



## SISTEMA DE AIREACIÓN INDUCIDA COMO ESTRATEGIA PASIVA DE CONTROL HIGROTÉRMICO EN LAS VIVIENDAS DE BLOCK HUECO EN EL TRÓPICO HÚMEDO. OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CAPTACIÓN DE AIRE

V AERATION SYSTEM INDUCED AS PASSIVE  
HYGROTHERMAL CONTROL STRATEGY  
IN BLOCK HOLE HOUSING IN THE HUMID TROPICS.  
CATCHMENT AIR NETWORK OPTIMIZATION

### AIDA LÓPEZ CERVANTES

Doctora en arquitectura por  
la UNAM, 2010.  
[arqaida@gmail.com](mailto:arqaida@gmail.com)

### JORGE FLORES GONZÁLEZ

Maestro en arquitectura  
por la UNAM, en el área de  
Tecnología Ambiental, 2009.

### HAYDEE PÉREZ CASTRO

Maestro en arquitectura por  
la UNAM, 2009.

Arquitectos especialistas en el  
área de tecnología ambiental.

Profesores Investigadores  
de la División Académica de  
Ingeniería y Arquitectura,  
UJAT, Tabasco, México.  
[investigacion.daia@ujat.mx](mailto:investigacion.daia@ujat.mx)

### RESUMEN

En la búsqueda de desarrollos tecnológicos que aporten alternativas para la rehabilitación de viviendas afectadas por condiciones meteorológicas y ambientales inherentes al clima cálido-húmedo: lluvia, inundaciones, encharcamientos y alta humedad relativa, se desarrolló un Sistema de Aireación Inducida (SAI) que introduce aire en la cavidad de los muros de block hueco, aprovechando como energía para su funcionamiento la carga térmica de la envolvente y la radiación solar.

El SAI está conformado por una red de captación de aire, un subsistema de inyección y un subsistema de eyección. Ahora, se presentan adaptaciones al diseño para optimizar la red de captación de aire a partir de investigación experimental con el objetivo de disminuir el riesgo de condensación con base en la ecuación de ASHRAE (1997) sobre la capacidad de flujo dependiente de la apertura en cfm (pies cúbicos por minuto). El resultado es un sistema pasivo que hace circular aire a través de los muros húmedos como una estrategia para el control higrotérmico en las construcciones de block hueco.

### Descriptores

Estrategia pasiva, Control higrotérmico, Muros de Block hueco, Aire inducido.

### ABSTRACT

*In order to provide alternatives for the rehabilitation of houses affected by inherent to environmental humid-tropic and weather conditions, experimental research was performed to evaluate the capacity of introduced air into an Induced Aeration System -SAI- (López, 2010). The SAI operates within walls, taking advantage of the thermal load of the envelope. the intramural aeration serves as a trigger to lower the water particles contained into cavities that impact on physical conditions of the building and comfort conditions. Now, there are design adaptations on the capturing network. It is based on the equation of ASHRAE (1997) about flow capacity dependent of the opening on cfm.*

*The total output is a wind catchment network that operates as part of a passive strategy to hygrothermal control in empty block constructions.*

### Descriptors

*Passive Strategy, Hygrothermal Control, Empty Block Walls, Induced Air.  
sediorecab*



## SISTEMA DE AIREACIÓN INDUCIDA COMO ESTRATEGIA PASIVA DE CONTROL HIGROTÉRMICO EN LAS VIVIENDAS DE BLOCK HUECO EN EL TRÓPICO HÚMEDO. OPTIMIZACIÓN DE LA RED DE CAPTACIÓN DE AIRE

### AFECTACIÓN DE LAS VIVIENDAS POR HUMEDAD

Ante los innegables problemas que surgen como consecuencia del cambio climático (inundaciones, prolongados o disminuidos periodos de lluvia, sequías excesivas, etc.), los investigadores, gobiernos y empresas privadas buscan alternativas que contribuyan a disminuir los rigurosos impactos muchos de los cuales derivan de las formas de organización y consumo de la sociedad en todos los ámbitos.

Si bien es cierto que la investigación en arquitectura sobre el cambio climático, sus impactos, su prevención y atención se ha incrementado, la responsabilidad de acciones concretas parece seguir siendo de todos y de nadie, pues los resultados y la difusión de dichas investigaciones no siempre llegan a la población afectada, por eso es importante reconocer que la labor del investigador debe repercutir también sobre grupos sociales mayoritarios. No sólo con políticas, leyes y normas que dibujen y encaucen las acciones, sino con iniciativas y productos de impacto directo, y con la conciencia de considerar las particulares formas de ser, estar y hacer de cada sociedad. Salas (1997) considera esta cuestión como el regreso a la escala humana, dando al diseñador la responsabilidad de participar en las propuestas edilicias que respondan a problemas latentes. En el caso del cambio climático, el hilo conductor en la arquitectura corresponde al bioclimatismo, cuya finalidad es la eficiencia térmica y energética del edificio desde el proceso de proyección, proponiendo para tal fin herramientas de forma sistemática.

Así, la presente investigación tiene como empresa desarrollar un sistema de control higrotérmico y que permita la rehabilitación

de las viviendas afectadas por las inundaciones, la lluvia y las particularidades del clima en la región del cálido húmedo para la República Mexicana. En Tabasco, como consecuencia de las inundaciones de 2007, se llevaron a cabo censos de afectación de viviendas por parte de la Secretaría de Desarrollo Social revelando que el número de viviendas afectadas ascendía a 155.113 unidades, de las cuales 89.671 fueron consideradas aptas para ser apoyadas por el Fondo Nacional de Atención a Desastres-FONDEN. Según dicho registro, del total de viviendas impactadas, 11,9% sufrió daños mínimos en puertas y pintura; 44,7% daños “menores”; 33,3% daños “parciales” y 10,1% daños totales. Otras 33.715 viviendas no fueron apoyadas porque no cumplían con los requisitos de operación para el apoyo (SEGOB, 2008). Según la Secretaría de Desarrollo Social-SEDESOL, sumando el número de viviendas que por el tipo de daños pueden ser rehabilitadas (mínimos y menores), son 50.763 (SEGOB, 2008).

