

## Estrategias de diseño para deshumidificación de viviendas en clima cálido-húmedo.

Ignacio Alejandro Guzmán Hernández<sup>a,c</sup>, Fidel Franco González<sup>b,c,d</sup>, Joan Lluís Zamora i Mestre<sup>c,d</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Tecnología de la Arquitectura UPC; <sup>b</sup>Departamento de Física UPC <sup>c</sup>Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona (ETSAB) UPC <sup>d</sup>Laboratorio de Innovación y Tecnología en la Arquitectura (LiTA) UPC  
ignacio.alejandroguzman@upc.edu

La presente investigación se centra en el tema del confort térmico, que encuentra una mayor complejidad en los climas cálido-húmedos, por sus altas temperaturas y niveles de humedad relativa durante la mayor parte del año. Se utiliza como escenario de simulación una vivienda popular "tipo" construida en la ciudad de Villahermosa, Tabasco en el sureste de México. Se realizan una serie de simulaciones y cálculos matemáticos por separado de diversas estrategias de climatización pasiva, sugeridas por la bibliografía analizada. Posteriormente sobre un modelo mejorado, se analizan técnicas de deshumidificación semi-pasivas y activas para disminuir niveles de humedad relativa al interior de las viviendas. Se obtienen resultados favorables para descender tanto temperatura como la humedad relativa dependiendo de las condiciones externas del clima sin embargo no se alcanzan niveles de confort térmico todo el año.

**Palabras clave:** Confort térmico, cálido-húmedo, vivienda popular, deshumidificación, geotermia y presurización

### 1. Introducción

Si bien el confort térmico es uno de los temas más estudiados en la arquitectura, existen grandes deficiencias cuando se trata el tema en los climas cálido-húmedos. La primera problemática en estos casos de estudio se debe a la combinación de altas temperaturas, alta humedad relativa y gran número de días con lluvia, lo que hace complicado la aplicación de muchos sistemas de climatización pasiva y en los espacios que no se encuentran en las costas, tienden a tener poco viento, y como consecuencia, teniendo estrés térmico durante los días [1].

El segundo problema se debe a la ubicación de los lugares con clima cálido-húmedo; la mayoría se encuentran en países en vías de desarrollo, esto hace que, por una parte, sea un tema de poco estudio en los países más desarrollados, que lideran la investigación en la mayoría de las ramas. Por otro lado, los pobladores de dichas regiones, suelen encontrarse en condiciones precarias económicamente y no pueden costear sistemas de aire acondicionado o deshumidificación para sus viviendas, por lo que es necesario buscar soluciones ecológicas, económicas y de poco involucramiento tecnológico para el usuario final [2].

El caso de estudio es una vivienda popular en Villahermosa, la capital del estado de Tabasco, en el sureste mexicano. Villahermosa tiene una temperatura promedio de 27.3°C, una humedad relativa del 80%, la velocidad del viento promedio es de 2.5 m/s y la precipitación anual es de 2500mm. Se pueden ver en la Fig. 1 los valores promedio por mes en el caso de

estudio, donde el 90% del tiempo hay niveles de desconfort.

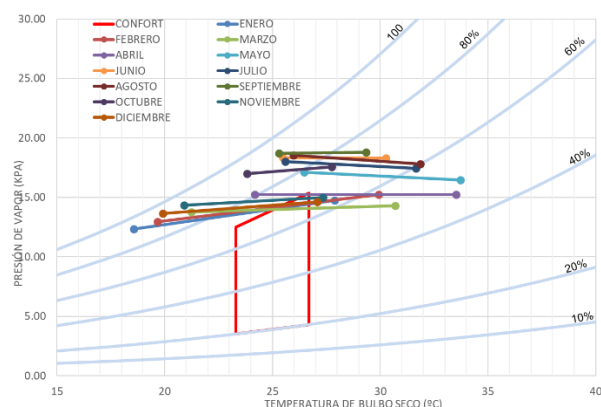


Figura 1. Gráfica de promedios climatológicos en diagrama psicrométrico. Elaboración propia.

