

Comportamiento térmico de un sistema de techo alternativo para vivienda social en Tuxtla Gutiérrez (Chiapas, México)*

Gabriel Castañeda

Facultad de Arquitectura de la UNACH, Chiapas, México

Francisco Vecchia

Universidade de São Paulo USP, Brasil

Resumen

Se expone el resultado de la comparación experimental del comportamiento térmico de dos sistemas de techo: losa de concreto armado y Domotej, con el objetivo de demostrar que el Domotej es una propuesta de techo alternativo que mejora el comportamiento térmico del techo de concreto armado utilizado convencionalmente en las viviendas construidas en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. El análisis térmico se realizó en un día típico experimental, comparando las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techos durante la actuación de una masa de aire caliente.

Abstract

Exposed, are the results of the experimental comparison of thermic conduct in two roof systems: the reinforced concrete slab and the Domotej, aiming to demonstrate that the Domotej is a proposition of roof alternative that improves the thermal conduct of the reinforced concrete roof used conventionally in the housings built in Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. The thermal analysis was carried out during a typical experimental day, comparing the superficial temperature of the two systems during the action of a hot air mass.

Según la clasificación de W. Koeppen (Ayllón, 1996), Tuxtla Gutiérrez 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 que llegan incluso, en casos excepcionales, hasta 42°C.

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

Por otra parte, en Tuxtla Gutiérrez, como en muchas otras zonas del país, se ha experimentado un crecimiento urbano alarmante en las últimas décadas, con notable reducción de la superficie cubierta por vegetación debido al incremento en la construcción de diferentes tipos de edificios, aumentando la superficie de terrenos cubiertos con concreto (hidráulico y asfáltico) en calles, parques, patios, techos, etc., lo que presupone el incremento en la temperatura del microclima de estas zonas de en general y en las edificaciones en particular, por el almacenamiento de energía radiante durante el día y su liberación por la noche (Cruz et al., 2006).

En Tuxtla Gutiérrez, en el período de primavera, un sistema de techo de concreto armado comúnmente utilizado en la vivienda, de acuerdo con mediciones experimentales (Castañeda y Arguello, 2005; Cruz et al., 2006), alcanza una temperatura superficial de 45°C cuando la

* Propuesta del Sistema de techo prefabricado Domotej, resultado de la tesis doctoral "Adaptación de sistema de techo para vivienda social en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México", desarrollada en el programa de Doctorado em Ciências da Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil. Es importante hacer un reconocimiento 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", en su 4ª convocatoria.

Descriptorios

Comportamiento térmico; Techo alternativo; Análisis térmico en viviendas.

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 encima de los 30°C a partir del medio día, temperatura que puede considerarse como límite para que el ser humano no sufra en su metabolismo problemas por estrés térmico, considerando que la temperatura de la piel se mantiene entre 31°C y 34°C (Auliciems y Szokolay, 1997).

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 consiguientes efectos económicos negativos.

Por todo ello en el presente trabajo, que es parte de la tesis doctoral "*Adaptação tecnológica para teto de habitação social: Estudo de caso em Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México*", 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.

