

# Sistemas de enfriamiento natural. Una alternativa viable de diseño aplicable en regiones cálidas húmedas del sureste Mexicano.

**LAURA I. GUARNEROS  
URBINA**

*Universidad Autónoma  
Metropolitana -  
Azcapotzalco.*

*Posgrado en Diseño.  
Arquitectura Bioclimática.*

*División de Ciencias y Artes  
para el Diseño.*

Por. M. en D. Arq. Laura I. Guarneros Urbina.

Palabras clave: Sistemas de climatización natural - Clima cálido húmedo - Confort higrotérmico - Alternativas de diseño - Sureste mexicano.

## Introducción

### Sistemas de Climatización Natural

Los sistemas de climatización natural son una alternativa viable para reducir el consumo de energía en edificios ubicados en climas predominantemente cálidos áridos o húmedos, para mejorar las condiciones de confort de los ocupantes y del medio ambiente natural. Los principios de los sistemas de climatización natural o pasiva se basan en dos conceptos fundamentales: Reducir al máximo las ganancias de calor solar del exterior y promover las pérdidas de calor del interior de las edificaciones. Conceptos que se logran con la descarga de calor del edificio, con criterios sustentables, hacia los cuatro depósitos energéticos ambientales del entorno natural: aire, agua, tierra y cielo. La combinación e integración efectiva de estrategias de climatización natural pueden lograr condiciones de confort natural de temperaturas y humedad del ambiente intramuros en las edificaciones ubicadas en climas predominantemente cálidos.

Para entender el funcionamiento de un sistema de enfriamiento natural hay que tener claro que el frío no es una propiedad en sí misma, sino una ausencia de calor; el calor se define como la transferencia de energía térmica debida a una diferencia de temperatura entre sustancias.

El enfriamiento natural como ya se mencionó involucra en sí la descarga de energía (calor) a las partes más frías del medio ambiente.

El Dr. David Morillón (2002) menciona en su artículo "Introducción a los sistemas pasivos de enfriamiento" que un sistema contiene los siguientes elementos:

- Un espacio que va a ser enfriado
- Un enfriador o sumidero de calor
- Un disipador de calor



Donde los posibles intercambios de energía pueden ser:

- Entre el enfriador y el disipador de calor
- El enfriador y el espacio
- El disipador de calor y el espacio

Al identificar la forma en que se da este proceso de intercambio (convección, radiación, conducción) se puede elegir el método para contener y/o reducir el flujo, mejorando las condiciones interiores del espacio habitable.

## 1. Caso de estudio

### Prototipos experimentales en Chetumal, Quintana Roo

#### Ubicación

Chetumal se ubica en la cabecera del municipio de Othón P. Blanco y es la capital del Estado de Quintana Roo, en las orillas de la bahía del mismo nombre; al sur del estado. Sus coordenadas son:

Latitud: 18°30'13" latitud norte

Longitud: 88°18'19" longitud oeste

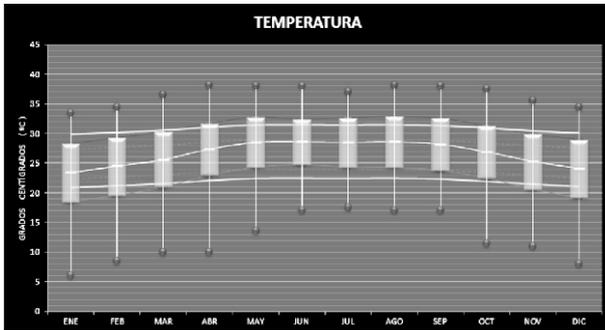
Altitud: 10 metros sobre nivel del mar

#### 1.1 Análisis Climático

El clima de la ciudad es cálido húmedo de poca oscilación, no es tipo Ganges, canícula (Ax' (w1)(i' w')), de acuerdo a la clasificación climática de Köppen- García.

