

## Capítulo V. Techo verde-domotej en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: sistema no convencional para mejorar el comportamiento térmico de la vivienda de interés social

Gabriel Castañeda Nolasco

José Luis Jiménez Albores

### Resumen

**A**nte los problemas provocados por la excesiva ganancia térmica a través del techo de concreto armado, utilizado en más del 70% de las viviendas construidas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas <sup>[1]</sup>, en especial las viviendas de interés social, se expone el resultado de la comparación experimental del comportamiento térmico de dos sistemas de techo: concreto armado y el techo no convencional denominado *Domotej-Techo Verde*, desarrollado en COCOVI con el fin de mitigar la penetración de calor radiante. El análisis térmico se realizó con base en la climatología dinámica, definiendo un día típico experimental, en el que se comparó las temperaturas superficiales interiores de los dos sistemas de techos, obtenidas por medio de colectores automáticos de datos de la marca HOBO. Los resultados comprueban la conveniencia de la aplicación del *Domotej-Techo Verde*, sumando beneficios asociados a la necesidad de reducir la velocidad del escurrimiento del agua pluvial, en una ciudad que sufre de inundaciones recurrentes y su precio, pues permite que la población objetivo pueda adquirirlo.

## Introducción

Tuxtla Gutiérrez, capital del estado de Chiapas, se localiza en la frontera sur de México (Figura 1), en una zona tropical con lluvias en verano, con tipo climático Aw, según la clasificación de W. Koeppen <sup>[2]</sup>, por lo que en gran parte del año se tienen temperaturas altas durante el día, llegando incluso en casos excepcionales, hasta 42°C, sin embargo la mayor parte del año las temperaturas se mantienen cercanas a los 30°C.



Figura 1. Mapa de Localización de Tuxtla Gutiérrez, en Chiapas, México. Fuente: <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www2.luenticus.org/mapas/mexico/chiapas>.

De acuerdo con Morillón <sup>[3]</sup>, en el mapa del bioclima de México, se muestra calor en casi todo el territorio nacional durante más de siete meses, destacando en el sureste, Chiapas y Yucatán, donde solamente

en los meses de diciembre y enero se percibe un pequeño cambio que puede hacer descender la temperatura.

Por otra parte, en Tuxtla Gutiérrez, como en muchas ciudades del país, se ha experimentado un crecimiento urbano alarmante en las últimas décadas a partir de la década de los setentas, con una notable reducción de la superficie cubierta por vegetación, por el incremento en la construcción de diferentes tipos de edificaciones, aumentando la superficie de terrenos cubiertos con concreto (hidráulico y asfáltico), en calles, parques, patios, techos, entre otros, lo que 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.

En Tuxtla Gutiérrez en el periodo de primavera, un sistema de techo de concreto armado, comúnmente utilizado en la vivienda, de acuerdo con mediciones experimentales [4], alcanza una temperatura superficial de 45°C, cuando la temperatura del aire exterior es 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 llega 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 [5].

Con base en 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 sólo 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 negativos.

Por todo lo anterior, en el presente trabajo, se partió del análisis térmico del techo de concreto armado, considerando los resultados como el parámetro a mejorar por medio de la propuesta de un sistema de techo alternativo, que reduzca la penetración de calor radiante a la vivienda, comparando la temperatura superficial interior de los dos sistemas mencionados, para demostrar la eficiencia de la propuesta.

## Análisis climático

Para desarrollar el trabajo experimental en el que se tiene como objetivo central la comparación de las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techo: concreto armado y *Domotej* (propuesto en este trabajo), se determinó un periodo de evaluación representativo de calor mediante la identificación de la época de mayor calor en el contexto de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, con base en el análisis de las normales climatológicas del lugar (1951-1980), con lo que se determinó como periodo a estudiar el rango comprendido a partir de la mitad del mes de abril hasta la mitad del mes de mayo, que conforma un periodo con temperaturas altas durante el año (Figura 2).

