

INVESTIGACIÓN

La vivienda energéticamente eficiente

José Diego Morales Ramírez

Facultad de Arquitectura

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México

josediego.morales@gmail.com

Realizó sus estudios de licenciatura, maestría y doctorado en la Facultad de Arquitectura de la UNAM. Al término de sus estudios profesionales inició su labor de investigación en el Centro de Investigación en Materiales de la UNAM (1980), para posteriormente incorporarse al Laboratorio de Energía Solar (1987), actual Instituto de Energía Renovable (IER) también en la UNAM, dentro de la línea de investigación del diseño bioclimático de edificios, nicho que ha continuado y profundizado a lo largo de su trayectoria académica al incorporarse, en 1992, a la Facultad de Arquitectura de la UNAM.

135

Fecha de recepción: 1º de febrero de 2015

Fecha de aceptación: 20 de marzo de 2015

Resumen

El déficit de vivienda en México se ha atendido a través de la construcción de viviendas en serie, sin embargo por una parte, no han sido suficientes para cubrir la demanda existente y por otra parte, los prototipos construidos no han presentado condiciones de habitabilidad adecuada para sus usuarios. Buena parte importante de la producción de viviendas en el país se realiza por autoconstrucción, representando también viviendas inadecuadas al no contar con una guía técnica profesional para su diseño. El propósito del presente artículo consiste en plantear estrategias de diseño para la construcción de viviendas energéticamente eficientes que utilicen sistemas de climatización natural, aplicándolo en dos de los climas más críticos de México: el cálido seco extremo y el cálido húmedo, estrategias que podrían servir de guía para la población del país que realiza por autoconstrucción su vivienda.

Palabras clave: vivienda en serie, autoconstrucción, eficiencia energética, clima extremo.

Energy efficient housing

Abstract

The answer to housing deficit in Mexico has been through serial house construction, but this approach has not met the existing demand, nor have built prototypes provided adequate living conditions for their users. A significant part of housing production in Mexico is solved through self-construction, resulting in inadequate products for lack

of professional technical guidance. This paper lays out design strategies for the construction of energy efficient housing in two of Mexico's extreme climatic conditions, namely warm and dry weather, and hot and humid climate.

Keywords: Serial housing, self-construction, energy efficiency, extreme weather

Introducción

La producción de vivienda en México se ha desarrolla en las últimas décadas a través de diversas inmobiliarias que han

buscado obtener una ganancia económica máxima, en el menor tiempo posible, propiciando la construcción de prototipos en serie que se ubican en las distintas regiones del país, sin tomar en cuenta el desempeño térmico de dichos prototipos, en función a las características climáticas particulares de cada región.

Las consecuencias de ello son, en algunos casos, el abandono de las viviendas, o por el contrario, el hecho que los usuarios tengan que soportar condiciones ambientales inadecuadas, pues las utilizan para desarrollar sus actividades de trabajo, recreación y descanso, propias de toda vivienda.



Arriba. Conjunto Fraccionamiento Rinconada Los Nogales; Chihuahua, Chihuahua. Fotografía: Mario Echanove García (MEG), 2004-2010¹

Derecha. Detalle del conjunto Fraccionamiento Rinconada Los Nogales; Chihuahua, Chihuahua. Fotografía: MEG, 2004-2010



¹ Se agradece el préstamo de las primeras dos imágenes al arquitecto Mario Echanove García, de la Coordinación de Investigación y Mejoramiento de Vivienda, del Instituto de la Vivienda del Estado de Chihuahua, administración 2004-2010.

Se debe tomar en cuenta que en México, a pesar de la cantidad de viviendas que construyen las inmobiliarias, el mayor porcentaje de producción de las mismas sigue generándose por autoconstrucción, por lo que sería recomendable que el gobierno dejara de comprender a la vivienda sólo como un objeto aislado y se le interprete como un sistema, ya que al tratarla como una entidad aislada se termina respondiendo con meros objetos (construcción de viviendas) que en general son inhabitables; por el contrario, si se la comprende como a un sistema, se respondería a su problemática mediante, por ejemplo, créditos a los usuarios, para que cada uno resolviera su habitación de acuerdo a las necesidades particulares según cada caso.