El sector afectado por las inundaciones está conformado en su mayoría por familias de escasos recursos, por lo que sus viviendas pueden verse en proceso de construcción durante periodos que abarcan varios años. La construcción así es realizada generalmente con block hueco cemento-arena por ser de fácil acceso en el mercado local y precio accesible. Debido a la consistencia del material, tiende a deteriorarse fácilmente por la humedad, haciéndolo incluso nocivo para los habitantes, además de los altos costos que representa su rehabilitación por no mencionar que en muchos casos únicamente se arreglan por fuera con detergente y pintura, en tanto que por dentro continúan húmedas, sin ser reparadas a fondo. Esto ocasiona que con el tiempo la humedad brote, ya sea desprendiendo la pintura o en forma de

manchas de hongo en periodos muy cortos con las implicaciones que en materia de salud representa habitar una vivienda en mal estado. Los recursos necesarios para que estas familias inviertan para rehabilitación de sus viviendas resultan onerosos.

Con la modernidad, la carencia de consideraciones de los factores ambientales locales ha resultado en edificaciones ineficientes que necesitan para su operatividad durante su vida útil el uso irracional de materiales y energía proveniente de fuentes fósiles. Particularmente en el clima cálido húmedo, el efecto de la humedad sobre los elementos arquitectónicos pocas veces es estudiado, limitándose a la utilización de impermeabilizantes o tratamientos con productos químicos que retardan la aparición de los problemas, pero que no disminuyen la humedad intramuros, generando moho, aire insalubre, malos olores, y deterioro de la construcción y accesorios. Todo ello, como consecuencia de factores endógenos, en este caso climáticos, acorta los tiempos de vida útil por lo que el ciclo de vida de la edificación –desde su concepción, construcción, uso y desmantelamiento- resulta en un gasto innecesario de recursos naturales y energéticos.

El problema de humedad intramuros en las viviendas se atribuye principalmente a una ineficiente aplicación de los estudios sobre ventilación y al inadecuado aislamiento térmico. Si bien también existen algunas soluciones de ventilación mecánica en el mercado, que hacen más eficiente la vida útil de la edificación, poco se ha planteado para el clima cálido húmedo, donde por antonomasia los retos del sistema son: incorporar aire seco a la edificación y lograr mantener la edificación fresca durante el día.

La acumulación de humedad en los muros por cualquiera de las causas mencionadas, provoca junto con la condiciones bioclimáticas el fenómeno de condensación, por lo que disminuir el riesgo de que estas situaciones se presenten en los elementos arquitectónicos puede en principio ser una solución al problema de

deterioro en la construcción y los consecuentes problemas térmicos y energéticos.

## EQUILIBRIO ENERGÉTICO EN EL SAI

Este trabajo se inscribe en el marco de una investigación que propone un aireador pasivo intramuros. Según menciona Kenneth (2006), el precepto básico de los sistemas pasivos se apoya en los principios de la termodinámica que dictan que el calor se transmite del cuerpo más caliente al más frío, y que con este proceso se tiende al equilibrio. Para que éste ocurra las condiciones determinantes son: la diferencia de temperaturas entre el aire del ambiente y la fuente de enfriamiento, la intensidad de flujo térmico disponible en la fuente de enfriamiento, la posibilidad de evacuar de la fuente de enfriamiento el calor que le es transferido (Ernesto, 2007).

Con el Sistema de Aireación Inducida (SAI) se pretende ayudar en el proceso de secado de los muros de viviendas afectadas por inundaciones y humedades comunes al clima. El aireador consiste en introducir aire fresco por la parte inferior a las cavidades del muro y bajo el principio de diferencias de presión, hacer que recorra la cavidad verticalmente hacia la parte superior, fenómeno que se aumenta a propósito aprovechando la carga térmica de la envolvente y la radiación recibida por el techo, extrayendo el aire por la parte superior del muro hacia el medioambiente exterior. Como lo indica Kenneth (2006) el proceso implica la existencia de una diferencia de temperatura entre los cuerpos o partes del sistema, dándose las condiciones para una descarga de energía de una parte a otra del sistema. Ello correspondería a un sumidero de calor o depósito ambiental, pudiendo ser el cielo, el suelo o la atmósfera según describe Morillón (2002).

El cielo como sumidero de calor “tiene el potencial de enfriar el sistema por debajo de la temperatura ambiente” (Morillón, 2002), lo que en un clima cálido húmedo es óptimo si el

aire que se descarga al ambiente es más caliente que el aire circunvecino, y además es influenciado por las ganancias de calor convectivas y radiativas del entorno.

El recurso de la ventilación en el clima cálido húmedo es un sistema muy eficaz y que requiere se observe la captación en la zona de alta presión y la salida en la zona de baja presión. Mover el aire y disminuir la energía radiante de las superficies inmediatas puede ayudar en el proceso de deshumidificación. Chávez resume que "es posible propiciar la ventilación natural en edificaciones y tener aire puro y también coadyuvar al control de las cargas térmicas internas (...) la ventilación natural es una estrategia de diseño muy importante para reducir las cargas de enfriamiento en los edificios, para controlar el contenido de humedad en el aire y para permitir la necesaria renovación de aire intramuros..." (1996, p. 95).

El desarrollo del SAI abordó el análisis de las diferencias que se dan en el comportamiento higrotérmico del flujo de aire dentro de las cavidades formadas por el muro de block hueco y el medio circundante, y permitió determinar la eficiencia del flujo de aire forzado en la disminución de los rangos de humedad relativa y temperatura contenidos en el muro. El estudio de las condiciones higrotérmicas bajo la presencia del SAI supone la necesidad de airear los muros para reducir los riesgos de condensación considerando que por las noches durante los momentos de emisividad es cuando se produce la mayor condensación, ya que son las horas en que mayor diferencia hay entre la temperatura acumulada en el material y la temperatura del ambiente. Así que si se minimiza tal diferencia, la probabilidad de alcanzar el punto de rocío en alguna zona interna del muro también disminuye, al igual que los riesgos de condensación, ya que el flujo constante de aire mantendría más baja la temperatura del material mitigando los índices de humedad relativa. Las diferencias disminuyen porque durante el día se ha hecho circular aire por la pared inter-

na del muro, evitando la acumulación de calor gracias al enfriamiento por convección.

