por el techo propicie el estrés térmico en los habitantes al transferirles calor radiante, adoptando el rango de la temperatura de la piel que va de los 31 a 34 °C, Auliciems y Szokolay (1999). Este techo, regresó a los 30 °C a las 19:00, por lo que se mantuvo por arriba de los 30°C 9.5 horas.

El Techo de Concreto Armado: Este sistema tiene un comportamiento similar al de la Placa Losa, pero llega a una temperatura superficial interior inferior de 47.96 °C, 5.57 °C menos que la Placa losa y 17.96 °C por arriba del parámetro de los 30 °C, durante 9 horas. Debido a que su temperatura más baja es de 19.04°C, a las 7:00 hrs., presenta una amplitud térmica de aproximadamente 30.92 °C durante el día.

El Techo Térmico: En este sistema alternativo propuesto se percibe un comportamiento similar entre los tres rellenos que ahora se presentan: Cáscara de Coco, Aserrín y PET, siendo la máxima temperatura alcanzada de 34.85 °C en los casos del relleno de PET y Cáscara de Coco, y 1.68 °C menos para el relleno de Aserrín que ascendió a 33.17°C, lo que significa una reducción importante frente a los dos sistema anteriores, Placa Losa y Concreto armado, con una diferencia de hasta 18.68°C con el primero y 13.11°C con el segundo, con un atraso térmico de 2 horas para llegar a su máxima temperatura superficial interior (TSI), con una amplitud térmica de 11.61°C y prácticamente solo 3°C y 5°C , respectivamente, por arriba de los 30 °C tomados como parámetro. Es importante destacar que el tiempo durante el cual rebasó los 30°C tomados como parámetro fue de 10 horas en los tres tipos de relleno, aunque con tan solo 5°C en el caso del PET y Cáscara de Coco, y de 3°C para el caso del Aserrín.

Gráfico 4

Resultados de la comparación de las temperaturas superficiales de los diferentes techos en estudio



Discusión

La diferencia significativa entre los techos de concreto macizo (Placa Losa y Concreto Armado), y el Techo Térmico con los tres rellenos de residuos (Cáscara de Coco, PET y Aserrín), es consecuencia del funcionamiento de estos últimos como aislantes térmico, debido principalmente por su baja densidad y volumen, sumado a su calor específico, asumiendo que estas características son decisivas para retardar el paso del calor radiante González C. (1997), la cáscara de coco con la fibra, además del aire entre el volumen de la misma y el PET con el volumen de aire encapsulado.

Los dos techos de concreto macizo presentan temperaturas por arriba de los 30°C , prácticamente por 10 horas, desde las 9:30 hrs. hasta las 19:00 hrs. como se señala en el Gráfico 4, con un sobrecalentamiento de 17.96 °C en el caso de la Losa de Concreto y 23.53 °C en el caso de la Placa Losa. Por su parte la Losa Térmica, aunque se mantiene aproximadamente 10 horas por arriba del mismo parámetro, desde las 12:00 hrs. hasta las 22:00 hrs., el sobrecalentamiento es tan solo de 4.85 °C , en

el caso del relleno de PET y de Cáscara de Coco, y de 3.17°C para el relleno de aserrín, lo que demuestra que el Techo Térmico amortigua el paso de calor radiante de manera favorable para los posibles habitantes. Lo que puede interpretarse, en caso de que este techo térmico se aplicara en la construcción de una vivienda, que una familia expuesta a este sistema de techo, estaría afectada por el estrés térmico provocado por el sobrecalentamiento del Techo térmico, prácticamente el mismo número de horas pero con una temperatura mucho menor, que en el contexto de Tuxtla Gutiérrez, prácticamente no lo percibirían, permitiendo un descanso nocturno sin afectaciones térmicas por efecto de este techo en comparación con la Losa de Concreto Armado y la Placa Losa.

Conclusiones

La comparación expuesta nos mostró una gran diferencia en el comportamiento térmico de los techos, a favor del techo térmico como se tenía previsto, aunque los materiales básicos para lograr la estabilidad y rigidez de los tres sistemas es el mismo (concreto y acero), se asume que los responsables de esta gran diferencia son los tres materiales utilizados para este fin (PET, Cáscara de coco y Aserrín), que al amortiguar el paso del calor radiante han superando las expectativas iniciales del equipo de trabajo.

Es importante aclarar que la búsqueda de un sistema con las características del Techo Térmico aplicable en Tuxtla Gutiérrez, con la apariencia del techo común de Concreto armado, obedece a la atención de una condicionante social, principalmente en el contexto urbano, debido a la percepción mayoritaria de la población sobre el concepto de seguridad y sentido de superación, conceptos muy arraigados en la población (Castañeda, 2005).

Con base en los resultados obtenidos se puede afirmar que el Techo Térmico posibilita la protección contra el calor radiante en el contexto en estudio, por lo cual es factible, desde este enfoque, su aplicación en la vivienda.

Agradecimientos

Se agradece al Sistema Institucional de Investigación de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIINV-UNACH), por el apoyo recibido para la realización del proyecto de investigación, así como a las autoridades de la Facultad de arquitectura por las facilidades prestadas. También se agradece la participación a la arquitecta Briseida Corzo Rivera.

Bibliografía

1. Ayllón, T. (1996). Elementos de meteorología y climatología. México, Trillas, p. 179
2. Auliciems, A. & Szokolay, S. V. (1999). Thermal comfort. PLEA Notes, Brisbane (Australia), PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland.
3. Castañeda, N. G. (2005). Como un traje a la medida: propuesta de bajo costo para el techo de la vivienda de un grupo social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, en UN TECHO PARA VIVIR: tecnologías para la viviendas de producción social en América Latina, UPC, España, págs 543-545.
4. Castañeda, N. G., Argüello, M. T., Cruz, S. C., Jiménez, A. J.L., (2005). Evaluación del comportamiento térmico de vivienda social techada con el sistema placa losa, ubicada en el proyecto 10x10 Chiapas, de Tuxtla Gutiérrez, en memoria de la XXIX Semana Nacional de Energía Solar, México, Asociación Nacional de Energía Solar, A. C., págs. 49-54.
5. Castañeda, N. G. y Vecchia, F. (2007). Sistema de techo alternativo para vivienda progresiva en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. Ingeniería, Revista académica de la FI-UADY, 11-2, 21-30.
6. González, E. (1997). Étude de matériaux et de techniques de refroidissement passif pour la conception architecturale bioclimatique em climat chaud et humide. Thèse de doctorat en Energétique de l'Ecole des Mines de Paris, France.
7. INEGI, (2006). II Censo de población y vivienda 2005, México.
8. Monteiro, C. A. de F, (1971). Análise rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática e achegas para um programa de trabalho. São Paulo, Instituto de Geografia-IGEOG USP, Serie Climatologia No 01.
9. Morillón G., David, (2003). Mapas del bioclima de la República Mexicana, en Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2003 Vol. V, UAM, Limusa, págs. 117-130.
10. Tejeda M. A. y Rivas C. D.A. (2003). El bioclima humano en urbes del sur de México para condiciones de duplicación de CO₂ atmosférico, en Investigación Geográfica, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Num.51, pp. 37-52
11. Vecchia F. (1997). Clima e Ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP). Tese de doutoramento.