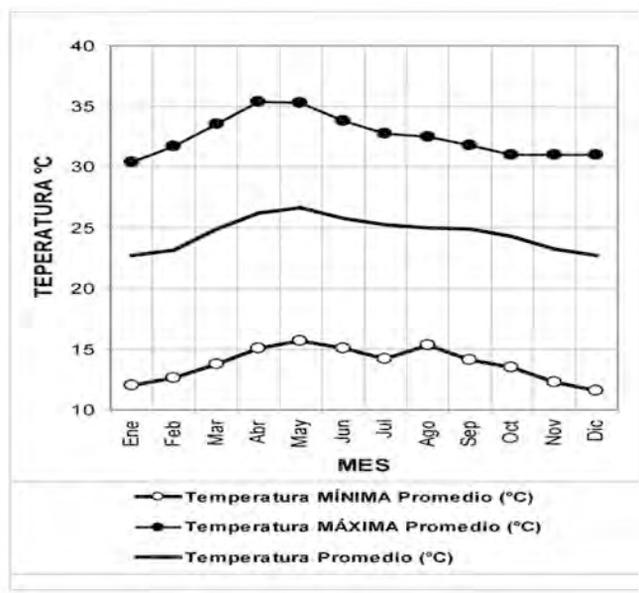


Figura 2. Normales Climatológicas de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, 1951-1980. Fuente: Datos obtenidos del Sistema Meteorológico Nacional.

Con base en lo anterior, y con apoyo en la teoría de la climatología dinámica [6], se determinó que el periodo entre el 15 de abril al 15 de mayo de 2006, es el periodo para desarrollar el experimento (Figura 3),

durante el cual se definió un periodo representativo de calor, dominado por la masa de aire caliente, que al observar el ritmo climático [7].

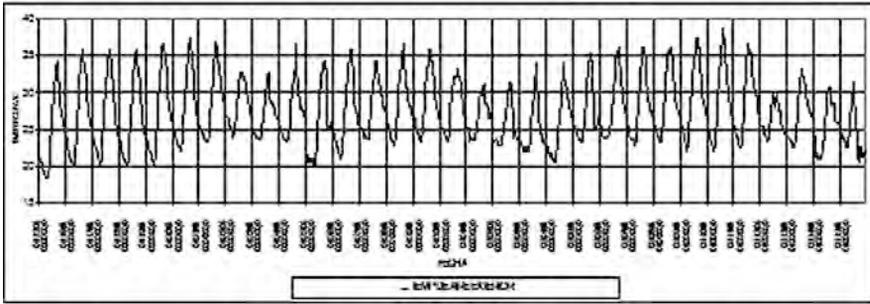


Figura 3. Periodo representativo de calor del 15 de abril al 15 de mayo de 2006.

El periodo de estudio fue del 2 al 12 de mayo de 2006 (Figura 4), periodo donde se alcanzaron las temperaturas más altas de 2006 que, a pesar de que el día 10 de mayo fue el más caluroso del año en Tuxtla Gutiérrez, pues llegó a  $38.77^{\circ}\text{C}$ , se definió como día típico experimental [6], el 7 de mayo debido a que ese día presentó una temperatura máxima de  $36.13^{\circ}\text{C}$ , superando solo por  $1^{\circ}\text{C}$  la media de las temperaturas máximas de las normales climatológicas de Tuxtla Gutiérrez, de 1951-1980, que ascendieron a  $35^{\circ}\text{C}$ , por lo que la temperatura del día 7 de mayo puede considerarse como más frecuente de suceder en la época de calor de Tuxtla, por lo que en ese día se realizó el experimento.

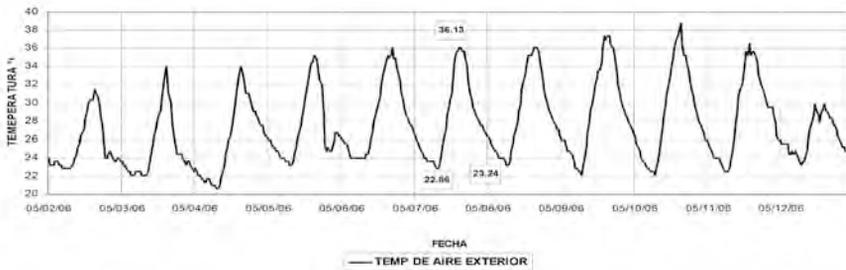


Figura 4. Periodo representativo de calor del 2 al 12 de mayo de 2006, donde se determinó al día 7 como el día típico experimental.

## Descripción de los procesos constructivos de las tecnologías

El techo de concreto armado es una placa monolítica de 10 cm de espesor, compuesta de cemento, arena y grava, con un armado de acero de refuerzo, pudiendo ser con varilla corrugada de 3/8", o mallas electrosoldadas 6x6-10/10, para contrarrestar los refuerzos de tensión (Figura 5).