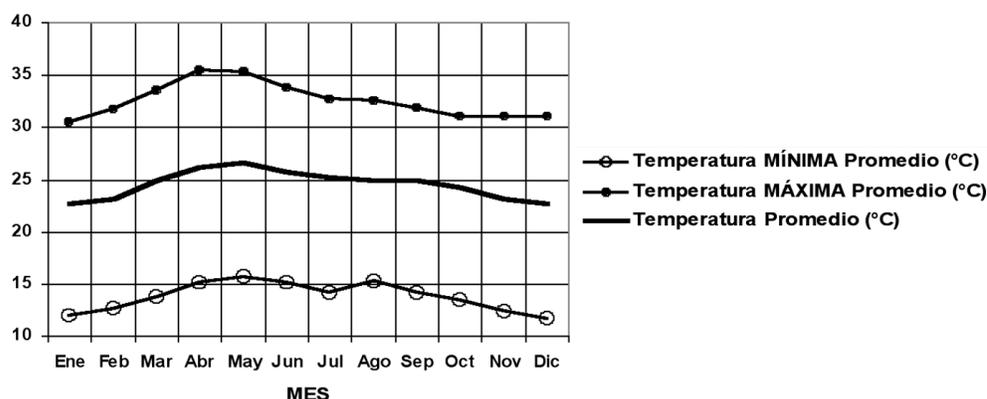
Materiales y métodos

Análisis climático

Para desarrollar el trabajo experimental cuyo objetivo central es la comparación de las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techo: concreto armado y Domotej, se determinó un período representativo de calor mediante la identificación de la época de más 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 período a estudiar el comprendido desde la mitad del mes de abril hasta la mitad del mes de mayo, que conforma un periodo con temperaturas altas durante el año, como se aprecia en el gráfico 1.

Con apoyo en la teoría de la climatología dinámica (Vecchia, 1997), se determinó que el período entre el 15 de abril al 15 de mayo de 2006 es el adecuado para desarrollar el experimento, como se aprecia en el gráfico 2, durante el cual se definió un periodo representativo de calor, dominado por la masa de aire caliente, que de acuerdo con el ritmo climático (Monteiro, 1971), fue del 2 al 12 de mayo de 2006, cuando se alcanzaron las temperaturas más altas de 2006 (a pesar de que el día 10 de mayo fue el más caluroso del año en Tuxtla Gutiérrez, se definió como día típico experimental; cf. Vecchia 1997). El día 7 de mayo, con una temperatura máxima de 36,13°C (más de 1°C la media de las temperaturas máximas de las normales climatológicas de Tuxtla Gutiérrez del período

Gráfico 1
Normales climatológicas de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 1951-1980



Fuente: Datos obtenidos del Sistema Metereológico Nacional.

1951-1980, que llegaron a 35°C), fue considerado el más adecuado para hacer las comparaciones del experimento. como se aprecia en el gráfico 3.

Descripción de las tecnologías

En Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, el techo de la vivienda, hasta en 80% de los casos, es construido con una placa de concreto armado (INEGI, 2005), generalmente de 10 cm. de espesor fundido monolíticamente en el lugar, lo que inicialmente exige una inversión considerada entre 20% y 30% del costo total de la vivienda (Castañeda, 2005). Esto se aplica a todos los niveles socioeconómicos de la población, a pesar del alto precio de los materiales, y 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, lo que generalmente logran al cabo de un período que se extiende entre 15 y 20 años (Castañeda, 2005).

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.

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 con varilla corrugada de 3/8" o mallas electrosoldadas, para contrarrestar los esfuerzos de tensión, como se puede ver en el gráfico 4.

Por su parte la propuesta de techo alternativo Dometej se compone de piezas prefabricadas con forma de casquete de base cuadrada de 96 cm x 96 cm, elaborada con 24,5 piezas de tabique artesanal de arcilla cocida de 2,5 cm x 12 cm x 26 cm, en contacto directo una con otra, colocadas formando un espiral y unidas con una capa de mortero cemento arena de 1 cm de espesor proporción 1:3, con un refuerzo de alambre recocido perimetral. En

Gráfico 2
Período representativo de calor en Tuxtla Gutiérrez del 15 de abril al 15 de mayo de 2006

