

## COMPARACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA CÁLIDO SUB-HÚMEDO: EL ANTES Y DESPUÉS DE SU TRANSFORMACIÓN EN EL TIEMPO

### THERMAL COMPARISON OF SOCIAL HOUSING IN SUB-HUMID WARM WEATHER: THE BEFORE AND AFTER PROCESSING IN TIME

#### GABRIEL CASTAÑEDA NOLASCO

Arquitecto, Universidad Autónoma de Chiapas, México, 1991. Maestro en Arquitectura, Universidad Autónoma de Yucatán, México, 1995. Doctor en ciencias de la Ingeniería Ambiental, Universidad de San Pablo, Brasil, 2008. Profesor titular de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda (COCOVI). Línea de investigación: transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática; vivienda contexto y sustentabilidad. gnolasco1@hotmail.com

#### KARLA I. OVANDO LÓPEZ

Arquitecta, Universidad Autónoma de Chiapas, México, 2010. Maestrante en Arquitectura y Urbanismo, Universidad Autónoma de Chiapas, México. Línea de investigación: transferencia tecnológica para la vivienda bioclimática; vivienda, contexto y sustentabilidad. jjjimenez67@hotmail.com

#### JOSÉ LUIS JIMÉNEZ ALBORES

Ingeniero Arquitecto, Instituto Politécnico Nacional, México, D.F. 1981. Maestro en Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2009. Profesor titular de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas.

#### RESUMEN

Se expone como caso de estudio el comportamiento térmico de dos viviendas de interés social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (México). Las condiciones térmicas se evaluaron bajo dos indicadores: prototipos originales y transformados con el fin de conocer el efecto energético que se suscita aplicando sistemas pasivos alternos con respecto a la tipología constructiva original. El análisis experimental, basado en la Climatología Dinámica (Vecchia, 1997), permitió determinar un período representativo de verano e identificar el día de excepcional calor. Los datos de temperaturas se obtuvieron con registradores automáticos de la marca Hobo-08. Los resultados demuestran que los sistemas pasivos originales y adoptados en las construcciones no se integran con su contexto climático por su constitución formal y material, impidiendo beneficios térmicos al habitante, situación que se puede mejorar con un diseño apropiado.

#### Descriptor

comportamiento térmico, vivienda de interés social, sistema pasivo.

#### ABSTRACT

*Exposed as a case study, the comparing two thermal units of social housing in Tuxtla Gutierrez, Chiapas; thermal conditions were evaluated under two indicators: original and transformed prototypes; to meet the energetic effect that arises by applying alternating passive systems with respect to the original building typology. The experimental analysis based on the Dynamic Climatology by Vecchia (1997), revealed a representative summer day period and identify the exceptional heat, temperature data were obtained with automatic recorders brand Hobo-08. The results show that the original construction and adopted passive systems do not integrate with its climatic context for its formal constitution and equipment, preventing thermal benefits to residents, a situation that can be improved with proper design.*

#### Descriptors:

*thermal behavior, social housing, passive system*

## COMPARACIÓN TÉRMICA DE VIVIENDA SOCIAL EN CLIMA CÁLIDO SUB-HÚMEDO: EL ANTES Y DESPUÉS DE SU TRANSFORMACIÓN EN EL TIEMPO

El proyecto de investigación se establece alrededor del estudio de las viviendas de fraccionamientos de interés social con superficie construida menor a 90m<sup>2</sup> en Tuxtla Gutiérrez. El nivel de demanda que existe actualmente por construcciones habitacionales es alarmante y constantemente éstas se perfilan como un área de oportunidad de negocio que conduce a veces a que las intenciones por satisfacerla lleven a la industria a ofrecer viviendas seriadadas sin reconocer beneficios en el ámbito de control ambiental, es decir, presentando propuestas económicas y en poco tiempo con espacios mínimos habitables, de tal manera que su venta sea rápida. Ello genera espacios carentes de bienestar térmico que impiden la permanencia y apropiación por parte de los habitantes, principalmente en época de calor, cuando se alcanzan temperaturas por arriba de los 37°C. Ante este hecho, los métodos inmediatos que se utilizan para contrarrestar tal efecto energético según la economía del habitante van desde el uso de sistemas de climatización artificial hasta la modificación del diseño de la envolvente original.