Los usuarios que obtuvieran estos apoyos financieros, requerirían de una guía que les ayudase a construir sus viviendas, de manera adecuada al clima donde estarán ubicadas. Y es que si bien en la República Mexicana se posee una diversidad de climas, existen dos zonas climáticas particularmente complicadas: la *cálida seca* característica del noroeste del país y la *cálida húmeda*, proveniente de las zonas costeras del Pacífico y del Golfo de México, para las cuales se plantean aquí sus correspondientes estrategias de climatización natural, que les sirvan de guía a los usuarios para obtener viviendas confortables desde el punto de vista térmico.

Ha de recordarse que la climatización natural de edificios se puede lograr utilizando el clima como recurso, al aprovechar la variabilidad que se presenta en los ciclos diarios y estacionales; ya que, a diferencia de la manera en que funcio-

nan los sistemas de climatización electro-mecánicos, durante el día la variación de la temperatura va siendo gradual y los materiales de construcción la almacenan también gradualmente, emitiendo el calor almacenado varias horas después cuando la temperatura ambiente va en descenso.

Con base en lo anterior, la metodología empleada para establecer estrategias de diseño térmico para edificios consiste en caracterizar el clima del lugar donde estarán ubicados éstos, utilizando los datos de las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional, que contiene información de períodos de hasta 60 años de temperaturas máximas extremas, promedios de máximas, promedios de temperaturas medias, promedios de temperaturas mínimas y mínimas extremas, así como también con la ayuda de diagramas bioclimáticos, el análisis de la carta psicrométrica la aplicación de la gráfica solar y el análisis de la variación de la radiación solar y los vientos dominantes del lugar; se plantearan así las estrategias de diseño que propicien obtener temperaturas al interior de los edificios, que oscilen dentro de los rangos de comodidad para los usuarios de los mismos. Con base en esta metodología se presentarán a continuación las estrategias de climatización natural para los dos climas seleccionados.

Clima cálido seco extremoso

La construcción de viviendas que no ha tomado en cuenta el clima del lugar ha propiciado que el consumo de energía eléctrica en la región noroeste de la República Mexicana, durante el verano, sea el más alto del país, debido principalmente al uso de

sistemas de refrigeración mecánicos que se usan en esa región para acondicionar el interior de las viviendas y edificios como una regla (Romero, 2001). Sin embargo, sí es posible mediante una manera natural el acondicionamiento del interior de un edificio en un clima caluroso seco durante el verano, a través del uso de muros masivos, enfriamiento evaporativo del aire y sistemas escudo a la radiación solar en el techo de la vivienda.

En el clima cálido seco de la República Mexicana se han desarrollado, a través de la arquitectura vernácula, las características básicas que han conseguido acondicionamiento térmico al interior de los edificios por medio de climatización natural. Las soluciones han sido muros masivos hechos de adobe, techos con una capa de terrado y ventanas pequeñas para evitar la incidencia de radiación solar que elevase la temperatura del aire dentro de la vivienda. En esta zona del país la ciudad de Mexicali es la más representativa de las condiciones extremas de este tipo de clima, una ciudad que se localiza en la frontera noroeste de la República Mexicana, en el Estado de Baja California Norte, a 32° 40' latitud norte, 115° 27' longitud oeste y 4 metros de altitud. Las condiciones climáticas que suele presentar son: temperaturas máximas extremas de 54° C en verano y mínimas extremas de - 7 °C en invierno. La radiación solar es intensa en la superficie horizontal, con una variación de 533 W / m² en invierno hasta 958 W / m² en verano. Lamentablemente la población que habita en esta zona del país, no ha usado la experiencia de la arquitectura vernácula en la construcción de sus viviendas, debi-

do a la influencia cultural de los Estados Unidos de América, que suelen utilizar el aire acondicionado para resolver todos sus problemas de acondicionamiento térmico. Sin embargo, hoy en día se puede conseguir edificios confortables desde el punto de vista térmico, en climas cálido-secos, por climatización natural y construyendo con materiales y procedimientos constructivos modernos, si se toma en cuenta la experiencia de la arquitectura vernácula desarrollada en estos climas.