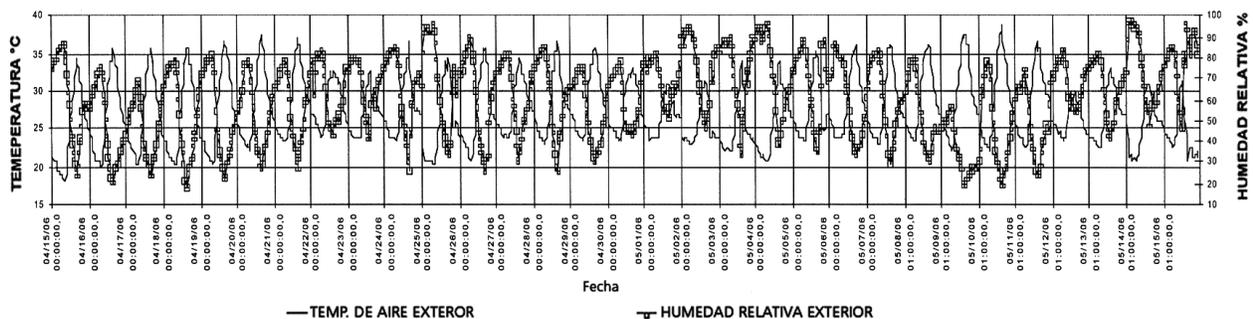
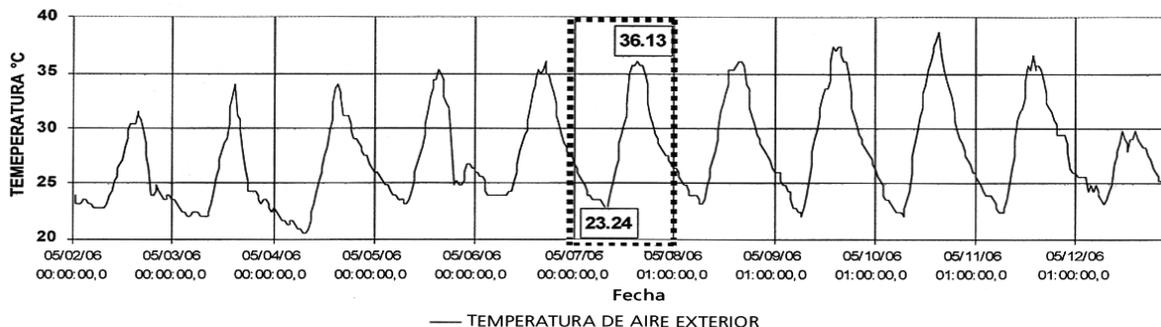


Gráfico 3
Período representativo de calor del 2 al 12 de mayo de 2006, donde se determinó al día 7 como el día típico experimental



las fotos 1, 2 y 3 se presenta parte del proceso de fabricación de una pieza.

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, además de que 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.

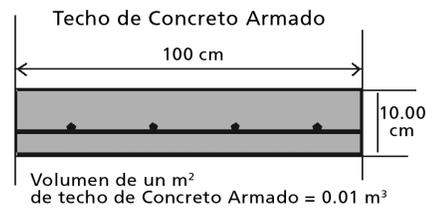
Una vez con los componentes suficientes se construyó el techo que fue evaluado térmicamente, como se

aprecia en el gráfico 5 y foto 4, donde las piezas prefabricadas se apoyaron sobre vigas de metal, de perfil Mon-ten, de 2" x 4" de calibre 14, con anclas metálicas de 1/2", 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 electro-soldada 6-6/10-10, como se aprecia en la gráfico 6.

El equipo de mediciones

El equipo de mediciones térmicas utilizado fue de la familia HOBO 8 para interiores y exteriores, como se apre-

Gráfico 4
Corte esquemático de techo de concreto armado con el cálculo del volúmen de concreto