El objetivo central de este trabajo es mostrar si el diseño de los sistemas pasivos adaptados a la vivienda original y modificada cumple con los parámetros de calidad térmica requeridos para el contexto de Tuxtla Gutiérrez. Para evaluar el grado de adecuación al clima, primero se describieron los elementos de la envolvente de cada prototipo (orientación Sureste y Suroeste), continuando con los sistemas pasivos empleados en sus transformaciones tales como: elementos para el control de la radiación solar, orientación para el tratamiento de la ventilación, color de la superficie exterior del techo, color de la superficie exterior de los muros, altura interior y número de niveles, piso exterior en superficie del terreno, pavimentos, uso de vegetación y árboles.

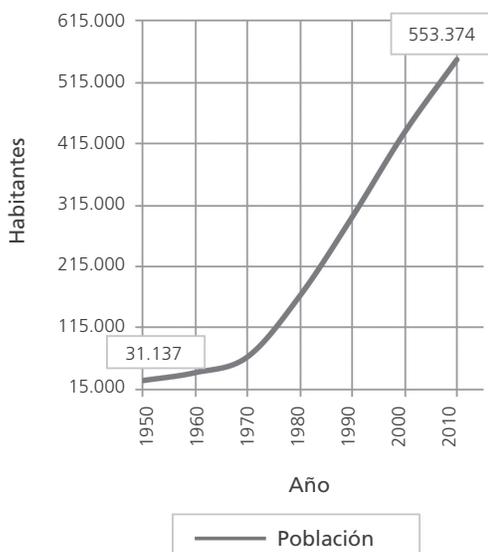
Posteriormente se explica la aplicación de la Climatología Dinámica en el contexto de estu-

dio, que definió el periodo de calor adecuado para realizar la fase experimental con los casos ya mencionados. Una vez evaluados los aspectos cuantitativos de cada vivienda, se procedió a dar respuesta a los datos obtenidos para finalmente exponer las conclusiones del trabajo.

### FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Tuxtla Gutiérrez, una de las zonas urbanas que presenta mayor demanda de vivienda, ha tenido en las últimas seis décadas un mayor y rápido crecimiento poblacional multiplicándose el número de habitantes casi dieciocho veces (ver gráfico 1). Esta zona suele experimentar un ambiente con altas temperaturas durante casi todo el año a causa de la extensión de su territorio y población, alcanzando en casos excepcionales hasta 42°C.

Gráfico 1. Crecimiento poblacional de Tuxtla



Fuente: elaboración propia, con datos del INEGI, 2010.

Actualmente, la industria está sujeta a comercializar una tipología formal y constructiva utilizando concreto y acero en su construcción, materiales que por sus características termofísicas almacenan energía radiante durante el día liberando gran parte de ella por la noche, lo cual no permite otorgar condiciones principalmente de habitabilidad térmica (Castañeda y Vecchia, 2007). No obstante, el componente que altera en gran medida las condiciones térmicas al interior de las viviendas en serie es el techo, constituido por una placa de concreto armado de 10 cm de espesor, siendo un sistema constructivo convencional predominante con un porcentaje de uso de 70% según INEGI (2010), y el cual puede alcanzar una temperatura superficial de 45°C con respecto a la del aire exterior de 37°C (gráfico 2).

El comportamiento térmico modifica la energía calorífica de los materiales como el concreto armado al almacenar ganancia térmica y a su vez permitir una cesión de calor produciendo una variación en su temperatura, por lo cual se desarrollan una serie de fenómenos en los elementos de la envolvente, los cuales se originan principalmente por la radiación solar directa sobre la superficie del techo, o se producen por intercambios de calor (conducción, radiación y convección) entre los materiales de la cubierta y el aire, la lluvia, etc.

En el contexto climático de la ciudad, este factor condiciona a habitar en espacios con temperaturas interiores por arriba del rango de confort 31°C y 34°C (Alluciens y Szokolay, 1999), al extremo de sufrir estrés térmico asociado a problemas de salud y productividad, principalmente en términos de impacto energético debido al consumo de energía eléctrica por climatización activa en la vivienda durante su ocupación, favorecido por el desempeño térmico inadecuado.