## CONSIDERACIONES DE LOS EFECTOS DE LA VENTILACIÓN Y LA HUMEDAD

Los edificios realizan el intercambio de aire de tres formas distintas: por ventilación forzada, por ventilación natural, por infiltración. Estas formas de intercambio de aire difieren significativamente en la manera como afectan la energía, la calidad del aire y el confort térmico. Chávez (1996) argumenta que con un buen manejo del viento puede darse una ventilación natural adecuada en las edificaciones y paralelamente ayudar en el control de las cargas térmicas, controlar los contenidos de humedad del aire y permitir la renovación de aire intramuros. La ventilación natural es una de las estrategias prioritarias para disminuir las cargas térmicas. Para eso son tres los fenómenos principales de la ventilación natural a ser utilizados en las edificaciones:

1. El efecto directo del viento, con el que se pueden disminuir las cargas térmicas internas y las cargas solares al cambiarse el aire interior por el exterior que se encuentra a menor temperatura.
2. Los movimientos internos de aire inducidos por la ventilación natural dentro de las edificaciones pueden contribuir al enfriamiento directo de los ocupantes cuando aumentan los intercambios evaporativos y convectivos en la superficie de la piel.
3. Los flujos de aire por ventilación natural pueden utilizarse para enfriar la estructura del edificio durante períodos específicos (generalmente durante la noche) eliminando el calor almacenado en la estructura.

La ventilación natural depende de las distribuciones de presión en el recinto y alrededor, así el flujo de aire en un espacio es causado por dos elementos, diferencias de presión por efectos del viento directo y diferencias de presión por efectos de temperatura.

La humedad en los muros, que se observa a través de las manchas y aparición de hongos sobre la superficie, se atribuye a la filtración de agua desde el exterior y a la condensación de vapor de agua, ya sea generada dentro de la vivienda o al interior de los muros. Esto se produce generalmente cuando algún elemento de la envolvente se halla por debajo de la temperatura de rocío, provocando que el vapor de agua contenido en el ambiente se condense en esa zona y se dé la llamada condensación superficial. En un espacio donde la actividad genera altos niveles de vapor de agua o que no está correctamente ventilado, habrá mayores posibilidades de condensación en cuanto se den las condiciones de humedad y temperatura requeridas.

Entre las estrategias principales para disminuir los efectos nocivos de la humedad, Serra (2002, p. 25) presenta tres alternativas basadas en el aprovechamiento de la ventilación:

a) La acción contra la humedad. "El aire exterior aunque sea húmedo en valores absolutos siempre lo será menos que el aire interior estancado". Argumenta que la ventilación continua de día y de noche favorecerá las condiciones, sin ser necesario un alto volumen de aire intercambiado.

b) La acción directa en la sensación térmica. Comenta que es posible disminuir la sensación en algunos grados pero que será necesario cuidar el no introducir aire exterior más cálido.

c) La renovación del aire interior. Comenta que el intercambio de aire interior con aire exterior más fresco es posible mediante ventilación nocturna, o de la toma de aire de lugares más frescos, e inclusive no es necesaria una tasa alta de renovación.

La condensación intersticial es otro factor de humedad que puede ser provocada por diversas causas. La humedad también puede ser provocada por capilaridad: el nivel de altura depende del proceso de evaporación y el diámetro de los capilares, cuanto menos evaporación y capilares más finos, mayor es la altura que alcanza.

El fenómeno de condensación depende de los rangos diferenciales entre la temperatura y humedad relativa interior y los exteriores, así como de las condiciones generales del microclima.

La condensación está en relación directa con el coeficiente de transmitancia térmica, es decir, a mayor transmitancia térmica de superficie exterior, mayor será la condensación. Tal es la causa de que el fenómeno de condensación se dé con mayor frecuencia en rincones y aristas detrás de objetos en contacto sin muros exteriores, debido a que la circulación del aire se dificulta por la interposición de los elementos aumentando la resistencia térmica superficial interna, que trae como consecuencia una reducción abrupta del gradiente de temperatura entre las superficies, alcanzándose de esta manera una temperatura superficial inferior a la del resto del muro.

En ocasiones, la temperatura de rocío se alcanza en el interior de los muros, en la cavidad que se forma entre las dos paredes que conforman el muro hueco, provocando que el vapor de agua que se mueve del interior al exterior condense, dándose la condensación intersticial.

La investigación precedente, estimó la eficiencia de la aireación inducida a través de las cavidades intramuros para minimizar la condensación en interiores de muros en el clima cálido húmedo para lo cual se diseñó, como ha sido mencionado, el sistema físico de flujos para inyección y eyección de aire al interior de un muro. Con los resultados obtenidos se han propuesto modificaciones al subsistema de inyección en orden de aumentar la captación de aire que conlleve a optimizar la disminución de la humedad intramuros.

## PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO DEL SAI

El antecedente inmediato para proponer las condiciones de diseño del SAI consistió en un planteamiento teórico del comporta-

miento del sistema para su posterior prueba experimental. Con base en el marco teórico se propuso el sistema de aireación al interior de los muros (SAI) aprovechando la consistencia y la geometría de los materiales y el calentamiento de la envolvente (figura 1). Se planteó que la aireación permitiría la disminución del contenido de vapor de agua reduciendo los efectos por condensación permanente. El SAI se basa en el fenómeno de convección inducida y consiste en placas (muros) por las que se hace circular aire por flotación o diferencias de presión. Los indicadores son: humedad del aire que entra, humedad del aire que sale, temperatura del aire que entra, temperatura del aire que sale. De acuerdo con la hipótesis, los registros se levantaron cada hora y se dividieron para su análisis en dos grupos, matutino de 6:00 a 17:00 hr y nocturno de 18:00 a 5:00 hr, considerando que por las noches se produce la mayor condensación.

El sistema consiste en aprovechar como fuente de energía el calentamiento por radiación y temperatura que se genera en las losas y muros, con lo que se logra el efecto chimenea a través de una red de tuberías arregladas como un colector solar que conforman el *subsistema de eyección* de aire caliente. Al mismo tiempo se inyecta aire a la edificación, específicamente al muro por medio de otra red de tuberías que forman el *subsistema de inyección*. Con base en el principio de Venturi, el aire inyectado es succionado por aire calentado a través de las cavidades del material constructivo en forma ascendente, y habiendo creado una disminución en los diámetros del sistema de eyección, se logra un aumento de presión para favorecer el flujo del aire, arrastrando las partículas de vapor y expulsándolas a través del sistema eyector.