### 2. Metodología

De la revisión bibliográfica se selecciona una serie de estrategias de climatización pasiva para climas tropicales, para simularlas por separado, modificando ligeras variables de cada una de ellas, buscando la mejor eficiencia para la vivienda del caso de estudio.

Las estrategias analizadas y las variables en la primera etapa (pasivas) se ven en la tabla 1. Se comparan los valores de confort térmico de cada estrategia contrastadas con el modelo base, que es la vivienda popular tal cual ha sido construida, sin ninguna modificación. Se simulan en el software DesignBuilder, donde se modela la vivienda a analizar, junto con las viviendas colindantes para obtener resultados más fiables y reales.

Tabla 1. Estrategias y variables analizadas en la primera etapa

Clave	Estrategia	Variables
EX01	Altura de cubiertas [3]	10-50cm c/10cm
EX02	Falso plafón [4]	30-50-70cm
EX03	Aislante térmico	Pb-pa-pb+pa
EX04	Protección solar	50-75-100cm
EX05	Proporción aperturas [5]	2:2-3:1-1:3
EX06	Temporalidad ventilación	24hr-0hr-diurna-nocturna
EX07	Ventilación cruzada [6]	Si-no

Posteriormente se seleccionan las variables de mejor eficiencia para crear un nuevo modelo base para simular las estrategias de la segunda etapa (semi-pasivas). Las estrategias seleccionadas en el grupo de deshumidificación son: Geotermia somera, paneles desecantes y presurización deshumidificante.

Las estrategias de la segunda etapa son simuladas en DesignBuilder y posteriormente re-calculadas con fórmulas físicas y matemáticas, ya que el software no puede simular las condiciones necesarias de este estudio.

### 3. Resultados

A continuación, se muestran los resultados por cada una de las estrategias:

#### EX01 – Altura de cubiertas

Se aumentan la altura de las cubiertas en segmentos de 10cm hasta llegar a los 50cm, se obtienen mejores resultados con 50cm de aumento en la altura, donde se logra descender la temperatura promedio un 1.59% y la humedad relativa promedio un 4.40% en comparación con el modelo base (MB), como se puede observar en la Fig. 2.

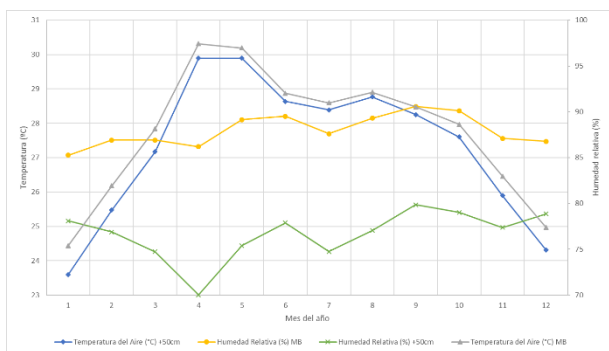


Figura 2. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX01.

#### EX02 – Falso plafón

Se comparan 3 modelos con el MB, en donde se simulan diferentes dimensiones (30cm, 50cm y 70cm)

de colchones de aire, creados por un falso plafón al interior de las cubiertas. Se observan buenos resultados para reducir tanto temperatura como humedad desde 30cm de falso plafón, y un aumento ligero con los otros dos modelos. En la Fig. 3 se observa el descenso de la temperatura promedio del 4.83% y de la humedad relativa del 8.81%.

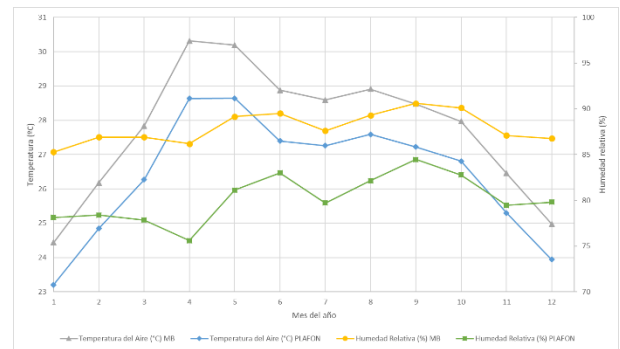


Figura 3. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX02.