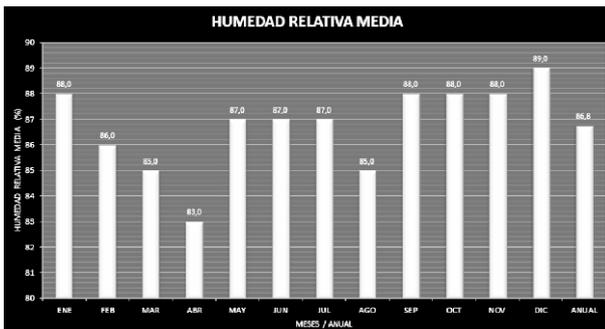
El análisis climático se realizó con los datos obtenidos de las normales climáticas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) periodo de 1951-2010; estación 00023153, ubicada en el Tecnológico de Chetumal y con los obtenidos de la Estación meteorológica automática (EMA) de Chetumal.

**Temperaturas:** El periodo de sobrecalentamiento se presenta durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, con temperaturas medias entre 28.5 °C y 28.6 °C; la temperatura máxima promedio se registra en mayo y agosto y es de: 32.8 °C y 32.9 °C, respectivamente; la máxima extrema registrada es de 38.2 °C en el mes de agosto. (Imagen 1).



**Imagen 1**  
Análisis de temperaturas de bulbo seco, mínima, máxima y media promedio anual.

**Humedad Relativa:** La humedad relativa media está sobre el límite superior de confort aceptable durante todo el año. Diciembre tiene el mayor porcentaje de humedad (89.0%) y abril el menor (83%); el promedio anual de la humedad se establece en el 86.8%, es decir, 17% arriba de lo deseable. (Figura 2)



**Imagen 2**  
Humedad relativa media.

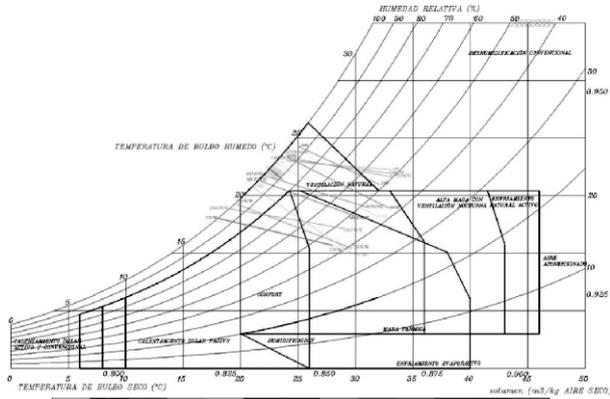
**Precipitación Pluvial:** La precipitación total anual es de 1342.20 mm, la temporada de lluvia comienza de mayo a junio. En julio y agosto se presenta la sequía de medio verano y continúa el periodo de lluvia durante septiembre y octubre.

**Viento:** La dirección predominante del viento es de sureste-este, con una velocidad promedio anual de 1.3 m/s.

## 1.2 Análisis Bioclimático

El análisis bioclimático determina las estrategias bioclimáticas a aplicar y se basa en el desarrollo e interpretación de los diagramas bioclimáticos y en particular del diagrama psicrométrico, que define las estrategias de diseño básicas del lugar en estudio. La información obtenida de este diagrama coincide con el diagrama bioclimático, en los cuales la ventilación natural es la alternativa predominante. Este análisis también presentó la inclusión de la información climática del lugar en el diagrama de la Temperatura Efectiva Corregida (TEC), que permitió visualizar el efecto que tiene la velocidad del viento en la disminución de la temperatura de bulbo seco.