La estrategia de climatización natural que se propone para este clima extremo, puede ser aplicada a toda la zona noroeste del país ya que, como se demuestra más adelante mediante un cálculo térmico, si en este clima se obtienen condiciones de confort en la época más cálida del año, en otras zonas de esta región con condiciones menos extremas, se tendrán también los mismos resultados. La estrategia propuesta es la siguiente:

- Un sistema escudo a la radiación solar en los techos. Este efecto se obtiene por medio del sistema prefabricado de vigueta y bovedilla, utilizando los huecos de estas últimas para permitir la circulación del aire dentro de ellas.
- Para los muros se utilizan pacas de paja recubiertas con una capa de cemento, como un muro grueso para retardar el paso de calor.
- Uso del enfriamiento evaporativo del aire, por sistema de goteo delante de las ventanas, durante las horas más cálidas del día, para obtener un sumidero de calor dentro de la vivienda para la radiación emitida por las personas y aparatos eléctricos.

- Uso de una capa doble de vidrio en ventanas, para disminuir el efecto de la radiación solar.
- Uso del almacenamiento térmico de los materiales de construcción de la vivienda, por ejemplo, el firme de concreto es un almacén importante.

Las ecuaciones que se presentan a continuación usadas en los cálculos, son las del programa TRNSYS (*A TRaNsient Systems Simulation Program*) desarrollado por la Universidad de Wisconsin:

(1) Flujo de calor por conducción
 $Q_{cond} = U A (T_{sol/air} - T_{int})$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor, A es el área de la superficie, $T_{sol/air}$ es la temperatura ambiente más la radiación solar directa y la radiación reflejada por el cielo y los alrededores, y T_{int} es la temperatura interior del cuarto.

(2) Ganancia de Calor por radiación solar directa $Q_{shg} = A_v H_t F_c$

Donde A_v es el área de la ventana, H_t es la radiación solar global, y F_c es la fracción de radiación solar que atraviesa la ventana.

(3) Flujo de calor por Infiltración sensible $Q_{infs} = 0.278 \text{ CAMB Vol } \rho \text{ Cpa} (T_{amb} - T_{int})$

(4) Flujo de calor por Infiltración latente $Q_{infl} = 0.278 \text{ CAMB Vol } \rho \text{ H}_{vap} (W_{amb} - W_{int})$

(5) Flujo de calor por Ventilación sensible $Q_{vents} = 0.278 \rho \text{ Cpa} G (T_{amb} - T_{int})$

(6) Flujo de calor por Ventilación latente $Q_{ventl} = 0.278 \rho \text{ H}_{vap} G (W_{amb} - W_{int})$

Donde 0.278 son el factor de la conversión del kJ/hr a watts; CAMB son los cambios de aire cada hora por infiltración

natural; Vol es el volumen del cuarto; ρ es la densidad del aire; C_{pa} es el calor específico del aire; H_{vap} es el calor latente de vaporización; T_{amb} es la temperatura ambiente; T_{int} es la temperatura interior del cuarto; W_{amb} es la humedad específica del ambiente; W_{int} es la humedad específica interior del cuarto, y, G es el flujo de aire por ventilación natural.

(7) De ASHRAE $G = C_v A_v$

Donde C_v es la efectividad de aperturas (se asume que C_v es 0.55 a 0.65 para vientos perpendiculares a la ventila y 0.25 a 0.35 para vientos diagonales a la ventila). A es el área libre de apertura de entrada en m^2 , v es velocidad del viento en m/s.

(8) Ganancia de calor sensible por ocupantes $Q_{mets} = W/ocupante * \text{No. De ocupantes}$

(9) Ganancia de calor latente por ocupantes $Q_{metl} = W/ocupante * \text{No. De ocupantes}$

Donde $W/ocupante$ es el calor emitido por ocupante en función de su actividad (sensible o latente). No. De ocupantes es el número de ocupantes que está en el cuarto cada hora.

(10) Ganancia de calor por equipo eléctrico $Q_{light} = Q_{ilum} + Q_{proy}$

Donde Q_{ilum} es la potencia de las lámparas y Q_{proy} es la potencia de cada dispositivo eléctrico por hora.

(11) Ganancia de calor total $Q_{load} = \sum Q$ (sensible y latente)

(12) Temperatura interior $T_{room} = T_{room1} + \int Q_{load}/Capac$

Donde T_{room1} es la temperatura del cuarto en el momento anterior y $Capac$ es la capacidad de almacenamiento de calor de los materiales de la construcción. El cálculo se desarrolla por lo tanto,

considerando la variación que tendrá la temperatura de manera horaria interior de la habitación, en función de la variación de las condiciones ambientales y las cargas térmicas al interior de la misma durante un ciclo completo de 24 hrs.