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, el techo de la vivienda es construido, hasta en el 71% de los casos con una placa de concreto armado, generalmente de 10 cm de espesor fundido monolíticamente en el lugar<sup>[1]</sup>, lo que inicialmente exige una inversión considerada entre el 20% y 30% del costo total de la vivienda<sup>[8]</sup>.

Lo anterior se aplica en todos los niveles socioeconómicos de la población que, a pesar del alto precio de los materiales, se explica a partir de los conceptos predominantes de vivienda segura y duradera, incluso los habitantes de las colonias precarias aspiran llegar a construir su techo con esa tecnología, que a lo largo de un periodo prolongado entre 15 y 20 años, es logrado<sup>[1]</sup>.

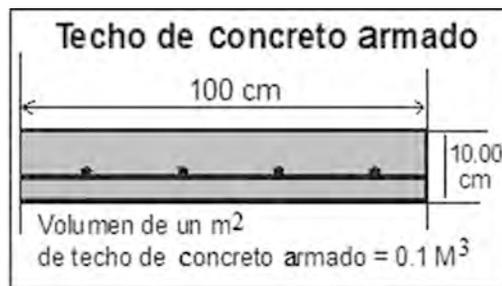


Figura 5. Corte esquemático de techo de concreto armado, con el cálculo del volumen de concreto en un metro cuadrado de techo.

Los techos comparados durante el experimento corresponden a dos viviendas ocupadas, construidas con paredes de ladrillo de 15 cm de espesor y repelladas con mortero cemento-cal-arena, en ambas caras, y los ambientes interiores, sin ser determinantes para el ejercicio comparativo, mantienen dimensiones similares; por lo que el techo es el componente significativamente diferente en las viviendas.

Por su parte la propuesta de techo alternativo *Domotej*, se compone de piezas prefabricadas con forma de casquete de base cuadrada de  $96 \times 96 \text{ cm}^2$ , elaborada con 24.5 piezas de tabique artesanal de arcilla cocida de  $2.5 \times 12 \times 26 \text{ cm}^3$ , en contacto directo una con otra, colocadas formando una espiral y unidas con una capa de mortero cemento arena de un centímetro de espesor proporción 1:3, con un refuerzo de alambre recocado perimetral. En las fotografías de la Figura 6 se presentan parte del proceso de fabricación de una pieza del sistema *Domotej*.



Figuras 6. Parte del proceso de fabricación de una pieza de componente para techo *Domotej*, elaborado en instalaciones de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, México, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Es importante exponer que debido a que los componentes de techo *Domotej* son prefabricados en el suelo y en una superficie plana, no se requiere de cimbra para construir un techo con este sistema, adicionalmente no se genera residuos pues se controla el manejo de los materiales, desde la modulación de las piezas de tabique, donde la clave del casquete es la mitad de una pieza cortada específicamente, hasta la

utilización racionada de cemento y arena, con dosificación controlada para la fabricación de cada pieza.

Una vez con los componentes suficientes se construyó el techo que fue evaluado térmicamente (Figura 7), donde las piezas prefabricadas se apoyaron sobre vigas de metal, de perfil monten de 2"x4" de calibre 14, con anclas metálicas de ½", soldadas a las vigas para contrarrestar el esfuerzo cortante. Finalmente el sistema es integrado por un recubrimiento de concreto de 3 cm de espesor, medido en la cúspide de cada casquete armado con una malla de acero electrosoldada 6-6/10-10 (Figura 8).

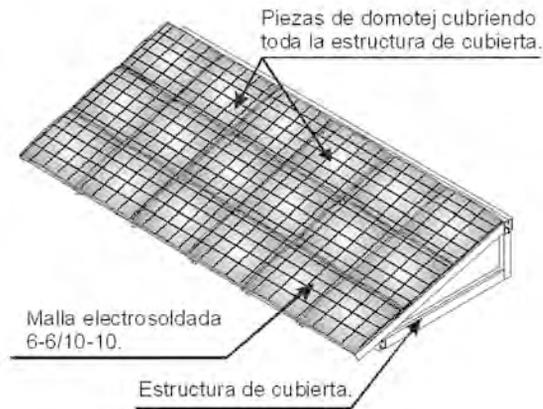


Figura 7. Detalle de techo alternativo *Domotej*.