## METODOLOGÍA

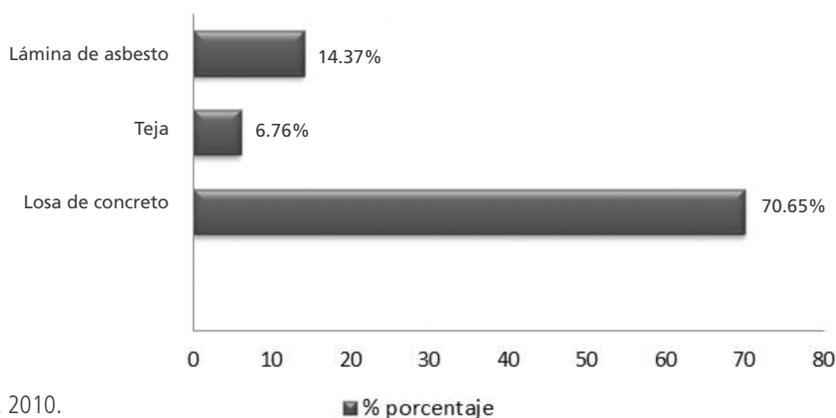
### El contexto

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. La evaluación térmica se realizó en la zona Norte-Oriente de la ciudad, en el fraccionamiento Vida Mejor.

### Descripción del caso de estudio

Fueron seleccionadas dos viviendas orientadas al Sureste y Suroeste (ver fig. 1; fotos 1 y 2) realizando la primera evaluación térmica en el año 2010 con los prototipos originales. Posteriormente el año 2012 se realizó la segunda evaluación con dichas viviendas ya modifica-

**Grafico 2. Porcentaje de materiales predominantes en el sistema de techo de las viviendas de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**



Fuente: INEGI, 2010.

das, dispuestas en los lotes regulares de 7,00 m x 15,00 m, con las siguientes características:

Prototipo original:

- El techo es de concreto armado de 12 cm de espesor con impermeabilizante color terracota, plafón interior de mortero cemento-arena de 1 cm espesor.
- Muros de block hueco de 15 cm x 20 cm x 40 cm, de 15 cm de espesor, asentado con mortero cemento-arena de 1 cm.
- Piso de concreto armado recubierto con mosaico de 5 cm de espesor.
- En ventanas vidrio simple de 3 cm y puerta de lámina metálica de 3 cm.

Prototipo transformado:

- Ampliaciones de techos con concreto armado de 12 cm de espesor con impermeabilizante color blanco y terracota, plafón interior de mortero cemento-arena de 1 cm espesor.

- Ampliaciones con muros de block hueco de 15cm x 20 cm x 40 cm, de 15 cm de espesor, asentado con mortero cemento-arena de 1 cm.
- Piso de concreto armado recubierto con mosaico de 5 cm de espesor.
- En ventanas vidrio simple de 3 cm y puerta de lámina metálica de 3 cm.

### Equipo de medición

Los datos se obtuvieron a través de registradores automáticos de la familia HOB0-08 y PRO V2, procesados mediante el programa de cómputo HOBOWARE PRO que permitió graficar la información directamente en el programa o exportándolo a una hoja de cálculo dentro del programa Excel, señalando el período de medición y los registros de temperaturas máxi-

Figura 1. Planta arquitectónica de la vivienda-tipo del fraccionamiento Vida Mejor.