En el siguiente gráfico puede verse la temperatura interior calculada y la temperatura ambiente durante el 15 de julio. Este día es representativo de las condiciones cálido-secas extremas del año.

En el gráfico anterior se puede observar que la temperatura interior está dentro de las condiciones de confort todo el día, entre 25 a 30 °C. De acuerdo con la ecuación de temperatura de confort humano (T_n), de Auliciems: (Szokolay, S. V)

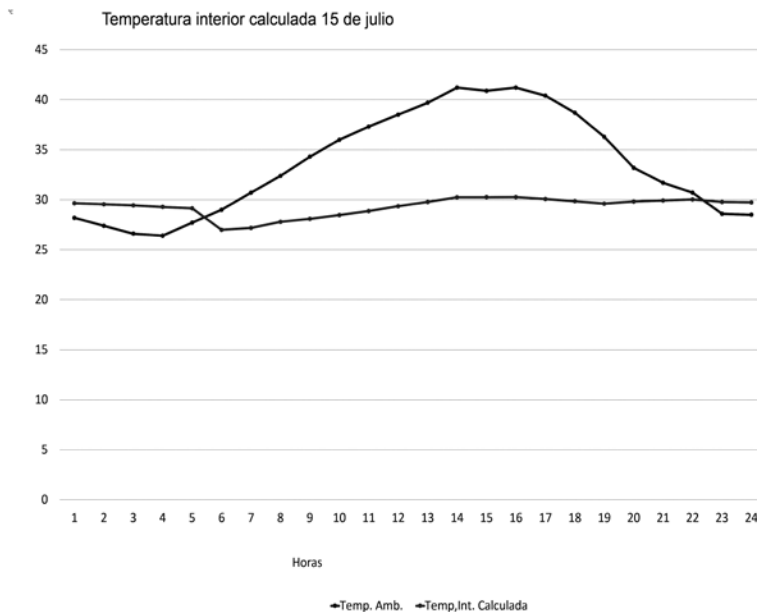
$$T_n = (17.6 + 0.31 T_e) \pm 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Donde T_e es la temperatura media promedio mensual

Este resultado es posible debido al seguimiento de la estrategia del diseño térmico, que incluye un horario de ventilación es-

pecífico para la casa: de 7:00 a 8:00 horas se mantiene la ventana abierta, de 8:00 a 14:00 horas se cierra la ventana, de 14:00 a 18:00 se abre la ventana y de 18:00 a 7:00 horas se cierra la ventana. Cuando las ventanas están abiertas, un sistema de goteo delante de ellas está operando, para generar el efecto de enfriamiento evaporativo del aire, y la transferencia de calor debido a la ventilación, se calcula con la temperatura de bulbo húmedo, de acuerdo con los datos de temperaturas y las características del medio urbano en Mexicali (Rojas, 2000). Los efectos del enfriamiento evaporativo del aire, se logra durante las horas de temperatura máxima y la humedad relativa más baja del día, por medio de tuberías con perforaciones sobre jardineras ubicadas frente a las ventanas, de manera que se use la cantidad más pequeña de agua posible por este propósito.

Otra estrategia que ayudó disminuir la transmisión de calor al interior de la casa,



Cálculo de la temperatura interior el 15 de julio, para la vivienda localizada en Mexicali, Baja California. Elaboración propia, por Diego Morales Ramírez (DMR)

fue el uso de vidrio doble en las ventanas. En este caso se usó vidrio claro, aunque la idea original era usar un vidrio doble con película de protección para prevenir la transmisión del infrarrojo, designado como low e.² Sin embargo se prefirió usar un vidrio claro común, ya que se ha probado que un con este tipo de vidrio, la temperatura en el interior oscila dentro de las condiciones de confort para esta estación del año.

En base al resultado del cálculo térmico, podemos concluir que es posible obtener condiciones de comodidad térmica en el interior de una habitación localizada en un clima cálido-seco extremo, si usamos la experiencia de la arquitectura vernácula. En el presente ejemplo, se usaron pacas de paja en los muros exteriores debido a que es un material de mayor accesibilidad que el adobe. Por otra parte este material ha demostrado tener una resistencia a la transmisión del calor (valor R)³ superior a la del adobe de acuerdo a las referencias sobre sus propiedades térmicas, el valor R para un muro de pacas de paja de 16" de espesor es de 49.5 (Athenea Swentzell, 1994), mientras que para el adobe con un espesor similar el valor R (calculado con base en su coeficiente de conductividad térmica k), es de 8.2 (Rojas, 2000). Estos muros de 40 cm,

han demostrado que proporcionan una lenta transmisión de calor al interior de la habitación, razón por la cual actualmente se han estado utilizando en las regiones desérticas del sur de los Estados Unidos.