Cabe enfatizar que las superficies superiores de ambos sistemas de techo tienen el mismo acabado, tanto en rugosidad y color.

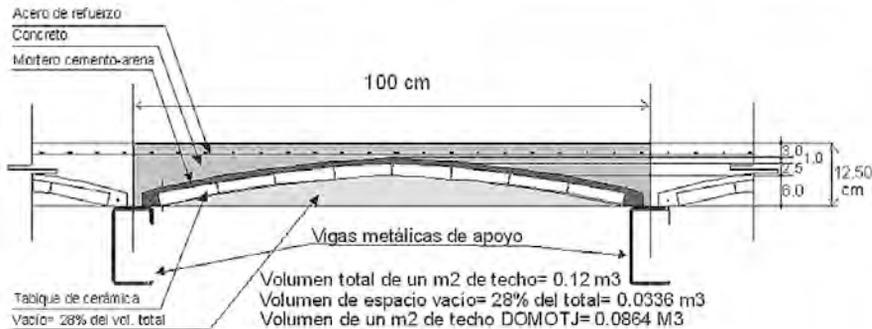


Figura 8. Corte de un metro cuadrado de techo *Domotej* con el cálculo de volumen de concreto utilizado.

## El equipo de mediciones

El equipo de mediciones térmicas utilizado fue de la familia HOB0 8 para interiores y exteriores (Figura 9), programado para realizar un registro continuo cada 20 segundos con promedios a cada media hora, en la primera etapa el experimento se realizó a partir del día 15 de abril hasta el día 15 de mayo de 2006.



Figura 9. Equipo de registro térmico continuo, de la familia HOB0 8.

En esta primera etapa del experimento se obtuvieron los registros térmicos (Figura 10), realizados durante el día 7 de mayo de 2006 definido como típico experimental [6], exponen la comparación del comportamiento térmico de los dos sistemas de techo: *Domotejy* de concreto armado.

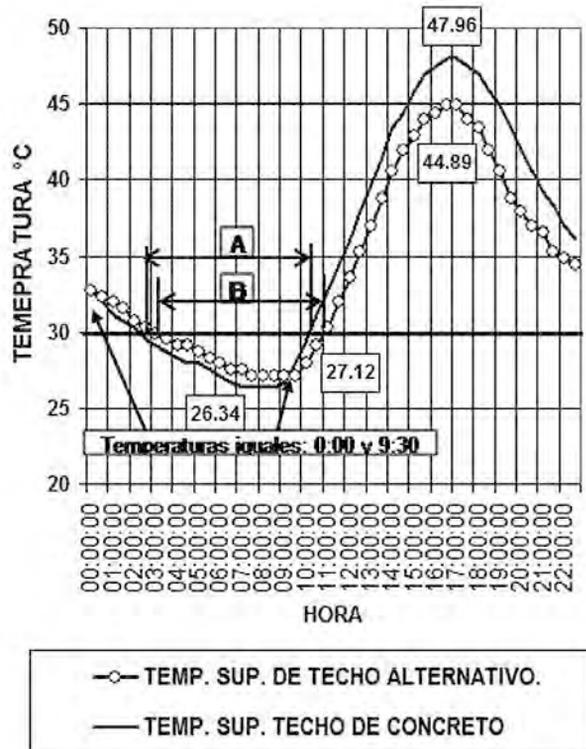


Figura 10. Gráfica donde se comparan las temperaturas superficiales interiores de los sistemas de techo, el día típico experimental, 7 de mayo de 2006.

Donde se tomó como límite máximo aceptable a los 30°C, lo que representa un grado centígrado abajo de la temperatura superficial de la piel [5], debido a que se considera que cuando el techo pasa de esa temperatura, puede estar aportando calor a los habitantes de la vivienda y, por consecuencia, efectos negativos.

Los dos sistemas de techo presentaron temperaturas superficiales interiores iguales en dos momentos, a las 0:00 horas,  $32.76^{\circ}\text{C}$ , y a las 9:30 horas,  $27.12^{\circ}\text{C}$ . El primer momento fue cuando la temperatura superficial del techo de concreto descendió, quedando por debajo de la temperatura superficial del techo del sistema *Domotej* hasta por un grado centígrado durante las nueve horas próximas, siendo hasta las 9:30 horas cuando la losa de concreto armado se calentó e igualó la temperatura interior del techo *Domotej*.