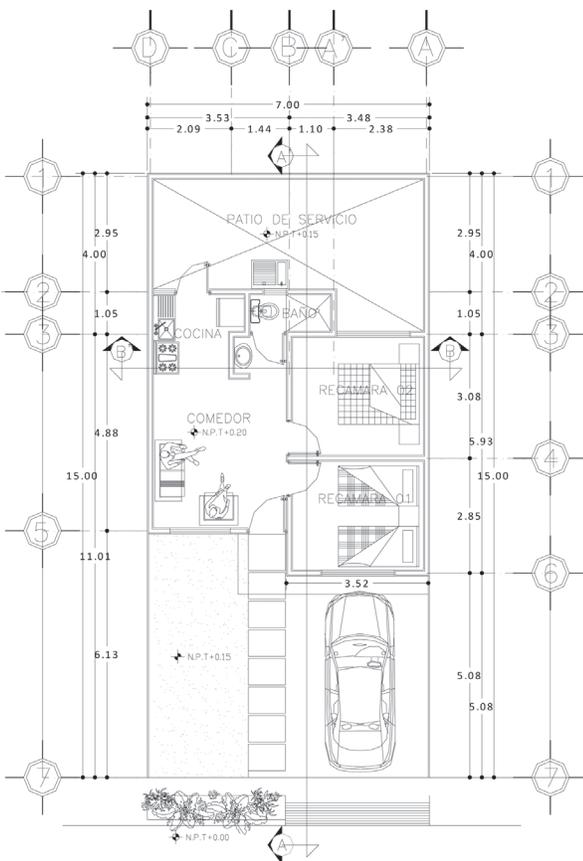


Foto 1. Prototipo original de la vivienda del fraccionamiento Vida Mejor, orientación Sureste.



Fuente: Ovando, 2010

Foto 2. Prototipo original de la vivienda del fraccionamiento Vida Mejor, orientación Suroeste.



Fuente: Ovando, 2010

mas, mínimas y promedios durante ese periodo, los cuales se confrontaron con la temperatura superficial de la piel de 31°C a 34°C de acuerdo a Auluciems y Szokolay (1999).

### Método de análisis térmico

La fase experimental se apoyó en la Climatología Dinámica (Vecchía, 1997). Se determinó un periodo representativo de calor mediante la identificación de la época más calurosa en el contexto de Tuxtla Gutiérrez, con base en el análisis de las normales climatológicas del lugar (1981-2000), determinando como periodo a estudiar el rango comprendido a partir de la mitad del mes de abril hasta la mitad del mes de mayo, debido a la recurrencia de temperaturas altas, humedad y radiación solar durante el año. Así, este lapso permite obtener el día experimental de máximo calor aun cuando pueda ocurrir un evento de masa de aire frío en el contexto.

Para evaluar las condiciones climáticas del contexto en estudio se midieron las temperaturas superficiales interiores en muros y techos de las dos viviendas, la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa. Con respecto al ambiente exterior se midió la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa para ambos casos.

### El día experimental de máximo calor

Posteriormente se definió un día experimental, es decir, aquel día de máximo calor ocurrido en el mes de abril del año 2010 y del mes de mayo de 2012, en comparación con la temperatura media de las máximas de las Normales Climatológicas de Tuxtla Gutiérrez de los últimos 20 años que registró 35,6 °C. Dichas temperaturas pueden considerarse más frecuentes en época de calor en la ciudad, como se aprecia en los gráficos 4 y 5.

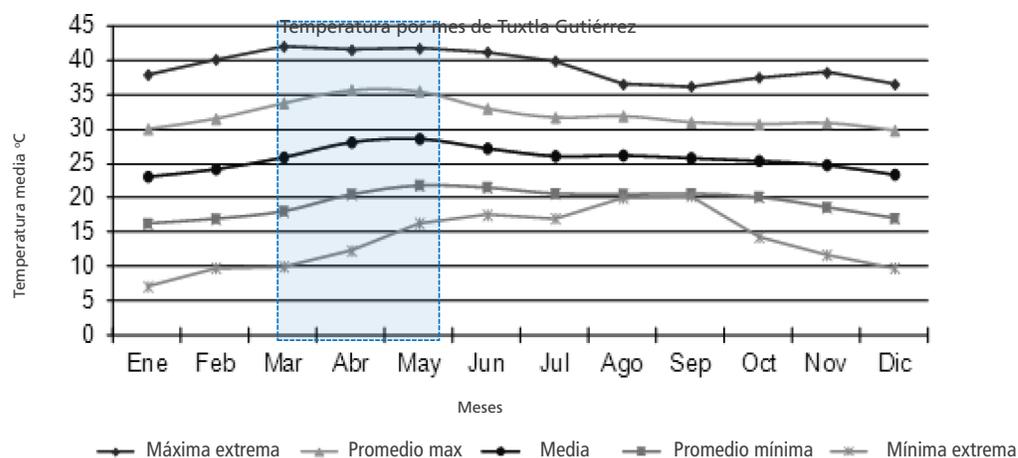
### DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS PASIVOS EMPLEADOS

Se analizó la configuración de las viviendas transformadas para identificar si los elementos integrados a las mismas cumplen o no con las condiciones adecuadas de ventilación y sombreado ante la incidencia de radiación solar directa.