En orden de comparar el comportamiento de los muros con el SAI y sin él, se propuso que en la construcción arquitectónica fueran probados simultáneamente los muros de cada orientación, uno con sistema de aireación y el otro sin sistema de aireación (foto 1).

La expectativa del SAI era que una vez obtenidos los datos, el modelo con el SAI reportara diferencias menores de temperatura entre el interior del muro y el medio ambiente con relación al modelo sin SAI, y que contuviera menor humedad relativa, es decir, menor riesgo de condensación que los muros sin SAI.

Figura 1. Planteamiento del SAI. Esquema.

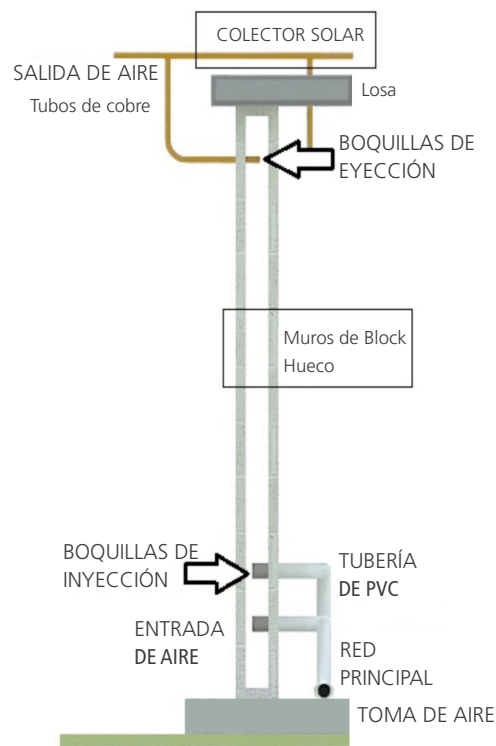


Foto 1. Módulos experimentales



Fuente: López, 2011.

Foto 2. Módulo experimental con SAI



Fuente: López, 2011.

Se observa la red principal de captación de aire levantada del piso, las boquillas del subsistema de inyección de aire insertas al muro, el subsistema de eyección formado por tubos de cobre que se colocan interconectados dentro del colector plano sobre la losa.

Los resultados que se obtuvieron en la primera fase del SAI (2010) fueron diferentes para cada orientación. Con el SAI, durante el horario nocturno, los muros registraron menores diferencias con la temperatura ambiente en un mayor porcentaje que los muros sin SAI, aunque la respuesta fue positiva a lo esperado, ésta fue poco contundente. La HR se mantuvo más baja en el interior de los muros que la contenida en el aire exterior para todas las orientaciones, sin embargo fue más baja la contenida en los muros sin SAI que la de los muros con SAI para la mayor parte de los registros. Pudo concluirse en esa etapa que los rangos de temperatura fueron menores en los muros con SAI y que los comportamientos más estables durante un día típico, tanto de temperatura como de humedad relativa, se presentaron con mayor frecuencia en los horarios nocturnos en los muros con SAI. Ello permitió determinar modificaciones al diseño que consistieron en medir previamente a la colocación de las boquillas de la red principal, la proveniencia de los vientos; aumentar los diámetros de la red principal de captación; aumentar la altura de las boquillas de la red de principales de captación de 0,10m a 1,20 m sobre el nivel de desplante; y considerar optimizar la energía de radiación aprovechándola por medio de un colector solar plano artesanal (foto 2).

## RESULTADOS CON LA PROPUESTA MODIFICADA DE LA RED DE CAPTACIÓN

Para la presentación de los resultados conforme a lo planteado teóricamente, el análisis de los registros se llevó a cabo durante un horario matutino, de 06:00 a 17:00hr, y en un horario nocturno, de 18:00 a 05:00hr.

### Comportamiento diferencial de la temperatura contenida en las cavidades de los muros Norte y el aire exterior

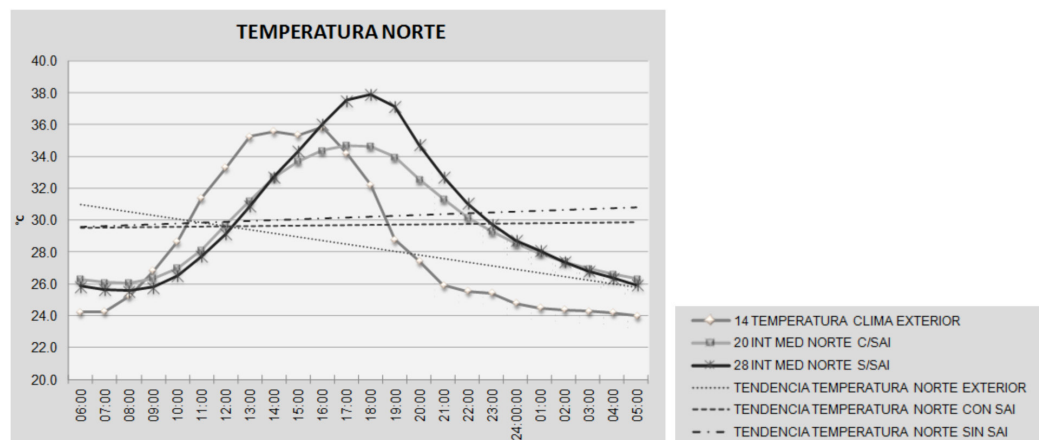
(gráfico 1).

Situación a): Para esta orientación Norte puede observarse que los muros con SAI y sin SAI tienen un comportamiento muy similar entre sí durante gran parte del día, pero se registra un pico de temperatura máxima en el muro sin SAI hacia las 18:00hr por encima incluso de la temperatura exterior.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta temperaturas más bajas que las del muro con SAI durante el horario matutino, en tanto que durante las primeras horas de la tarde, la temperatura del muro con SAI es más baja que la del muro sin SAI.