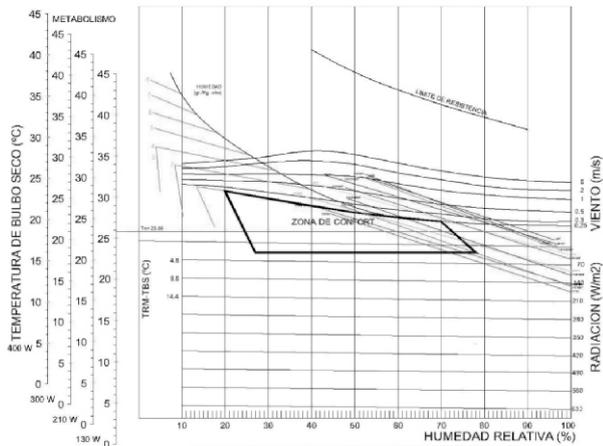
En mayo, la temperatura promedio es de 28.5 °C, misma que por efecto de viento a 1.5 m/s es de 25.0 °C (Imágenes 3, 4 y 5).



PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T. MAX	28.3	29.3	30.3	31.7	32.8	32.4	32.7	32.9	32.6	31.3	29.9	29.0
H. MIN	44.6	39.3	36.6	40.3	43.2	52.4	53.0	52.4	51.4	47.9	48.1	47.1

PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T. MIN	18.5	19.5	21.0	23.0	24.3	24.8	24.3	24.3	23.8	22.5	20.6	19.2
H. MAX	100	100	100	99.9	96.8	95.7	95.2	95.7	96.9	99.7	100	100

Imagen 3  
Diagrama Psicrométrico de Chetumal.



PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T. MAX	28.3	29.3	30.3	31.7	32.8	32.4	32.7	32.9	32.6	31.3	29.9	29.0
H. MIN	44.6	39.3	36.6	40.3	43.2	52.4	53.0	52.4	51.4	47.9	48.1	47.1

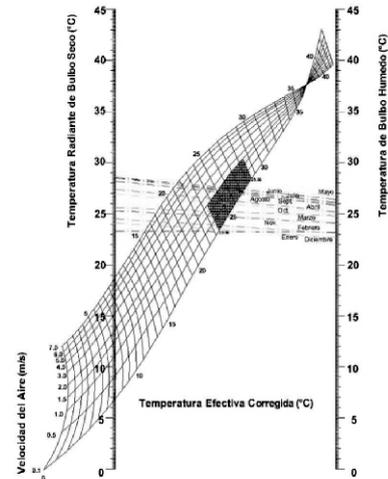
PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
T. MIN	18.5	19.5	21.0	23.0	24.3	24.8	24.3	24.3	23.8	22.5	20.6	19.2
H. MAX	100	100	100	99.9	96.8	95.7	95.2	95.7	96.9	99.7	100	100

Imagen 4  
Diagrama Bioclimático de Chetumal.

## 2. Descripción de los prototipos

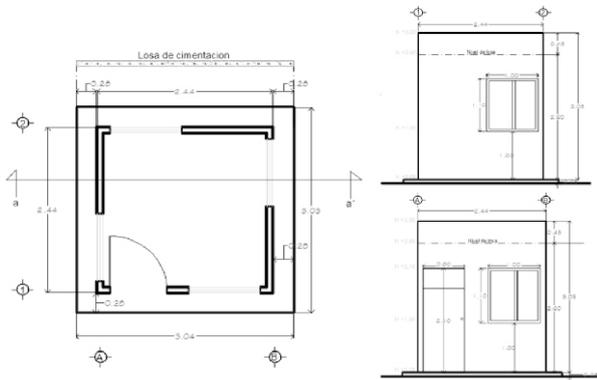
El prototipo experimental y el de referencia se construyeron a base de paneles estructurales de alambres de acero con un núcleo integrado de espuma de poliuretano en las superficies verticales y poliestireno expandido en las horizontales, las cuales se recubrieron en obra con mortero cemento-arena. Es importante mencionar que con el poliuretano del sistema, se reduce la ganancia de calor solar del exterior.

El prototipo escala 1:1 tiene las siguientes dimensiones: Ancho: 240 cms. Largo: 240 cms, altura: 270 cm, medidos a caras exteriores. (Imágenes 6 y 7).