### Orientación para el control de la radiación solar

En la foto 3 se observa la vivienda con fachada sureste, la cual recibe asoleamiento durante toda la mañana aproximadamente desde las

Gráfico 3. Período representativo de las temperaturas mayores en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.



Fuente: elaboración propia, con datos de las Normales climatológicas (1981-2000).

7:00 am a las 3:00 pm, adquiriendo ganancias térmicas en un lapso de 8 horas en todo el año. Por su parte, la vivienda con fachada suroeste permanece expuesta a la radiación solar durante toda la tarde a partir de las 12:00 p.m. Esta vivienda se diferencia de la anterior por ser de dos niveles y manejar elementos pasivos como volados (foto 4). En clima cálido sub-húmedo una vivienda tiene orientación adecuada para el control de la radiación solar si existen dispo-

sitivos de control solar en las ventanas, techos y muros que permitan bloquear tal fenómeno.

### Orientación para el tratamiento de la ventilación

Las ventanas de la fachada sureste no presentan una adecuada ventilación porque no cuentan con suficientes aberturas y debido a su emplazamiento no propician la ventilación

Gráfico 4. Registro de la temperatura del aire exterior con equipo Hobo, fraccionamiento Vida Mejor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

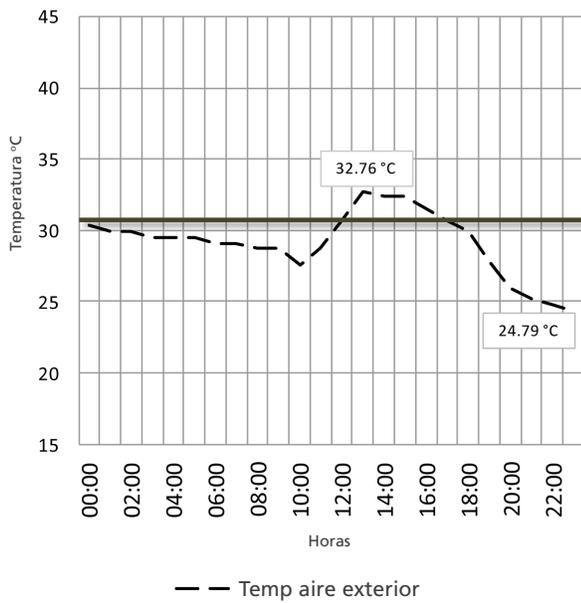


Gráfico 5. Registro de la temperatura del aire exterior con equipo Hobo, fraccionamiento Vida Mejor en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

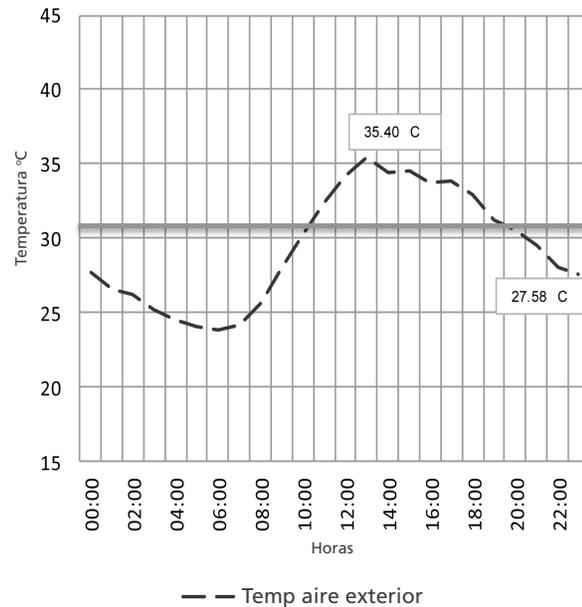


Foto 3. Vivienda modificada con orientación sureste y soluciones pasivas por el habitante, fraccionamiento Vida Mejor