Situación c): La temperatura mínima del aire exterior es constantemente más baja que la de los muros, en tanto que los índices máxi-

Gráfico 1. Comportamiento diferencial de la temperatura contenida en las cavidades de los muros Norte y el aire exterior



mos son muy cercanos con un desfase temporal, donde el aire exterior alcanza dos horas más temprano las máximas temperaturas.

La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario matutino es similar entre los muros Norte con y sin SAI con respecto a la exterior siendo ambas a la alta. El comportamiento general de la temperatura en los muros Norte tendió a la alta, en tanto que la del exterior tendió a la baja del amanecer hacia el atardecer. Sin embargo, la temperatura en ambos muros se mantuvo por arriba de la exterior, siendo la más baja la del muro con SAI.

### Comportamiento diferencial de la humedad relativa contenida en las cavidades de los muros Norte y el aire exterior (gráfico 2).

Situación a): Para esta orientación Norte puede observarse que el muro con SAI tiene un comportamiento similar al del aire exterior durante las 24 horas.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta HR más altas que las del muro con SAI desde las 12:00 hasta las 21:00hr.

Situación c): La HR del aire contenido en la cavidad del muro con SAI es más baja que la del aire exterior en todo momento, a

excepción de entre las 12:00 a 15:00 hr. Esta orientación presenta un comportamiento de la HR notoriamente diferente al resto de las orientaciones.

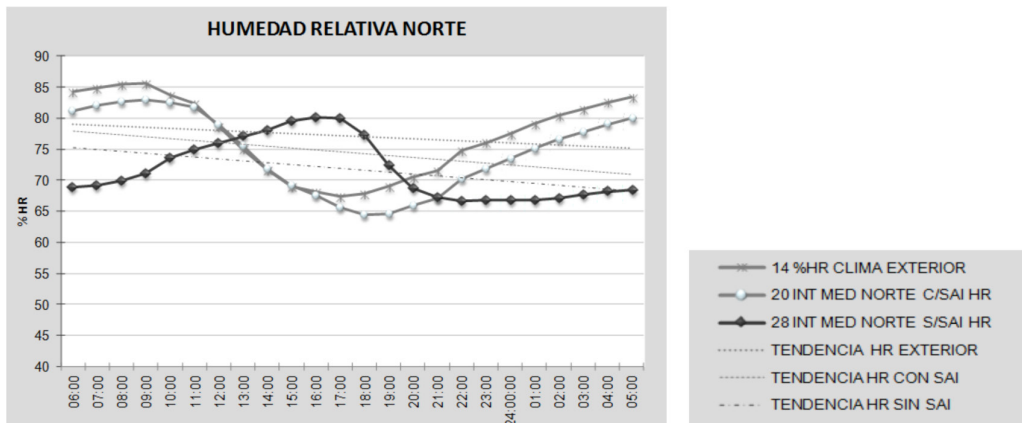
La tendencia de la HR durante el horario matutino fue similar entre el exterior y ambos muros Norte, siendo a la baja, y registrando porcentajes más altos en el exterior con respecto a los del muros, siendo más baja la del muro con SAI que la del exterior. Mientras tanto la tendencia de la HR en el muro sin SAI, se registra durante todo el día, por debajo tanto de la exterior como del muro con SAI.

### Comportamiento diferencial de la temperatura contenida en la cavidad de los muros Sur y el aire exterior (gráfico 3).

Situación a): Para la orientación Sur puede observarse que los muros con SAI y sin SAI tienen un comportamiento muy similar entre sí durante las 24 horas.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta temperaturas más bajas que las del muro con SAI durante el horario matutino, en tanto que durante el horario nocturno, puede observarse que la temperatura del muro con SAI es más baja que la del muro sin SAI, acercándose más a la temperatura del aire exterior.

Gráfico 2. Diferencia del comportamiento de la humedad relativa contenida entre los muros norte con SAI y sin SAI y el aire exterior





Situación c): La temperatura mínima del aire exterior es más baja que la de los muros, en tanto que los índices máximos son muy cercanos con un desfase temporal, donde el aire exterior alcanza dos horas más temprano las máximas temperaturas.

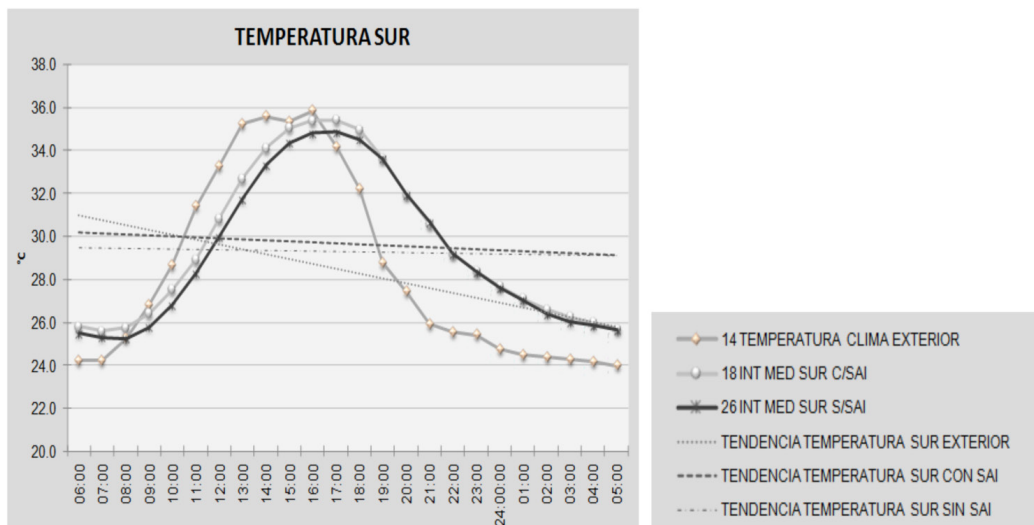
La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario matutino es similar entre los muros Sur con y sin SAI. Ambas se mantienen estables durante el día. Sin embargo hay una tendencia de disminución de la temperatura exterior. La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario nocturno

fue muy similar entre los muros Sur con y sin SAI por encima de la temperatura exterior de la tarde hacia la noche y madrugada, disminuyendo la diferencia hacia el amanecer.