Por otro lado, el sistema escudo a la radiación solar, propuesto en el techo de la casa, se calculó considerando que no permite la transmisión de calor al interior de la misma durante el día, basado en el resultado del desempeño térmico de este sistema, demostrado en los techos de los cubículos del Instituto de Energías Renovables de la UNAM, en Temixco, Morelos, México (Morales, 1998).

Finalmente, consideramos que los resultados del cálculo térmico efectuado son confiables, debido a que este procedimiento de cálculo ha sido probado en otras construcciones, donde ha sido posible comparar los resultados de estos cálculos, con temperaturas medidas al interior de los edificios y han mostrado que existe una diferencia mínima de 1.5 a 2 °C, entre los dos resultados (Morales, 2000).

Clima cálido húmedo

Actualmente se pueden lograr edificios confortables desde el punto de vista térmico, en climas cálido-húmedos por climatización natural, con materiales y

2 Película utilizada en cristales de ventanas, con propiedades de baja emisividad (*low e*), evita que ingrese al espacio interior la mayor parte del infrarrojo y deja pasar la mayor parte del visible.

3 "Insulation is rated by R-value, the resistance to heat flow. The R-value of wood is 1 per inch, brick is 0.2, fiberglass batts are 3.0. The higher the R-value the better the insulation. Straw bale buildings are thermally efficient and energy conserving, with R-values significantly better than conventional construction" *The Straw Bale House*.

Traducción Diego Morales. El aislamiento se califica por el valor R, que representa la resistencia al flujo de calor. El valor R de la madera es 1 por pulgada, el del ladrillo es 0.2, el del block de fibra de vidrio es de 3.0. Cuanto mayor sea el valor R, habrá mejor aislamiento. Los edificios con pacas de paja son térmicamente eficientes y en conservación de energía, con valores de R significativamente mejores que la construcción convencional

procedimientos constructivos modernos, si consideramos la experiencia de la arquitectura vernácula desarrollada en esos climas.

La arquitectura vernácula desarrollada en clima cálido-húmedo en la República Mexicana ha tenido tradicionalmente características básicas que han logrado comodidad térmica en el interior de los edificios por climatización natural. Estas características han sido: la distancia amplia entre el suelo y el techo (3.5 metros mínimo), un escudo a la radiación solar en la envolvente de la vivienda, porque no usa ventanas (Gendrop, 1975) y tejados contruidos con varias capas de hojas de palma (palapa), lo cual ayuda al flujo de aire a través del tejado y obstruye la conducción de temperatura, del exterior al interior de la habitación, ya que el flujo de calor en la techumbre se incrementa por la radiación solar. Finalmente este tipo de arquitectura suele utilizar un solo cuarto con una planta elíptica, a través de del cual hay un continuo cambio de aire por hora, causado por la ventilación a través del cuarto debido a las grietas de las paredes hechas de carrizo cubierto con barro, este hecho neutraliza el efecto de la alta humedad.

Con base en estas características de la arquitectura vernácula, se propone la estrategia de diseño térmico de un proyecto arquitectónico, para una casa-habitación localizada en Acapulco, en el sureño Estado de Guerrero. En esta localidad se posee un clima cálido-húmedo, materiales y procedimientos constructivos modernos –con la finalidad de conseguir comodidad térmica en el interior por climatización natural– para verificar el desempeño tér-

mico de esta estrategia de climatización natural, por medio de un cálculo térmico del cuarto principal de la casa, y obtener así temperaturas interiores horarias, utilizando las mismas ecuaciones descritas anteriormente.