Fuente: Ovando, 2012

Foto 4. Vivienda modificada con orientación suroeste y soluciones pasivas por el habitante, fraccionamiento Vida Mejor



Fuente: Ovando, 2012

cruzada en los espacios interiores de la vivienda. Para el caso de la vivienda fachada suroeste, se presenta el mismo efecto.

a) Color de la superficie exterior en muros

El color que tiene la fachada orientada al sureste, siendo el blanco un color de alta reflexión a la radiación solar y económicamente viable, es aceptable, no así en el caso de la vivienda con orientación suroeste debido ya que el color terracota tiene mayor índice de absorción solar.

b) Altura interior y número de niveles

Ambos casos presentan una altura interior conveniente no menor a 2,65 m, contemplando que el aire más cercano al techo es más caliente en comparación a la altura de los ocupantes. Se considera factible la construcción a dos niveles, presumiendo que las ganancias térmicas principalmente adquiridas por el techo se reducen en los espacios de la planta baja.

c) Piso exterior en la superficie del terreno

El piso exterior de la vivienda sureste y suroeste no se adecua al contexto de Tuxtla; el pavimento de concreto es un material de alta absorción y reflexión de energía solar si se compara con pisos permeables con pasto.

d) Vegetación y árboles

El uso de árboles y vegetación se aprecia en la vivienda con fachada sureste, permitiendo sombrear la ventana y regular el flujo del aire. En este caso, cuanto más alto crezcan más podrán disminuir la ganancia térmica al sombrear el techo.

## RESULTADOS

Se explican los resultados de la comparación térmica entre la vivienda orientación sureste y vivienda orientación suroeste a partir de las mediciones de las temperaturas superficiales de los techos y muros.

### Ganancias térmicas del techo (orientación sureste)

En el gráfico 6 se muestran las temperaturas superficiales del techo de concreto armado,

las cuales se incrementan a partir de las 9:00 am, y a partir de las 11:00 am superan los 30°C, permaneciendo dicha temperatura durante 13 horas continuas. La máxima registró 46,40°C a las 4:00 pm y la mínima 24,79°C a las 7:00 am, por lo tanto su amplitud térmica fue de 21,61°C en el día. Mientras tanto, la vivienda ampliada con el mismo sistema de techo (concreto armado de 10 cm de espesor) presentó similar comportamiento térmico para el mes de mayo (gráfico 7), registrando una temperatura superficial interior el techo de 43,91°C con una diferencia de 2,49°C a la misma hora respecto al prototipo, teniendo una amplitud térmica de 18,24°C durante el día. A partir de las 10:30 am supera los 30°C que se prolongan durante casi 13 horas continuas hasta la madrugada provocando estrés térmico al usuario.

### Ganancias térmicas del muro (orientación sureste)

En la vivienda tipo, las temperaturas superficiales del muro (block 12 cm x 20 cm x 40cm) con orientación hacia el sureste permanecieron por arriba de 30°C durante un lapso de 12,5 horas en el día, iniciando a las 11:00 am como se aprecia en el gráfico 2. La máxima fue de 36,13°C a las 4:30 pm, superando la temperatura exterior de 30,71°C a la misma hora y las temperaturas más bajas son durante el amanecer, siendo la menor de 26,34°C entre 7:00 am y 9:00 am. Posteriormente la vivienda transformada (año 2012) resultó más crítica debido a que la TSI del muro con la misma orientación permaneció en todo el día por encima de 30°C (gráfico 7); su mínima osciló entre 29,90°C a las 9:30 am y la temperatura máxima alcanzó los 36,57°C.

### Ganancias térmicas del techo (orientación suroeste)

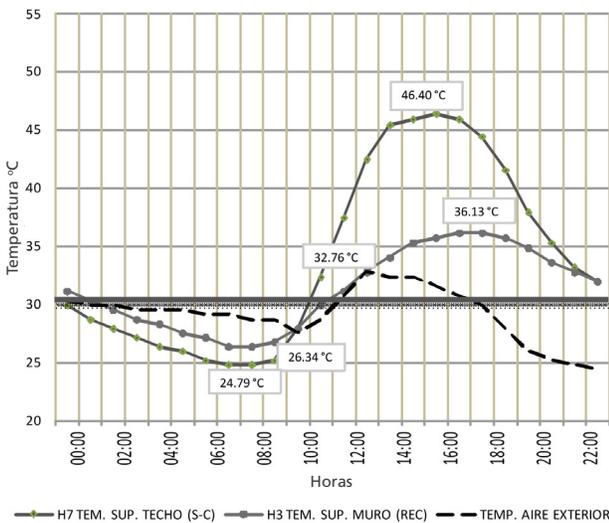
El primer análisis de la vivienda con orientación suroeste se basó en las temperaturas superficiales del techo de teja de barro el cual obtuvo una