Fotos 1, 2 y 3
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



Gráfico 5, Foto 4
Detalles de techo alternativo

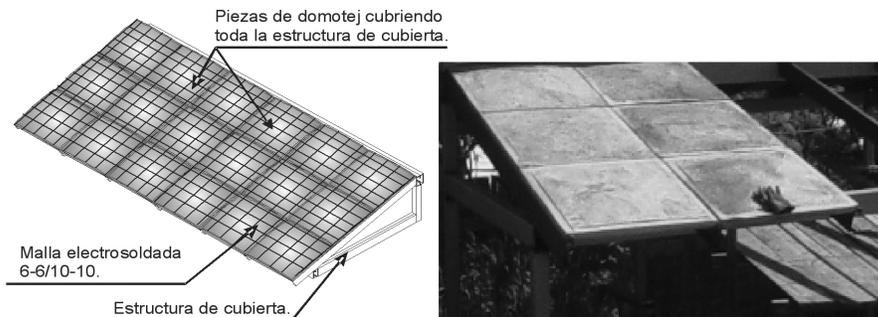
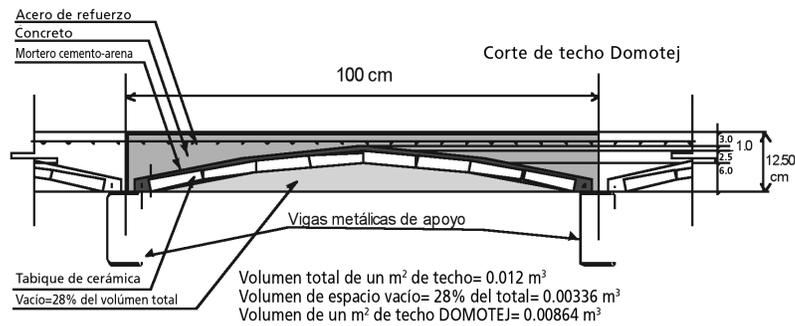


Gráfico 6
Corte de un metro cuadrado de techo DOMOTEJ, con el cálculo de volúmen de concreto utilizado en un metro cuadrado



Fotos 5 y 6
Equipo de registro térmico continuo, de la familia HOBO 8



cia en las fotos 5 y 6, 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.

Resultados

Los registros térmicos que se muestran en el gráfico 7, realizados durante el día 7 de mayo de 2006, definido como típico experimental (Vecchia, 1997), exponen la comparación del comportamiento térmico de los dos sistemas de techo: Domotej y de concreto armado. Se tomó como límite máximo aceptable 30°C, por considerar que cuando el techo pasa de esa temperatura, puede estar aportando calor a los habitantes de la vivienda y, en consecuencia, efectos negativos.

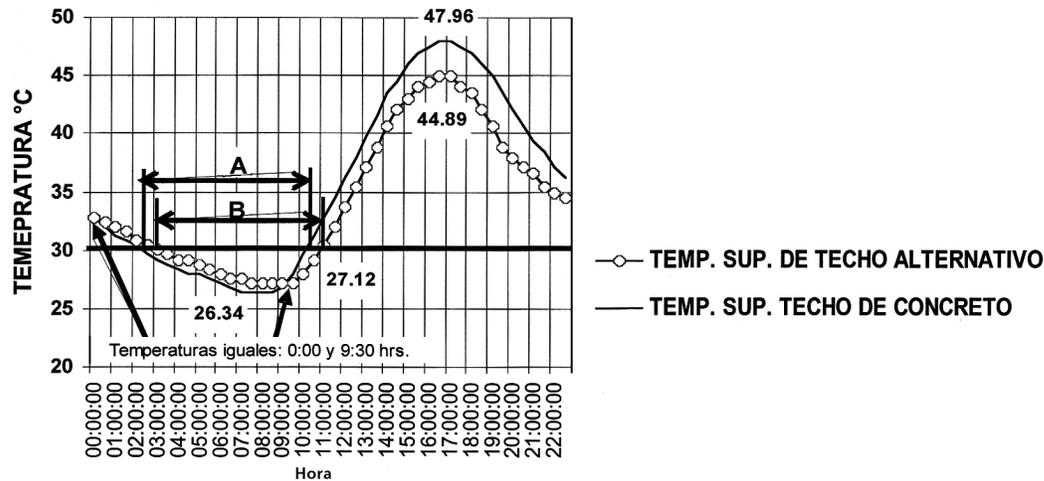
Los dos sistemas de techo presentaron temperaturas superficiales interiores iguales en dos momentos, a las 0:00 horas: 32,76°C, y a las 9:30 horas: 27,12°C. El primer momento fue cuando la temperatura superficial del techo de concreto descendió, quedando por debajo de la temperatura superficial del techo del sistema Domotej hasta por 1°C durante las siguientes 9 horas, siendo a las

9:30 horas cuando la losa de concreto armado se calentó e igualó la temperatura interior del techo Domotej.