1. Las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techo llegaron a  $30^{\circ}\text{C}$ , con media hora de diferencia, siendo el techo de concreto armado el que se calentó más rápido y los dos sistemas mantuvieron 8 horas con temperatura por debajo de los  $30^{\circ}\text{C}$ , con media hora de desfase, como puede observarse en las magnitudes A y B (Figura 10). Las temperaturas superficiales interiores alcanzadas por los dos sistemas de techo superan los  $30^{\circ}\text{C}$  durante 16 horas.

Del ciclo experimental comparando las diferencia de media hora entre ellos, desde las 10:30 a.m., hasta las 2:30 a.m. del siguiente día, en el caso de la losa de concreto y de las 11:00 a.m., hasta las 3:00 a.m. del día siguiente.

2. En ambos sistemas de techo se aprecia captación de energía solar, desde las 9:00 horas en el techo de concreto y desde las 9:30 en el caso del *Domotej*.
3. En la misma comparación se aprecia que los dos sistemas de techo alcanzan su temperatura máxima a las 17:00 horas, siendo el techo alternativo  $3.07^{\circ}\text{C}$  menos caliente ( $44.89^{\circ}\text{C}$ ), que el techo de concreto armado ( $47.96^{\circ}\text{C}$ ).

## Discusión de los resultados

En los resultados se observaron dos variables de mayor importancia para el experimento a favor del sistema de techo *Domotej*: el retraso térmico de media hora y el amortiguamiento de temperatura de  $3^{\circ}\text{C}$ .

El retraso térmico logrado por el sistema de techo alternativo puede atribuirse a que entre los dos sistemas de techo existe una diferencia en los materiales que los constituyen, además del volumen que es menor en el *Domotej* hasta en 13%.

El *Domotej* se compone de dos materiales, mortero y ladrillos de arcilla cocida, mientras que el techo de concreto armado se compone de concreto y acero, por lo anterior el factor de conductividad térmica de los materiales es diferente, en el caso del *Domotej*: 0.530 W/mK<sup>12</sup> para el mortero y 0.814 W/mK para el ladrillo, en el caso de concreto armado: 1.750 W/mK para el concreto y 50 W/mK para el acero<sup>[9]</sup>, sumado a que la geometría utilizada en el *Domotej* admite la colocación de los tabiques de arcilla cocida en forma de casquete, permitiendo la reducción en el volumen de mortero utilizado, por todo lo anterior se entiende que el calor radiante del exterior no penetra con la misma velocidad en los dos materiales, favoreciendo al *Domotej*.

Para el caso del amortiguamiento térmico de un poco más de 3°C presentado por el *Domotej*, también está relacionado con los materiales utilizados pues cada material tiene una capacidad diferente de almacenamiento de calor (calor específico), que al relacionarlo directamente con el volumen del techo (calor específico volumétrico), define la cantidad de calor total que es capaz de almacenar, lo que se percibe en la diferencia lograda entre los dos sistemas de techo, logrando su máximo calentamiento a las 17 horas.

Con base en lo anterior y al comprobar que la ventaja térmica lograda con el techo *Domotej* es pequeña, tan solo de 3°C sobre el techo de concreto armado, se optó por adicionarle una capa de pasto sobre un sustrato de tierra de 10 cm de espesor (Figuras 11 y 12), con lo que se construyó un techo verde, tomando como base el sistema *Domotej*, debido a que el techo verde experimenta una mezcla de dos efectos térmicos: sombrear la superficie con el pasto y agregar al sistema masa térmica mediante el espesor del sustrato<sup>[10]</sup>.

---

<sup>12</sup> Un Watt por metro kelvin W/(m·K), es la conductividad térmica de un cuerpo homogéneo isótropo, en la que una diferencia de temperatura de un kelvin entre dos planos paralelos, de área un metro cuadrado y distantes un metro, produce entre estos planos un flujo térmico de un watt.