temperatura mínima a las 7:00 am de 23,24°C (gráfico 8), ampliando su temperatura alrededor de las 10:00 am con una diferencia de 4,67°C, pues registró a esa hora 27,91°C. Los 30°C los alcanzó a las 10:30 am y su máxima temperatura llegó a 38,77°C a la 1:00 pm aumentando en ese lapso de casi 3 horas 11°C más, teniendo entonces una amplitud térmica de 15,53°C.

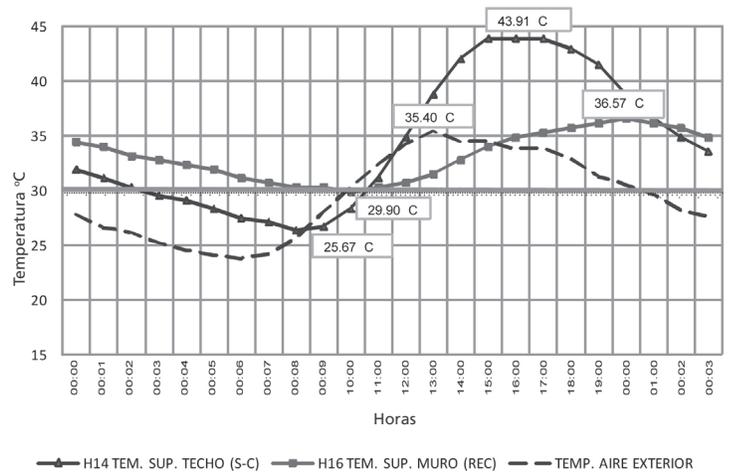
Por otra parte, la vivienda se amplió a dos niveles utilizando el sistema de techo de concre-

to armado en losa de entrepiso y azotea eliminando la cubierta de teja; el sistema alternativo registró una temperatura superficial máxima de 43,91°C y una mínima de 26,73°C a las 8:00 am, obteniendo una amplitud térmica de 17,18°C (gráfico 9). Las temperaturas por encima de los 30°C iniciaron a las 10:30 am, permaneciendo a más de 40°C en el lapso de 1:00 pm a 6:00 pm comparada con la temperatura exterior máxima de 35,40°C.

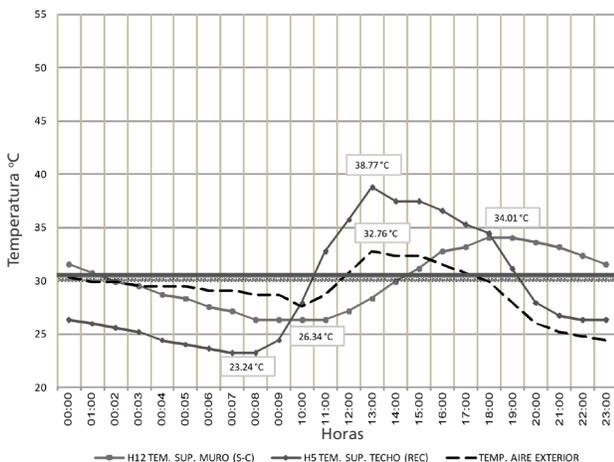
**Gráfico 6.** Comparación de la temperatura del aire exterior con la temperatura superficial de techo y muro, vivienda-tipo con orientación sureste, durante el día 8 de abril de 2010.