#### EX03 – Aislante térmico

En esta serie de simulaciones se crean 3 modelos que se comparan con el MB, colocando aislante térmico de poliestireno expandido (EPS) de una pulgada de espesor. Por separado se modifica su colocación por separado en planta baja, planta alta y uno último con aislante en ambas plantas. Los mejores resultados se observan en los modelos que involucran aislante térmico en planta alta, con poca diferencia entre el modelo que solo aísla planta alta y el que aísla ambos niveles. En la Fig. 4 se muestran los resultados mensuales del modelo de aislante térmico en planta alta.

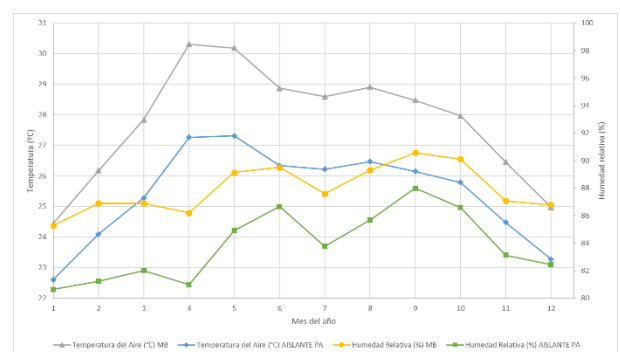


Figura 4. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX03.

Se reduce en promedio 8.38% la temperatura promedio y 4.68% la humedad relativa.

#### EX04 – Protección solar

En esta serie de simulaciones se colocan alerones y voladizos en las ventanas de la fachada sur, que es la

de mayor incidencia solar en las ventanas, tratando de evitar ganancias térmicas al interior. Se generan 3 modelos, variando las dimensiones de los aleros y voladizos, de 50cm, 75cm y 100cm para evaluar su eficiencia. Se observan buenos resultados desde los 50cm, en la Fig. 5 se observa el descenso en humedad relativa promedio del 11.82% y la temperatura un 3.24%.

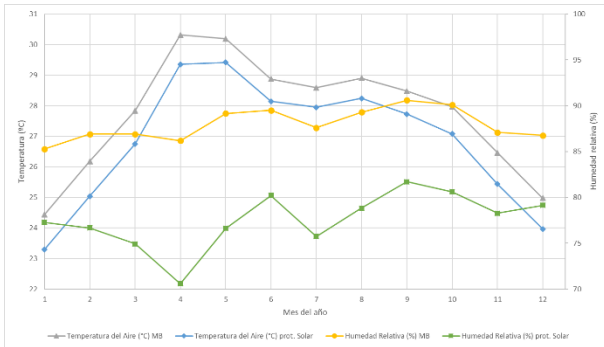


Figura 5. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX04.

EX05 – Modulación ventilación

Las simulaciones de temporalidad se generan a través de cuatro modelos de vivienda, donde la variable que se modifica es el tiempo en el que funciona la ventilación natural en la vivienda, abriendo y cerrando las ventanas en determinados momentos del día, en el primero con ventilación constante 24 horas al día, el siguiente cerrado, sin ventilación natural, el tercero con ventilación diurna (de 6:00 a 20:00 horas) y el último con ventilación nocturna (20:00 a 6:00 horas). Los mejores resultados se observan cuando se crea ventilación constante o ventilación nocturna, donde se reduce la temperatura promedio un 1.45% y la humedad un 13.28%.

EX06 – Ventilación cruzada

Se realizaron modificaciones a los modelos de simulación, colocando aberturas sobre las puertas de las habitaciones de la planta alta, favoreciendo la ventilación cruzada, y se compara en la Fig. 6 donde se reduce la temperatura un 1.75% y la humedad un 13.44%.

También se combina con buen funcionamiento cuando se amplían las dimensiones de las ventanas ubicadas al norte, donde entran los vientos dominantes y disminuir las de salida de aire, al sur de la vivienda.