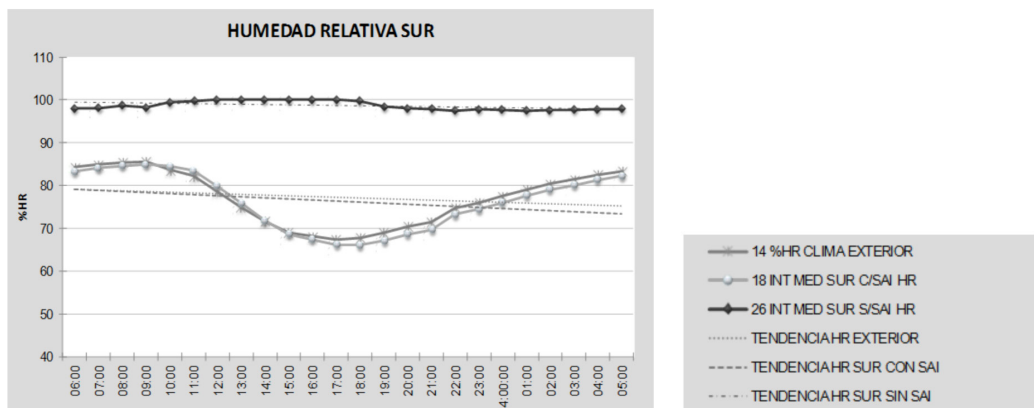
**Comportamiento diferencial de la humedad relativa contenida en la cavidad de los muros Sur y el aire exterior** (gráfico 4).

Situación a): Para la orientación Sur puede observarse que el muro con SAI tiene un comportamiento similar al del aire exterior durante las 24 horas.

**Gráfico 3. Diferencia del comportamiento de la temperatura entre los muros Sur con SAI y sin SAI y el aire exterior**



**Gráfico 4. Diferencia del comportamiento de la humedad relativa entre los muros Sur con SAI y sin SAI y el aire exterior**



Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta HR más altas que las del muro con SAI en todo momento.

Situación c): La HR del aire contenido en la cavidad del muro con SAI es más baja que la del aire exterior en todo momento, a excepción de las 11:00 a 14:00 hr.

La tendencia de la HR durante el horario matutino es similar entre el exterior y el muro Sur con SAI, disminuyendo el porcentaje del amanecer hacia la tarde. Mientras que la tendencia del muro sur sin SAI se mantiene constante y por arriba de la HR exterior. La tendencia en el horario nocturno es muy similar entre el exterior y el muro Sur con SAI, siendo más baja la HR en el muro con SAI y aumentando de la noche hacia el amanecer. La HR en el muro sin SAI presenta una tendencia estable pero muy por encima de la HR registrada en el exterior.

#### Comportamiento diferencial de la temperatura contenida en la cavidad de los muros Este y el aire exterior (gráfico 5).

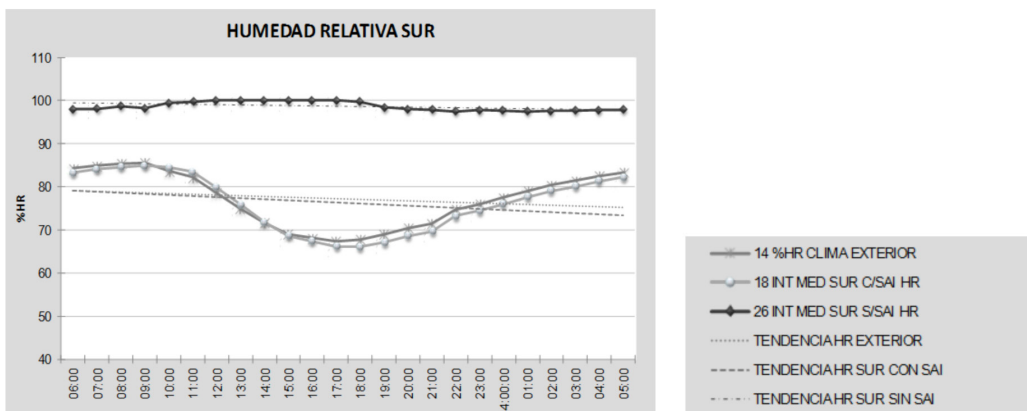
Situación a): Para ésta orientación puede observarse que el muro con SAI tiene un comportamiento muy parecido al del aire exterior durante las 24 horas.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta temperaturas más bajas que las del muro con SAI durante el horario matutino, en tanto que durante el horario nocturno la temperatura del muro con SAI es más baja que la del muro sin SAI, acercándose más a la temperatura del aire exterior.

Situación c): La temperatura mínima del aire exterior siempre es más baja que la de los muros, en tanto que los índices máximos son muy cercanos entre el muro sin SAI y el aire exterior, el aire en el muro sin SAI no alcanza la temperatura del aire en el muro con SAI. Se observa un desfase temporal en el muro sin SAI para alcanzar los índices máximos, el aire del muro sin SAI alcanza dos horas más tarde las máximas temperaturas.

La tendencia del comportamiento de la temperatura durante los horarios matutino y nocturno es similar entre los muros Sur con y sin SAI. Ambas se mantienen estables durante el día. Sin embargo hay una tendencia de disminución de la temperatura exterior. La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario nocturno es similar entre los muros Este con y sin SAI por encima de la temperatura exterior de la tarde hacia la noche y madrugada, disminuyendo la diferencia hacia el amanecer.

Gráfico 5. Diferencial del comportamiento de la temperatura entre los muros Este con SAI y sin SAI y el aire exterior



### Comportamiento diferencial de la humedad relativa contenida en la cavidad de los muros Este y el aire exterior (gráfico 6).

Situación a): Para la orientación Este puede observarse que el muro con SAI tiene un comportamiento muy parecido al del aire exterior durante las 24 horas.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta HR más altas que las del muro con SAI en todo momento.

Situación c): La HR del aire contenido en la cavidad del muro con SAI es más baja que la del aire exterior en todo momento.

La tendencia de la HR durante el horario matutino es similar entre el exterior y el muro Este con SAI, disminuyendo el porcentaje del

amanecer hacia la tarde. Mientras que la tendencia del muro Este sin SAI se mantiene constante y por arriba de la HR exterior.