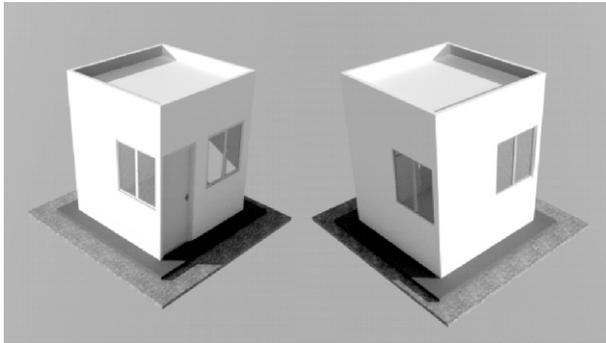


PARÁMETRO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TEMP. BULBO HÚMEDO	23.2	23.1	24.8	25.2	26.7	26.4	26.1	25.8	25.9	25.1	24.1	22.7
TEMP. BULBO SECO	23.4	24.5	25.9	27.4	28.5	28.6	28.5	28.6	28.2	26.9	25.3	24.1

Imagen 5  
Diagrama de la Temperatura Efectiva Corregida de Chetumal.



**Imagen 6**  
Fachadas y planta arquitectónica del prototipo.



**Imagen 7**  
Prototipos experimentales. Vista exterior

Los prototipos tienen cuatro ventanas de aluminio blanco con vidrio de 6 mm de espesor alineadas a la derecha de cada cara y una puerta de acceso orientada al norte (Imágenes 6 y 7).

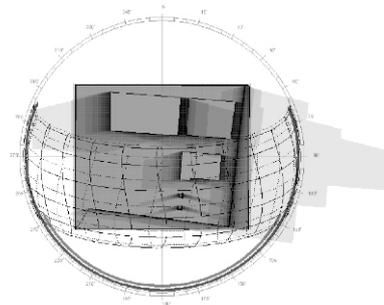
Los sistemas constructivos implementados en los prototipos de investigación son representativos de los utilizados en la mayoría de las viviendas de interés social de la región donde se ubica el caso de estudio (Imagen 8).



**Imagen 8**  
Viviendas de interés social del fraccionamiento residencial Lago del Bosque; Chetumal, Quintana Roo.

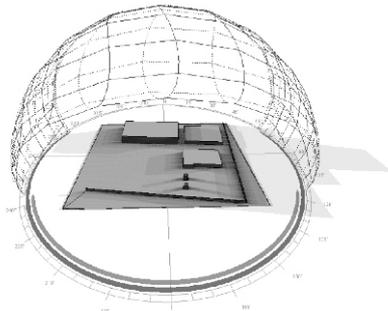
### 3. Metodología experimental

El desarrollo de los experimentos se realizó en un área dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Chetumal. En la etapa inicial, se realizó en el lugar de estudio, un análisis de asoleamiento y proyección de sombras a nivel anual, considerando separación de los prototipos y la altura de los elementos circundantes para determinar la mejor ubicación de los prototipos en el espacio y evitar obstrucciones a la incidencia solar directa, situación indispensable para el desarrollo de este trabajo de investigación (Imágenes 9 y 10).



**Imagen 9**  
Análisis de asoleamiento anual. Vista en planta.

En este trabajo se denomina SCN 1 (Sistema de Climatización Natural) al techo estanque con cubierta fija ventilada. Este sistema presenta una configuración que tomó como base una investigación realizada en un clima similar (González, 2011). El SCN 2 consiste en un intercambiador de calor ahogado en losa, que presenta una configuración que tomó como base una investigación realizada en un clima similar (García, 2011). Ambas propuestas tienen variaciones de adaptación al caso particular debido principalmente al sistema constructivo, funcionalidad y presupuesto, pero conservando los principios básicos de intercambio de energía sobre los cuales funcionan.