Figura 6. Gráfica de comparación de temperatura y humedad de serie de simulación EX06.

NMB - Modelo combinado

Tomando las mejores variables de cada estrategia expuesta, se crea un nuevo modelo que combina lo mejor de cada una, y se simula durante todo el año, esto sirve para nuevo modelo base para las estrategias de deshumidificación del siguiente apartado. En las Fig. 7 y 8 se observan diagramas psicrométricos donde se ve el descenso de temperatura y humedad absoluta, acercándose a niveles de confort térmico sin lograr mantener los promedios dentro de dicho confort en ninguna temporada del año.

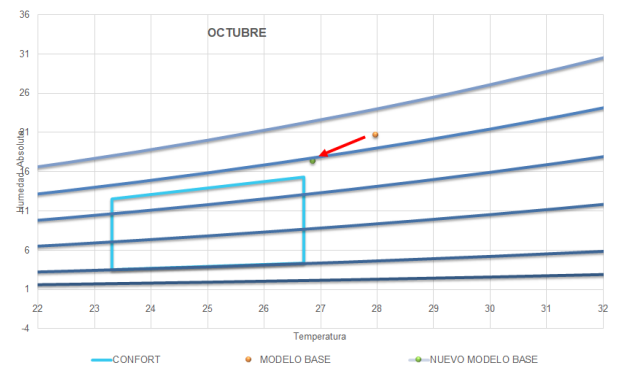
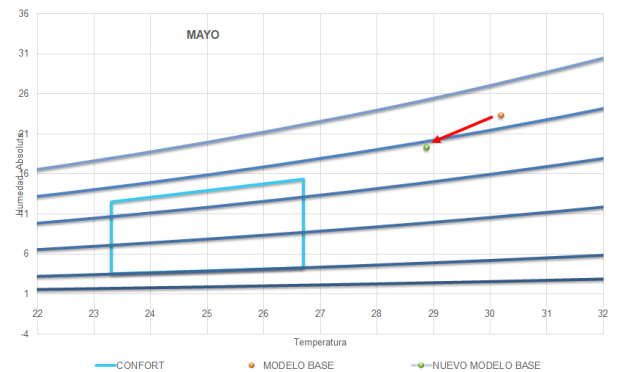


Figura 7 y 8. Gráficas psicrométricas comparativas del NMB.

A continuación, se muestran los resultados de las estrategias de deshumidificación:

*Geotermia somera*

La geotermia somera suele utilizarse como método semi-pasivo de climatización en lugares con mucha amplitud anual de temperatura, ya que sirve como refrigeración en meses calurosos y calefacción en meses fríos, sin embargo, no funciona de igual manera en lugares con clima cálido-húmedo, sin embargo, puede ser utilizado durante algunas temporadas del año para refrigerar y condensar el vapor de agua del aire.

Se analizan en este apartado los cálculos matemáticos y de simulación realizados, añadiendo al NMB un sistema de geotermia somera a 0.90m de profundidad. Dicha profundidad es elegida por tener un mejor comportamiento térmico en los 6 meses más calurosos del año en el caso de estudio. Debido a que no hay datos de la temperatura del subsuelo en el caso de estudio, se realiza el cálculo mediante la siguiente fórmula, creada por Givoni [7], modificando la original de Kusuda [8].

$$T_s = T + A_0 * \exp(-F * Z) * \sin(0.986 * N - 125 - L * Z) \quad (1)$$

Donde:

- $T_s$  = Temperatura del suelo a profundidad Z (°C)
- T = Temperatura anual promedio (°C)
- F = Factor de amortiguación del rango.
- Z = Profundidad bajo tierra (m)
- L = Retraso de tiempo por metro de profundidad
- $A_0$  = Amplitud anual de la temperatura, mitad del rango anual (°C)
- N = Número del día (Enero 1°=1)

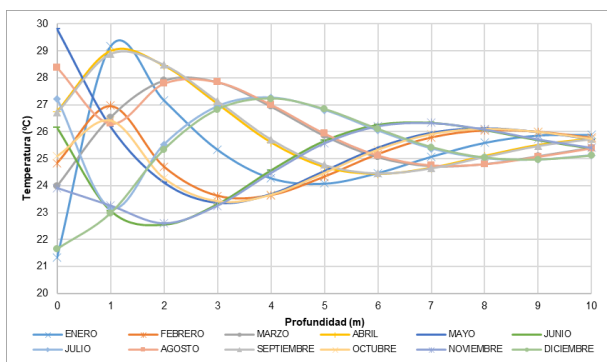


Figura 9. Cálculo de la temperatura del suelo a diversas profundidades en Villahermosa, Tabasco.