La tendencia en el horario nocturno es muy similar entre el exterior y el muro Este con SAI, siendo más baja la HR en el muro con SAI y aumentando de la noche hacia el amanecer. La HR en el muro sin SAI presenta una tendencia estable pero muy por encima de la HR registrada en el exterior.

### Comportamiento diferencial de la temperatura contenida en la cavidad de los muros Oeste y el aire exterior (gráfico 7).

Situación a): Para la orientación Oeste puede observarse que los muros con SAI y sin SAI tienen un comportamiento muy similar entre sí

Gráfico 6. Diferencia del comportamiento de la humedad relativa entre los muros Este con SAI y sin SAI y el aire exterior

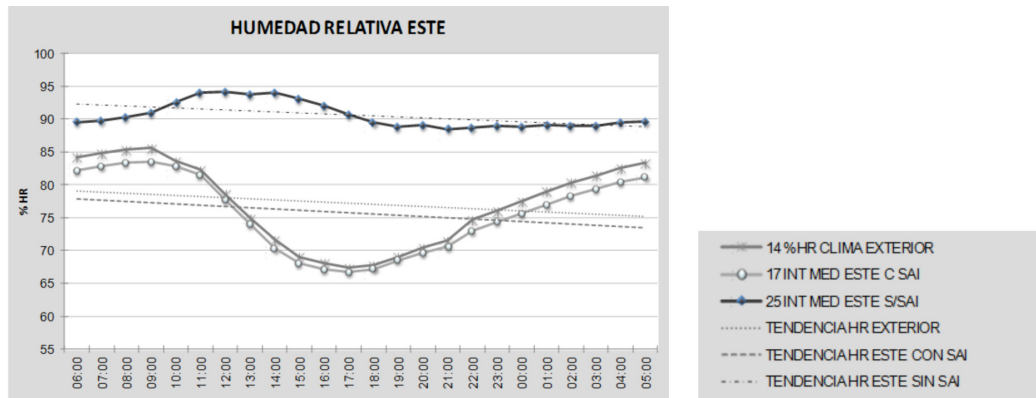
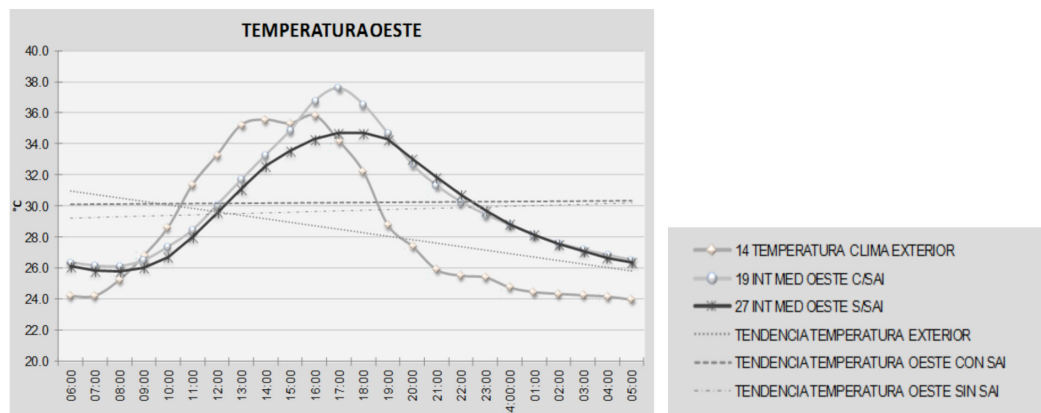


Gráfico 7. Diferencia del comportamiento de la temperatura entre los muros Oeste con SAI y sin SAI y el aire exterior



durante gran parte del día, pero se observa un pico de temperatura máxima en el muro con SAI hacia las 17:00hs por encima incluso de la temperatura exterior.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta temperaturas más bajas que las del muro con SAI durante el horario matutino, en tanto que durante las primeras horas del horario nocturno puede observarse que la temperatura del muro con SAI es más baja que la del muro sin SAI.

Situación c): La temperatura mínima del aire exterior es más baja que la de los muros, en tanto que los índices máximos son muy cercanos con un desfase temporal, donde el aire exterior alcanza dos horas más temprano las máximas temperaturas.

La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario matutino es muy similar entre los muros Oeste con y sin SAI. Ambas se mantienen estables durante el día. Sin embargo hay una tendencia de disminución de temperatura exterior. La tendencia del comportamiento de la temperatura durante el horario nocturno es similar entre los muros Oeste con y sin SAI por encima de la temperatura exterior de la tarde hacia la noche y madrugada, disminuyendo la diferencia hacia el amanecer.

### Comportamiento diferencial de la humedad relativa contenida en la cavidad de los muros Oeste y el aire exterior

(gráfico 8).

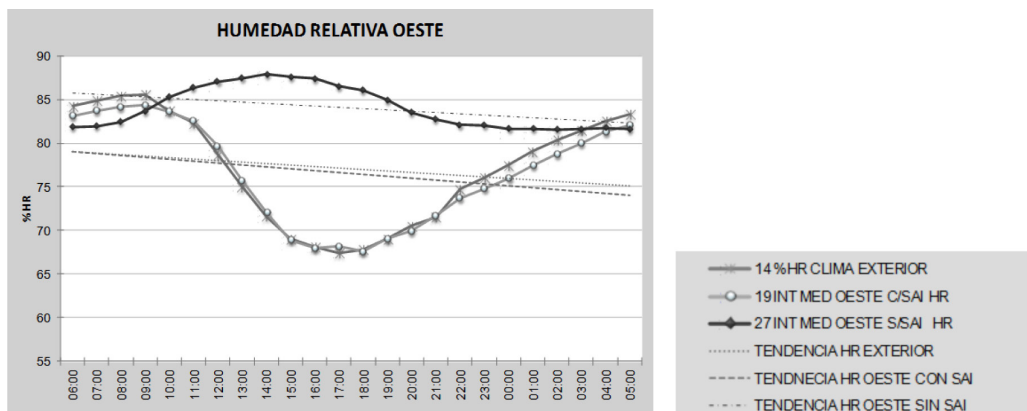
Situación a): Para esta orientación Oeste puede observarse que el muro con SAI tiene un comportamiento muy similar al del aire exterior durante las 24 horas.