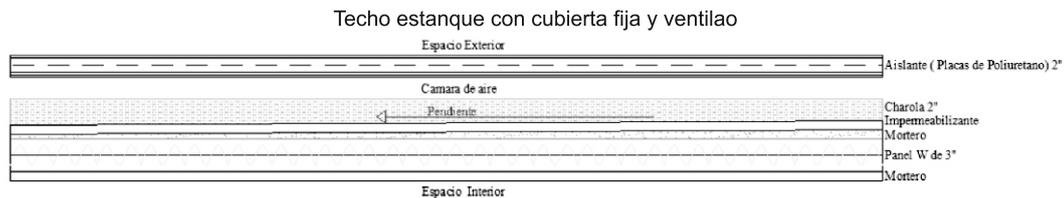
**Imagen 10**  
Análisis de asoleamiento anual. Vista en isométrico.

## SCN 1

En el SCN, la losa es de panel de poliestireno expandido de 8 cm recubierto de concreto con un acabado fino de polvo y cemento (Imagen 11), sobre el cual se colocó una barrera de vapor, utilizando una película de polietileno. La altura propuesta para el nivel de agua fue de 5 cm máximo. En la parte superior del estanque hay una cámara de aire de 5 cm. La ventilación de ésta se realizó dejando aberturas entre la pared del pretil y el bastidor que soporta el aislante de poliestireno expandido empleado como la doble cubierta, después del cual se extendió una malla para limitar el acceso de insectos y suciedad. (Imagen 12).



**Imagen 11**  
Sistema de Climatización Natural con techo estanque.



**Imagen 12**  
Detalle constructivo de la cubierta del Sistema de Climatización Natural con techo estanque, ventilación y aislamiento.

**Existen cuatro depósitos energéticos ambientales: aire, agua, tierra y cielo.**

**SCN2**

La propuesta de este sistema incluye la construcción de un intercambiador de calor con tubos de cobre. El SCN 2 se construyó con tubería de cloruro de polivinilo clorado (CPVC), que es un material termoplástico, de ¾", por accesibilidad económica y fácil disposición de este material en el mercado.

Este sistema utiliza una bomba con válvulas instaladas en la tubería que regulan el flujo del agua. El recorrido durante la mañana es del depósito de almacenamiento hasta el intercambiador (período de 6 am a 8 pm), mediante una bomba y válvula conectadas a un temporizador, el cual servirá para indicar los ciclos de encendido – apagado y de apertura- cierre. Una vez terminado el recorrido por la losa, regresa al depósito e inicia nuevamente el ciclo. Por la noche, se cierra el flujo del agua a la parte inferior de la losa y se permite el paso del agua a la parte exterior para permitir el enfriamiento por emisión de la radiación nocturna y por ventilación y evaporación. El cambio de agua contenida en la parte superior de la losa se hace en ciclos de 24 hrs. El monitoreo de este sistema de climatización natural está en proceso y se presentará en la etapa subsecuente de este proyecto de investigación.

**4. Equipo utilizado y puntos de medición**

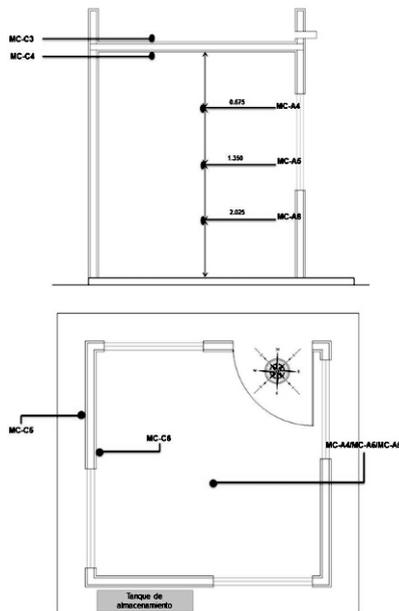
El equipo de monitoreo utilizado consta de ocho data loggers de temperatura de bulbo seco con pantalla LCD (EL-USB-TC-LCD), con los cuales se registraron temperaturas en superficies verticales y horizontales de la envolvente de los prototipos (muro poniente en el exterior y al interior; superficies exterior e interior de losa). Otros ocho data loggers (EL-USB-2-LCD RH/Temperature/Dew Point Data Logger) registraron la temperatura y la humedad del interior del prototipo a tres alturas diferentes (a 0.70 mts, a 1.40 mts y a 2.10 mts, medidos del nivel de piso terminado a lecho bajo del plafón). (Imagen 13).