Se realiza una mezcla preponderada del modelo simulado en DesignBuilder y la temperatura y humedad del aire en el subsuelo calculadas por la fórmula 1, considerando una renovación de aire por hora y solo manteniendo ventilación natural nocturna.

Los resultados son muy buenos, reduciendo la temperatura mensual promedio entre un 3.5% y un 5.5% y la humedad relativa mensual promedio entre un 8.4% y un 13.4%, sin embargo, dicho sistema está condicionado por las condiciones climatológicas exteriores, ya que es necesario que se combinen altas temperaturas y humedades en la superficie. Como se puede observar en las Fig. 10 y 11 se pueden observar los resultados de dos meses.



Figura 10 y 11. Simulación geotermia somera abril y octubre

Por ejemplo, en el mes de abril se puede ver un buen funcionamiento del sistema la mayor parte del tiempo, sin embargo, cuando la humedad relativa desciende del 70%, la eficiencia del sistema se vuelve prácticamente nulo. De igual forma en el mes de octubre, a pesar que la humedad relativa es alta, la temperatura desciende, por lo cual no existe suficiente diferencia entre la superficie y el subsuelo para condensar el vapor de agua del aire, por lo que el sistema deja de funcionar.

*Presurización deshumidificante*

Al igual que en la geotermia somera, se intenta alcanzar el punto de rocío para condensar el vapor del agua en el aire antes de introducirla a la vivienda, sin embargo, en este caso mediante aumentar la presión por medios mecánicos.

Además de la simulación por software, se hace un recálculo con la ley de los gases ideales [9]:

$$P_v = n * R * T \quad (2)$$

En donde:

$P_v$  = Presión del vapor

$n$  = Número de moles

$T$  = Temperatura en kelvin

$R$  = Constante universal de los gases ideales = 0.082

Empleando un sistema en el cual se comprime un área inicial de 0.5 m<sup>3</sup> a 0.45 m<sup>3</sup>, lo que significa una presión de 1.1 atmósferas y 550 joules por cada pulsación, para cada habitación que se desee deshumidificar. Se calculan 10 pulsaciones por hora y se evita la entrada de humedad del exterior de la vivienda. Este sistema tiene un porcentaje de reducción de la humedad relativa promedio de un 4.85%, que funciona solamente durante el día, al combinarse con ventilación nocturna, como se puede observar en la Fig. 12.

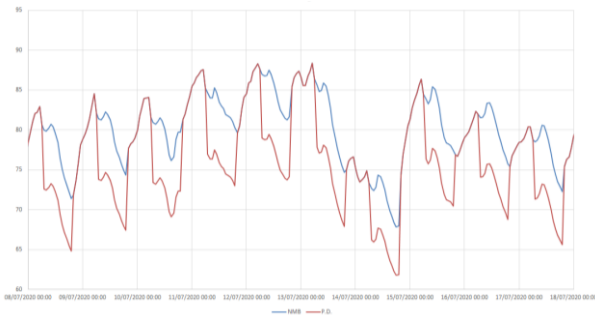


Figura 12. Gráfica de funcionamiento en julio de presurización.

Este sistema puede ser combinado con el sistema de geotermia somera y es importante mencionar que para funcionar necesita de muy poca energía, que puede ser generada por paneles solares, piezoeléctricos, motores de viento u otros medios ecológicos.

#### Paneles desecantes

Se emplean paneles de gel de sílice, que es uno de los materiales desecantes más utilizados en la actualidad, debido a que no es tóxico y tiene una alta capacidad de adsorción.