Por consiguiente, la estrategia de diseño térmico, por climatización natural durante los días cálidos, se describiría como sigue:

- Un sistema escudo a la radiación solar en muros, para conseguir esto se usa tabique hueco, al que se le deben realizar cortes en la base de la primera hilada de ladrillos; otro corte es necesario encima de la última hilada de ladrillos, en el límite superior de una pared o debajo de una ventana, de manera que funcione como un ducto ventilado
- Un sistema escudo a la radiación solar en los techos. Este efecto se obtiene por medio del sistema prefabricado de vigueta y bovedilla, utilizando los huecos de estas últimas para permitir la circulación del aire dentro de ellas.
- Protección a la radiación solar encima de las ventanas, por medio de aleros y árboles delante de las ventanas. El uso de la ventilación natural, para obligar a mover el aire de dentro a fuera de la vivienda y generar una ventilación eficaz a través de la casa completa, con esto se llevará a cabo una gran cantidad de cambios de aire por hora y podrá neutralizarse la alta humedad.
- Uso del enfriamiento evaporativo por medio del jardín, para disminuir la temperatura del aire durante el

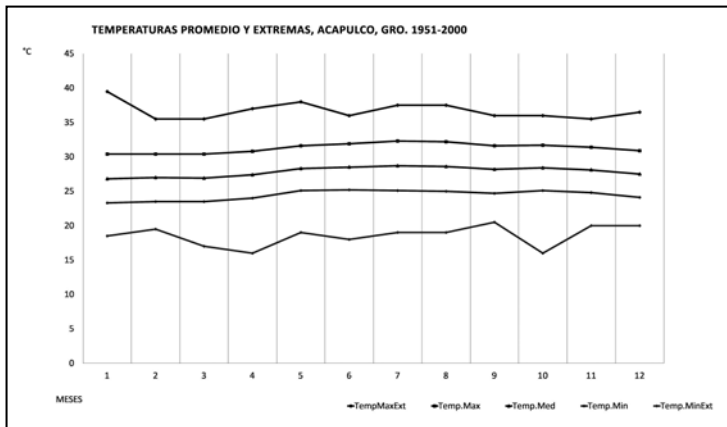
día y obtener un sumidero de calor dentro de la casa, para la radiación emitida para las personas y aparatos eléctricos.

- Uso del almacenamiento térmico de los materiales de construcción de la vivienda, por ejemplo, el firme de concreto es un almacén importante.

Cabe agregar que los días frescos no representan un problema de comodidad térmica, pues sólo tenemos temperaturas por abajo del promedio de comodidad, cuando se tienen temperaturas extremas, sin embargo no están lejos del rango de comodidad como podemos ver en la grá-

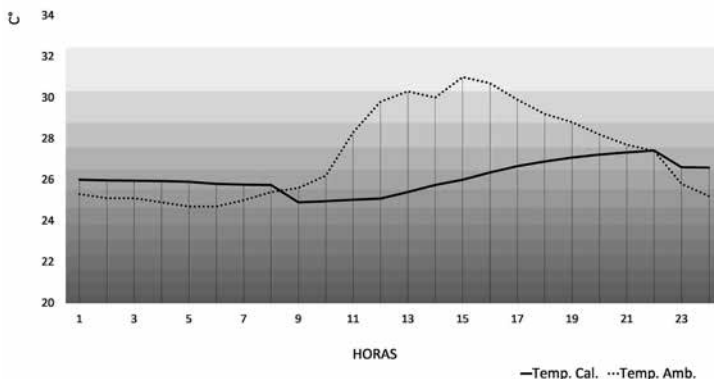
fica siguiente de temperaturas, las cuales se presentan una vez en treinta años.

En la gráfica siguiente se puede constatar la temperatura interior calculada y la temperatura ambiente durante el 21 de junio, un día que es representativo de las condiciones cálido-húmedas extremas en el año. Como se podrá observar, la temperatura interior se manifiesta durante todo el día dentro de las condiciones de comodidad. Esto es posible debido a la estrategia de diseño térmico que incluye un horario de ventilación específico para el cuarto: de 8:00 a 10:00 horas se mantienen las ventilas abiertas, de 10:00



Temperaturas promedio y extremas en Acapulco, Guerrero, durante 1951 a 2000. Fuente: Elaboración propia, por DMR en base a los datos de las normales climatológicas, Servicio Meteorológico Nacional

Temperaturas interiores calculadas 21 de Junio



Temperatura ambiente e interior calculada el 21 de junio, de la vivienda localizada en Acapulco, Guerrero. Elaboración propia, por DMR

a 22:00 horas se cierran las ventilas, de 22:00 a 23:00 horas se abren las ventilas y de 23:00 a 8:00 horas, se mantienen las ventilas cerradas