**5. Proceso experimental**

Durante la primera etapa de las pruebas, se analizó el comportamiento térmico de ambos sistemas de enfriamiento natural en un periodo de observación de seis días. El SCN1 del 7 al 12 de mayo 1 y el SCN 2, del 14 al 19 de mayo.

En ambos casos, los primeros dos días de medición se llevaron a cabo con las ventanas cerradas, los dos días siguientes con dos ventanas abiertas (muro este y oeste) para ventilación cruzada y los dos días restantes con las cuatro ventanas abiertas.

De manera simultánea al monitoreo de los prototipos, se llevó a cabo el registro de las condiciones climáticas del sitio de experimentación mediante un USB-2-LCD RH/Temperature/Dew Point Data Logger, colocado en una pantalla de Stevenson. La temperatura promedio registrada fue de 28.54 °C, la temperatura máxima 34.0 °C y la mínima 24.5 °C; con porcentajes de humedad de 80.58% como promedio, 95.50% de máxima y 55.0% de mínima.



**Imagen 13**

Puntos de medición en el prototipo de referencia.

Es importante mencionar que durante las dos semanas de las pruebas, se presentó la depresión tropical 1-E, reportada en la segunda semana de mayo por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), fenómeno que provocó nublados, lluvias intensas, tormentas e intervalos de chubascos, actividad eléctrica y vientos fuertes del este y noroeste con rachas 25 a 40 km/h.

El proceso de enfriamiento natural en el lugar se relaciona directamente con las condiciones climáticas locales, debido a que los cambios en el medio afectan los mecanismos naturales de pérdidas de energía térmica.

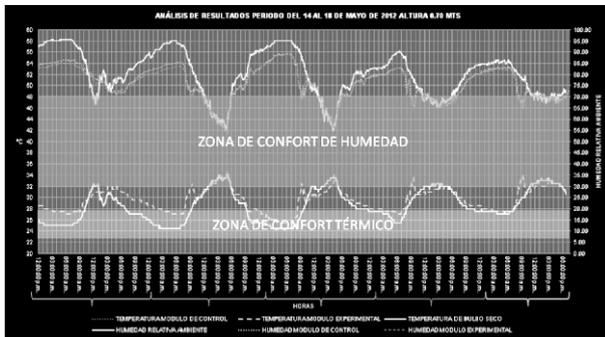
El SNC 1 pierde calor por: Enfriamiento convectivo que está condicionado por la velocidad a la que fluye el viento en la cámara de aire o el agua en el intercambiador de la losa; por enfriamiento evaporativo indirecto que es más eficiente en aire seco y caliente; en el SCN 2, cuyo monitoreo y comportamiento higrótérmico está en proceso y se presentará en la siguiente etapa de este trabajo, además de los procesos anteriores, la envolvente constructiva se enfría por emisión de la radiación infrarroja, convección y evaporación.

### Análisis e interpretación de datos en el SCN 1

Al aplicar la estrategia de climatización natural del SCN 1 en la cubierta del prototipo experimental, se observó una disminución en la temperatura, del espacio interior de alrededor de 4 K, comparada con las condiciones de temperatura del exterior y del prototipo de referencia.

En la cubierta del prototipo de referencia expuesta al sol se alcanzó como temperatura máxima 58.0 °C, mientras que en la losa con aislante de poliestireno expandido, se registró una máxima 34.50 °C; es decir la variación fue de 24.5 K. En el muro ubicado al poniente, se registraron en los prototipos de referencia y experimental, temperaturas promedio de 31.65 °C y 30.60 °C, respectivamente, en la superficie exterior; lo que representa ganancias de calor importantes por radiación solar hacia el interior, a través de la envolvente constructiva.