Aproximadamente para las condiciones climatológicas de Villahermosa, el gel de sílice tiene una capacidad de adsorción del 35.5% de su peso en agua, cuando la humedad relativa es del 100% y un 20.6% si ésta desciende al 50%. Dichos niveles de captación de agua solamente son alcanzados después de 6 horas, después de dicho tiempo se ha alcanzado la saturación total del material, por lo que deja de adsorber.

Se hace cálculos para cada habitación con diferentes cantidades de gel de sílice (1, 2 y 3 kg) y diferentes

tiempos de utilización del material (6, 12 y 24 horas) para cada habitación, se logra una reducción de la humedad promedio aproximada del 11% en cada habitación, sin embargo, se pueden lograr niveles de confort térmico durante franjas de utilización, como se ve en la Fig. 13.

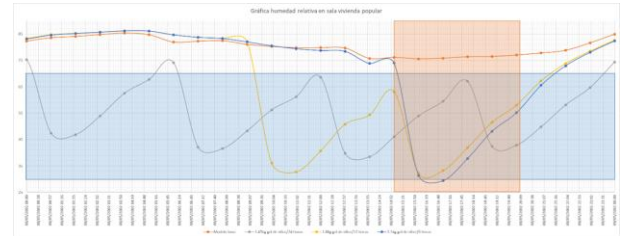


Figura 13. Gráfica de funcionamiento en julio de presurización.

#### 4. Conclusiones

Se encuentran resultados favorables en todas las estrategias analizadas, encontrando las mejores variables para modificación geométrica cuando se aumenta la altura de las cubiertas 50cm, se crean falsos plafones de por lo menos 30cm, se coloca aislante térmico en la planta alta de la vivienda, se crean protecciones solares de 50cm en fachada sur. De igual forma las mejores variables de la ventilación son cuando se mantiene constante o de manera nocturna, las ventanas mantienen una proporción 2:2 o de 3:1 y se favorece la ventilación cruzada, tanto para reducir la temperatura como la humedad relativa del hogar.

En la geotermia somera se selecciona la profundidad de 0.90 m por su buen desempeño térmico en momentos de mayor desconfort en la vivienda, se logra reducir la humedad sustancialmente, tiene un funcionamiento óptimo en momento de alta temperatura y alta humedad, pero moderado o nulo con bajas temperaturas o niveles de humedad debajo del 70%.

La presurización deshumidificante tiene un desempeño óptimo con altas humedades y temperaturas de confort o bajas. Se puede combinar con el sistema de geotermia somera, alternando su funcionamiento. Para su funcionamiento es necesario cerrar la ventilación natural.

Los paneles desecantes tienen un buen desempeño con 1kg de gel de sílice por habitación, con un funcionamiento de 6-7 horas deshumidificando, también necesita cerrar el flujo del aire al interior de la ventilación natural para su mejor desempeño.

## Referencias

- [1] Ahmad S. Kuala Lumpur: A hot humid climate. Bioclimatic housing: Innovative designs for warm climates. 2008:269-93.
- [2] Chen VF. The encyclopedia of Malaysia Vol 5: architecture: Archipelago Press; 2007.
- [3] Hyde R, Sunaga N, Soebarto V, Agostini M, Ribeiro FB, Junghars L, et al. Design, elements and strategies. Bioclimatic housing. 2008:297.
- [4] Butera F, Adhikari RS, Aste N. Sustainable building design for tropical climates. 2015.
- [5] Szokolay SV. Climate, comfort and energy: design of houses for Queensland Climates: Architectural Science Unit, the University of Queensland; 1991.
- [6] Haase M, Amato A. An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal comfort in warm and humid climates. Solar energy. 2009;83(3):389-99.
- [7] Givoni B. Passive low energy cooling of buildings: John Wiley & Sons; 1994.
- [8] Kusuda T. Earth temperatures beneath five different surfaces. National bureau of standards washington dc building research div; 1971.
- [9] Krönig AK. Grundzüge einer theorie der gase: éditeur inconnu; 1856.