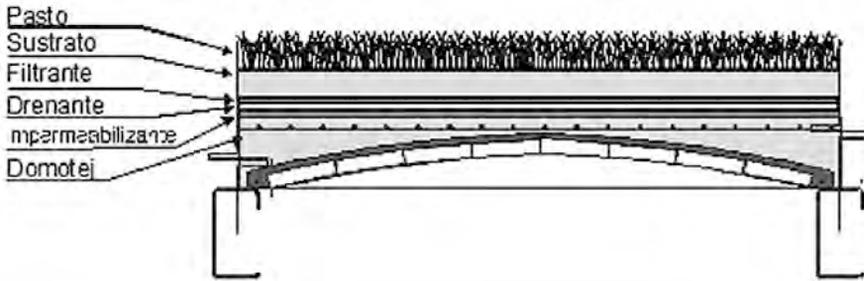


Figura 11. Estructura que muestra la composición del sistema *Domotej* techo verde.



Figura 12. Ejemplos de aplicación del sistema *Domotej* techo verde.

Debido a que el techo verde se construyó sobre el techo *Domotej*, se determinó un segundo día experimental, siendo este el 19 de mayo, con una temperatura máxima de  $33.59^{\circ}\text{C}$ , apenas  $1.4^{\circ}\text{C}$ , por abajo de la media de las máximas de las normales climatológicas de Tuxtla Gutiérrez, por lo que dicha temperatura es común que se presente durante la época de calor.

Con base en los datos expuestos en la Figura 13, se percibe una diferencia muy amplia entre el comportamiento térmico del *Techo Verde Domotej* (TVD) y el Techo de Concreto (TC).

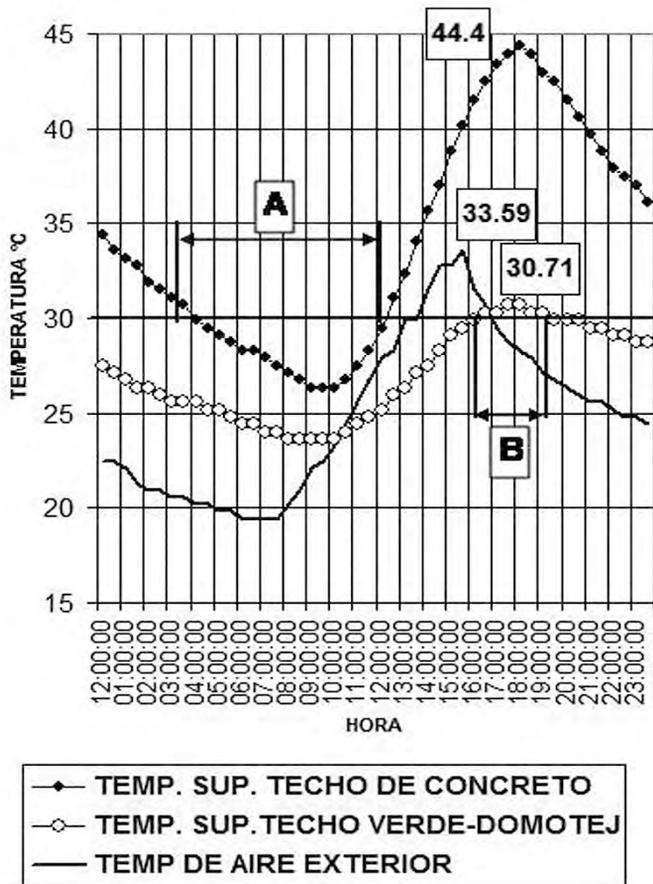


Figura 13. Comparación de las temperaturas superficiales del Techo Verde Domotej (TVD), con el Techo de Concreto (TC), el día 19 de mayo de 2006.

Esta diferencia se puede analizar en dos partes: la primera en las temperaturas máximas, siendo la diferencia hasta de 13.69°C. y la segunda, al comparar con el parámetro de los 30°C, se percibe que el TVD solamente pasó este límite durante tres horas, (dimensión B), de las 16:30 a las 19:30 horas, llegando a una temperatura máxima de 30.7°C a las 18:00 horas, en cambio el TC, se mantiene sobre el parámetro adoptado durante 16 horas desde las 12:00 hasta las 4 horas del día siguiente (dimensión A), llegando a una temperatura máxima de 44.4°C a las

18:00 horas, manifestándose una diferencia máxima de 13.69°C a favor del TVD y de igual forma una ventaja muy significativa de trece horas por arriba de los 30°C sobre el TC.