Discusión de los resultados

El cálculo térmico realizado para los dos tipos de clima propuestos, muestran que la temperatura en el interior de las habitaciones, oscila durante todo el día dentro de los rangos de comodidad para los usuarios, considerando que para climas extremos una temperatura de 30 °C con ventilación, es confortable de acuerdo a los diagramas bioclimáticos de B. Givoni y de los hermanos Olgyay, ya que si se toma en cuenta que la temperatura superficial media de una persona, es de 34.5 °C se tendría entonces una temperatura dentro de la habitación de 4,5 °C menor y con la ventilación de la misma en los horarios propuestos, se lograría mantener la descarga de calor necesaria en los usuarios para su comodidad térmica. En estos tipos de clima, el único inconveniente en la aplicación de estos sistemas, es que se deben cuidar los horarios de ventilación en invierno y verano para que se obtengan las temperaturas referidas, ya que durante la primavera y el otoño se puede ventilar durante todo el día a la vivienda, con base en los datos de las normales climatológicas para dichas regiones.

En el caso del clima cálido húmedo las temperaturas interiores también oscilan todo el día, dentro de los rangos de comodidad para los usuarios, ya que se tomó en cuenta la experiencia de la arquitectura vernácula desarrollada en estas regiones, con el uso del “techo escudo” que al es-

tar ventilado todo el día, se asemeja al efecto del techo tipo palapa de la vivienda maya y al mantener también en toda la envolvente, mediante los huecos de los tabiques, una ventilación constante se asemeja, en este caso, la envolvente ligera de bajareque de la vivienda citada, por otra parte, el firme de concreto mencionado como un excelente almacén de calor, al mantenerse sombreado durante todo el día, el calor que almacenará será el que generan los usuarios, debido a los procesos metabólicos de las actividades que realicen dentro de la vivienda, por último en el caso de la ventilación natural se deben cuidar también, por parte de los usuarios, los horarios de ventilación propuestos.

Conclusiones

Con los resultados del cálculo realizado para los dos climas propuestos, se puede concluir que es posible conseguir condiciones de comodidad térmica, por climatización natural en estos dos climas críticos del país, utilizando materiales contemporáneos o alternativos, como es el caso de los muros de pacas de paja, que han proliferado al sur de los Estados Unidos, en climas cálido secos ya que en esos casos se puede trabajar este material, durante el proceso de construcción de la vivienda, sin que se tenga la posibilidad de que le afecte la humedad, por lluvia o condiciones atmosféricas con alta humedad.

Por otra parte, aunque el propósito enunciado al inicio de plantear estrategias de diseño por climatización natural, para los dos climas críticos del país se cumplió en este artículo, es necesario desarrollar

manuales accesibles, para los usuarios de estas regiones del país, que se distribuirán por medio de las oficinas de gobierno, encargadas de llevar a cabo los progra-

mas de vivienda locales, o por las Universidades de dichas regiones, como parte del servicio social que deben cumplir los alumnos de las mismas. ▲▼

Bibliografía

- Athenea Swentzell S. *Et al.* The Straw Bale House. Chelsea green Publishing Company, Vermont: 1994.
- ASHRAE. Handbook Fundamentals. Atlanta, GA: 1997.
- Gendrop, P.; Heyden, D. Arquitectura Mesoamericana. Aguilar, España: 1975.
- Morales J. D. Estudio del techos del edificios construidos para operar en forma pasiva. (Tesis de doctorado en Arquitectura), UNAM, México: 1993.
- Morales J. D. *Et al.* Estudio para el Ahorro de Energía de Edificios para la Ciudad de México, UNAM, México: 1998.
- Morales J.D. Bioclimatic Adaptations to a House Located in Acapulco, Gro. Mexico. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2 Espoo, Finland: 2000.
- Rojas, R.I. Evaluación ambiental urbana: propuesta metodológica y aplicación a un estudio de caso, Mexicali, Baja California. (tesis de doctorado en urbanismo), UNAM, México: 2000.
- Rojas, J.A. Obtención de propiedades ópticas, térmicas y físicas de algunos materiales de construcción (Tesina de especialización en heliodiseño), CCH, IIM-LES, UNAM. México:1990.
- Romero, R. A. Implicaciones del acondicionamiento ambiental del sector residencial en el consumo de energía eléctrica bajo condiciones climáticas cálido secas extremas: el caso de Mexicali, B.C. (Tesis de doctorado en Arquitectura), UNAM, México: 2001.
- Szokolay, S. V. Solar Energy and building. Architectural press, 2nd Edition, London: 1977.