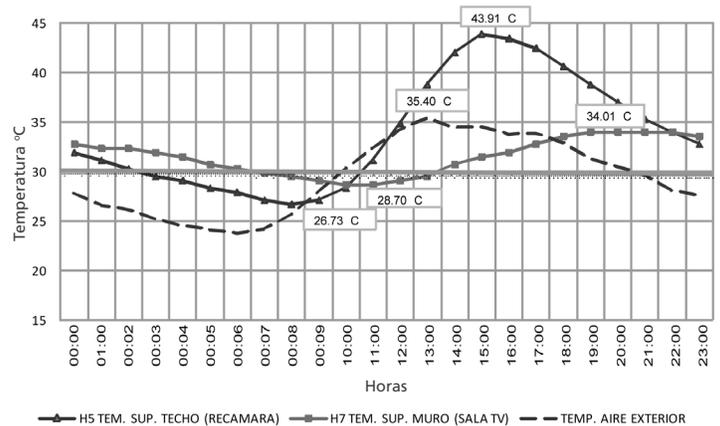
**Gráfico 7.** Comparación de la temperatura del aire exterior con la temperatura superficial de techo y muro, vivienda-transformada con orientación sureste, durante el día 4 de mayo de 2012.



**Gráfico 8.** Comparación de la temperatura del aire exterior con la temperatura superficial de techo y muro, vivienda-tipo con orientación suroeste, durante el día 8 de abril de 2010.



**Gráfico 9.** Comparación de la temperatura del aire exterior con la temperatura superficial de techo y muro, vivienda-transformada con orientación suroeste, durante el día 4 de mayo de 2012.



### Ganancias térmicas del muro (orientación suroeste)

En el gráfico 4 se aprecian las temperaturas superficiales del muro (block 12 cm x 20 cm x 40cm) con orientación fachada suroeste. La temperatura más baja se registró a las 10:00 am con 26,34°C, incrementándose alrededor de las 2:00 pm a 29,90°C, es decir, en un lapso de 3 horas. Las temperaturas por encima de 30°C iniciaron a la 2:30 pm y se mantuvieron durante 10 horas continuas, descendiendo a partir de las 12:00 am. La máxima estuvo en 34,01°C a las 6:30 pm, cuando la temperatura exterior era de 29,10°C a la misma hora.

En la segunda etapa de evaluación se analizó un muro con iguales características físicas y misma orientación. Su comportamiento térmico mostró una temperatura superficial máxima de 34,01°C alrededor de las 7:00 pm, mayor a la temperatura del aire exterior de ese momento; su mínima fue de 28,70°C y se mantuvo por encima de los 30°C casi 15 horas continuas.

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis general expuesto advierte que los desarrollos inmobiliarios limitan consideraciones de adecuación al clima en la construcción

de las viviendas de interés social devastando su calidad térmica principalmente en época de calor. Ante este hecho, el usuario se sumerge en la búsqueda inmediata de sistemas pasivos para el control de la radiación solar tales como: protecciones de aleros horizontales o verticales en ventanas, ampliación hasta dos niveles, uso de vegetación, entre otros; no obstante, dichos elementos son seleccionados y dispuestos de forma intuitiva, lo que impide un mejoramiento de las condiciones constructivas y habitables. Un importante aspecto térmico se demostró con las temperaturas del techo de teja de barro, porque no sobrepasaron los 40°C debido a su baja densidad y volumen. Esto significó que liberaron en menor tiempo la energía radiante obtenida en el día comparado con el techo de concreto armado que alcanzó temperaturas extremas por encima de 40°C y por más de 12 horas, superando el límite de la temperatura superficial de la piel 31°C a 34°C (Alluciens y Szokolay, 1999). Sin embargo, El sistema de techo de teja pierde rápido el calor radiante captado, principalmente por convección, debido al efecto de la filtración constante de aire a través de las múltiples rendijas existentes entre estas, favoreciendo su aplicación en regiones de clima cálido en general, lo que puede contribuir al ahorro de energía utilizada en climatización.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aulliciens y Szokolay. S.V. 1999. "Thermal confort". PLEA Notes, Brisbane (Australia), PLEA: Passive and Low Energy Architecture. University of Queensland.
- 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.
- Comisión Nacional del Agua y el Sistema Meteorológico Nacional. Página web: <http://smn.cna.gob.mx>.
- Olgay, V. 1998. "Arquitectura y clima". Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas. Edit. Gustavo Gilli. Barcelona.