## Conclusiones

Con base en el trabajo desarrollado se relacionan las siguientes conclusiones:

- a. El techo de la vivienda de concreto armado, comúnmente utilizado en Tuxtla Gutiérrez, contribuye de manera significativa al calentamiento interior de la vivienda, principalmente por medio de calor radiante, debido a las características termofísicas de los materiales que lo constituyen (materiales pétreos y acero), su volumen y las cargas térmicas del clima cálido del contexto analizado.
- b. La contribución térmica de un sistema de techo *Domotej*, a la temperatura interior de la vivienda en Tuxtla Gutiérrez, es menor que el que ofrece el techo de concreto armado debido a los materiales que lo conforman y al volumen de los mismos, sin embargo no es suficiente para contribuir significativamente en el mejoramiento de la temperatura del aire interior del espacio techado.
- c. Aunque el retraso y amortiguamiento térmico logrado con el sistema de techo *Domotej* es conveniente por reducir su incidencia en la temperatura interior de la vivienda, lo que confirma el logro de los objetivos iniciales planteados, la ventaja lograda de 3°C no es significativa por lo que se propuso el *Techo Verde Domotej* (TVD), para ampliar dicho efecto.
- d. Es importante enfatizar que la propuesta de techo *Domotej*, es una alternativa desarrollada considerando aspectos del contexto analizado, tales como: cultura constructiva de la población, materiales utilizados en la localidad y con precios accesibles, por lo que el *Domotej* es un sistema de techo factible de ser construido en una primera etapa, por un grupo social más amplio

que el que construye con el concreto armado, debido al sistema constructivo de prefabricación que permite una inversión paulatina en el tiempo, sin concentrarse en un solo momento como lo exige el techo de concreto armado, por lo que con una asesoría menor, se adapta a la posibilidad de la autoconstrucción de los grupos sociales de menores ingresos.

- e. El TVD es una opción apropiada para el clima del contexto estudiado pero que se plantea como una estrategia de mejoramiento al techo *Domotej* (sin cubierta vegetal) totalmente factible de ser construido en una segunda etapa, sobre el techo *Domotej*, lo que reduce la penetración de calor por el techo, y por consecuencia mejora el confort térmico de la vivienda.

## Reconocimientos

Es importante reconocer al Sistema de Investigación Interna de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIINV-UNACH), por el financiamiento para el desarrollo del prototipo experimental, incluido en el proyecto *Construcción de vivienda Experimental con tecnología alternativa en terrenos de la Facultad de Arquitectura de la UNACH*, de su 4ª convocatoria, y al mismo tiempo citar que la evaluación térmica a diferentes sistemas de techos y paredes de la vivienda, forma parte de investigaciones conjuntas entre Cuerpos Académicos de las Universidades: Autónoma de Chiapas, en México, y la de São Paulo, en Sao Carlos, Brasil, con la participación del Proyecto XIV.8-Casapartes, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

## Referencias

1. INEGI. 2010. *III Censo de población y vivienda 2010*. México.
2. Ayllón, T., 1996. *Elementos de meteorología y climatología*. México, Trillas, pp. 179.
3. Morillón, D., 2003. Mapas del bioclima de la República Mexicana, en *Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2003 Vol. V, UAM, Limusa*, págs. 117-130.

4. Castañeda, G., Argüello, T. R., Cruz, C. O., José, S. y Jiménez, A., 2005. Evaluación del comportamiento térmico de vivienda social techada con el sistema placa losa, ubicada en el proyecto 10 x 10 Chiapas, de Tuxtla Gutiérrez, *Memoria de la XXIX Semana Nacional de Energía Solar*, México, Asociación Nacional de Energía Solar, A. C., pp. 49-54.
5. Auliciems, A. & Szokolay, S. V., 1999. *Thermal comfort. PLEA Notes, Brisbane, Passive and Low Energy Architecture (PLEA)*, Department of Architecture. University of Queenslandm. Australia.
6. Vecchia, F., 1997. *Clima e Ambiente construido. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP). Tese de doutoramento.
7. Monteiro, C. A., 1971. *Análise rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática e achegas para um programa de trabalho*. São Paulo, Instituto de Geografia-IGEOG IGEOG USP, Serie Climatologia No 1.
8. Castañeda, 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, pp. 543-545.
9. 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.
10. Vecchia, F., Castañeda, G. y Quiroa, H., 2007. *Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales*. en *Tecnología y Construcción 22-II*, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción / IDEC. Facultad de arquitectura y urbanismo Universidad Central de Venezuela, pp. 09-13.