Por lo que respecta a la humedad, presentó un comportamiento similar en el ambiente exterior, en el prototipo de referencia y en el experimental. Las variaciones significativas fueron en la temperatura, que resultaron menores en el prototipo experimental que en el de referencia y la temperatura del exterior (Imagen 14).



**Imagen 14**

Resultados del SCN 1 durante el periodo del 14 al 17 de mayo.

## Conclusiones

En esta investigación se comprobó que la aplicación de sistemas pasivos de climatización natural en las edificaciones presenta ventajas significativas y su implementación es recomendable para satisfacer los requerimientos de confort higrotérmico de los ocupantes.

Sin embargo, las estrategias y recomendaciones bioclimáticas, como el control solar, reducción de la infiltración y la ventilación natural, entre otras, deben considerarse inicialmente, para obtener el mayor beneficio posible de los factores del entorno natural circundante a un proyecto. Solo cuando estas dos alternativas se han implementado en un proyecto y no se pueden obtener condiciones de confort en los ocupantes, es cuando se sugiere la utilización de sistemas electromecánicos de climatización en los edificios. Con la aplicación integral de estas estrategias y sistemas de climatización natural en la arquitectura, es posible obtener condiciones de confort higrotérmico en los ocupantes, reducir del consumo de energía y preservar y mejora el medio ambiente natural, con criterios compatibles con el desarrollo sustentable a nivel global.

## BIBLIOGRAFÍA

FUENTES, V.A. (2004) .Clima y Arquitectura. 1ª ed. México: Libros de texto y manuales de práctica.

GARCÍA, J.R., Givoni, B., Viveros, O., (2009) Potential of Indirect Evaporative Passive Cooling with Embedded Tubes in a Humid Tropical Climate Applications in a typical hot humid climate. Conference on Passive and Low Energy Architecture [Internet] 22-24 June 2009, 26<sup>th</sup>, Disponible en: [http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/Papers/2\\_STRATEGIES/2.2%20Heating%20and%20Cooling/ORAL/2-2-21-PLEA2009Quebec.pdf](http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/Papers/2_STRATEGIES/2.2%20Heating%20and%20Cooling/ORAL/2-2-21-PLEA2009Quebec.pdf) [Acceso el 15 de Octubre 2011]

GONZÁLEZ, E. (2001) Sobre el enfriamiento pasivo de edificaciones: Proyectos en desarrollo en el IFAD-LUZ [Internet]. Instituto de Investigaciones de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD) Universidad del Zulia. Disponible en: [http://www.riraas.net/documentacion/CD\\_05/Sobre%20el%20EPE%20proyectos%20en%20desarrollo.pdf](http://www.riraas.net/documentacion/CD_05/Sobre%20el%20EPE%20proyectos%20en%20desarrollo.pdf) [acceso el 16 de Junio de 2011].

GONZÁLES, S.I., (2011) Estudio experimental del comportamiento térmico de sistemas pasivos de enfriamiento en clima cálido-húmedo. España: Universidad Internacional de Andalucía. Disponible en: [http://dspace.inia.es/es/bitstream/10334/778/3/0152\\_Gonzalez.pdf](http://dspace.inia.es/es/bitstream/10334/778/3/0152_Gonzalez.pdf) [Acceso el 10 de Octubre 2011].

HARO, E.T., (2009) Comportamiento de dos tipos de cubiertas vegetales, como dispositivos de climatización, para climas cálido sub-húmedos. Colima: Universidad de Colima. Disponible en: [http://digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/HARO\\_CARBAJAL\\_ELBA\\_TERESA.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/HARO_CARBAJAL_ELBA_TERESA.pdf) [Acceso el 09 de Julio de 2011].

MORALES, J.D. (2002) Análisis de los requerimientos de enfriamiento en la vivienda [Internet] Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. Disponible en: <http://www.riraas.net/documentos.htm> [Acceso el 11 de marzo de 2012].

MORILLÓN, D., (2002) .Introducción a los sistemas Pasivos de enfriamiento [Internet] Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. Disponible en: <http://www.riraas.net/documentos.htm> [Acceso el 20 de Diciembre de 2011].