- Las temperaturas superficiales de los dos sistemas de techo llegaron a 30°C con media hora de diferencia, siendo el techo de concreto armado el que se calentó más rápido y los dos sistemas se mantuvieron 8 horas con temperatura por debajo de los 30°C, con media hora de desfase, como se puede observar en las magnitudes A y B del gráfico 7.
- Las temperaturas interiores alcanzadas por los dos sistemas de techo supera los 30°C durante 16 horas del ciclo comparado, con una diferencia de media hora entre ellos, desde las 10:30 am hasta las 2:30 am del siguiente día en el caso de la losa de concreto, y de las 11:00 am hasta las 3:00 am del día siguiente.
- 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 horas en el caso del Domotej.
- 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°C. menos caliente (44,89°C) que el techo de concreto armado (47,96 °C).

Gráfico 7

Donde se comparan las temperaturas superficiales interiores de los sistemas de techo, Domotej y Concreto Armado, el día típico experimental, 7 de mayo de 2006



Discusión

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°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 de que el volumen es menor hasta en 13% en el Domotej.

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 que el factor de conductividad térmica de los materiales es diferente. En el caso del Domotej: 0,530 W/mK 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 (González, 1997), 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 ello 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.

Conclusiones

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

- El techo de la vivienda de concreto armado comúnmente utilizada en Tuxtla Gutiérrez contribuye de manera significativa al calentamiento interior de la vivienda 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.

- La contribución térmica a la temperatura interior de la vivienda en Tuxtla Gutiérrez de un sistema de techo Domotej, es menor que el que ofrece el techo de concreto armado debido a los materiales que lo conforman y el volumen de los mismos.
- 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 planteados, aún falta trabajar en proyectos futuros que permitan ampliar su efecto.
- El resultado del trabajo realizado permite visualizar líneas para desarrollar nuevas propuestas que mejoren el funcionamiento del techo como un elemento protector hacia el habitante de la vivienda.
- 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 precios accesibles, por lo que el Domotej es un sistema de techo que puede ser construido por un grupo social más amplio que el que construye con el concreto armado, ya que el sistema constructivo de prefabricación permite una inversión paulatina en el tiempo, sin concentrarse en un solo momento como lo exige el techo de concreto armado. Esto hace que con una asesoría menor se adapte a la posibilidad de la autoconstrucción por parte de los grupos sociales de menores ingresos.

Referencias bibliográficas

- Auliciems y Szokolay, 1997 (1999) *Thermal comfort*. PLEA Notes, PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland. Brisbane, Australia.
- Ayllón, T. (1996) *Elementos de meteorología y climatología*. México, Trillas.
- 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.
- Castañeda N, G.; Argüello M. T.; Cruz S, C.; Jiménez A, J. et al. (2005) Evaluación del comportamiento térmico de vivienda social techada con el sistema placa losa. Proyecto 10x10 Chiapas, de Tuxtla Gutiérrez. Memoria de la XXIXª Semana Nacional de Energía Solar. Asociación Nacional de Energía Solar, A. C., México. pp. 49-54
- Cruz, C.; Castañeda N, G.; Vecchia, F.; Jiménez, J. et al., (2006) El recurso biótico en la arquitectura. Vegetación regional en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, como protección ante el calentamiento de las edificaciones en Memoria de la XXX Semana Nacional de Energía Solar, México, Asociación Nacional de Energía Solar, A.C. pp. 161-164
- González, E. (1997) Étude de matériaux et de techniques de refroidissement passif pour la conception architecturale bioclimatique en climat chaud et humide. Thèse de doctorat en Energétique, Ecole des Mines de Paris, France.
- INEGI, 2005 INEGI, (2006) II Conteo de población y vivienda 2005, México. <http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=6224>
- Monteiro, C. A. de F. (1971) *Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática e achegas para um programa de trabalho*. Instituto de Geografia-IGEOG, Série Climatologia nº 01, 1971 USP, São Paulo.
- Morillón, G. (2003) Mapas del bioclima de la República Mexicana, en *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, Anuario 2003 Vol. V, UAM, Limusa, pp. 117-130
- Vecchia, F. (1997) "Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano". Tese de doutoramento. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP). São Paulo.