Situación b): El aire contenido en la cavidad del muro sin SAI presenta HR más altas que las del muro con SAI desde las 10:00 hasta las 3:00hrs.

Situación c): El aire contenido en la cavidad del muro con SAI es más baja que la del aire exterior en todo momento, a excepción de las 11:00 a 14:00 hrs.

La tendencia de la HR durante el horario matutino es similar entre el exterior y el muro Sur con SAI, disminuyendo el porcentaje del amanecer hacia la tarde. Mientras que la tendencia del muro Oeste sin SAI se mantiene constante y por arriba de la HR exterior. La tendencia en el horario nocturno es muy similar entre el exterior y el muro Oeste con SAI, siendo más baja la HR en el muro con SAI y aumentando de la noche hacia el amanecer. La HR en el muro sin SAI presenta una tendencia más estable pero muy por encima de la HR registrada en el exterior.

Gráfico 8. Diferencia del comportamiento de la humedad relativa entre los muros Oeste con SAI y sin SAI y el aire exterior



De acuerdo con los registros obtenidos, la diferencia de temperatura entre el material y el aire para calcular el riesgo de condensación fueron los siguientes. Con base en el planteamiento según el cual:

$$\Delta T = T_a - T_m$$

Si  $\{T_a < T_m\} \rightarrow T_m$  disminuye y condensa  
A mayor  $\Delta T$ , mayor riesgo de condensación.

De ese planteamiento se obtuvo:

HORARIO MATUTINO CON SAI			
	Ta °C	Tm °C C/SAI	ΔT
NORTE	30,8	29,7	1,1
SUR	30,8	30,3	0,5
ESTE	30,8	30,9	0,0
OESTE	30,8	30,4	0,4

HORARIO MATUTINO SIN SAI			
	Ta °C	Tm °C C/SAI	ΔT
NORTE	30,8	29,8	1,0
SUR	30,8	29,7	1,2
ESTE	30,8	29,5	1,3
OESTE	30,8	29,5	1,3

HORARIO NOCTURNO CON SAI			
	Ta °C	Tm °C C/SAI	ΔT
NORTE	25,9	29,6	-3,7
SUR	25,9	29,0	-3,1
ESTE	25,9	28,5	-2,6
OESTE	25,9	30,0	-4,1

HORARIO NOCTURNO SIN SAI			
	Ta °C	Tm °C C/SAI	ΔT
NORTE	25,9	30,6	-4,7
SUR	25,9	28,9	-3,0
ESTE	25,9	28,8	-2,9
OESTE	25,9	29,9	-4,0

Para las modificaciones del diámetro de tubería de la red de captación, basadas en la ecuación de ASHRAE (1997) para la tasa de aire dependiente del área de aberturas, se tiene que:

$$Q = C_4 C_v AV \text{ (ASHRAE, 1997)}$$

Donde:

Q= Tasa de aire en cfm

$C_4$ = factor de conversión de unidad= 88.0

$C_v$ = eficacia de las aberturas (de 0.5 a 0.6)

A= Area total de abertura en ft<sup>2</sup>

V= velocidad de viento en mph

Sustituyendo con las dimensiones del SAI 2010

$$A = 0.01 \text{ ft}^2 * 6 \text{ a boquillas} = 0.07 \text{ ft}^2$$

$$V = 1.57 \text{ mph}$$

$$Q = (88) (0.6) (0.07) (1.57) = 5.80 \text{ cfm}$$

Con base en ello, se propusieron boquillas de 2" de diámetro obteniendo:

$$A = 0.02 \text{ ft}^2 * 6 \text{ boquillas} = 0.12 \text{ ft}^2$$

Con la misma velocidad de viento registradas en 2010, se tiene que:

$$Q = (88) (0.6) (0.12) (1.57) = 9.9 \text{ cfm}$$

Suponiendo 6 boquillas de 2" con una velocidad de viento de hasta 8.3 mph, según datos levantados durante el periodo de registro con las modificaciones, se obtuvo:

$$Q = (88) (0.6) (0.12) (8.3) = 52.58 \text{ cfm}$$

La velocidad de viento de 8.3 mph es considerada en la escala de Beaufort una velocidad moderada, este incremento en la velocidad aumenta la eficiencia en la renovación del aire en la cavidad de los muros.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con Kenneth (2006) el proceso implica la existencia de una diferencia de temperatura entre los cuerpos o partes del sistema, es decir, de la zona de inyección a la zona de eyección, dándose las condiciones para una

descarga de energía de una parte a otra del sistema, lo que se da mediante el flujo creado por la diferencia de temperatura y la posibilidad de evacuación de aire caliente en la parte superior del muro al cielo mediante el subsistema de eyección, correspondiendo así al sumidero de calor que Morillón (2002) describe para estos sistemas.

Los resultados del primer planteamiento del SAI sí se lograron en lo referente a que las diferencias fueron menores entre los muros con SAI y el aire exterior con respecto a las registradas entre el muro sin SAI y el aire exterior.

Para la fase de modificaciones al SAI la diferencia entre el comportamiento del microclima y el del aire exterior influyó en el SAI dándose en todas las orientaciones la posibilidad de pérdida de calor del SAI al ambiente exterior en el horario nocturno considerando el promedio de las temperaturas en el horario matutino de un día tipificado, el riesgo de condensación en los muros sin SAI, siendo de mayor a menor: el muro Este, Oeste, Sur y Norte. Considerando el promedio de las temperaturas en el horario nocturno de un día tipificado, el riesgo de condensación es mayor en los muros sin SAI, siendo de mayor a menor: el muro Este, Sur, Oeste y Norte.

De la proveniencia del viento se infiere que los estudios de dirección dominante deben realizarse con anterioridad al planteamiento de la red de captación principal, en lugar de considerar la orientación solar como la determinante para el emplazamiento.

Ante las sugerencias de modificación para las condiciones de diseño SAI y el cambio de los diámetros de entrada con base en la ecuación de ASHRAE (1997) para la tasa de aire dependiente del área de aberturas la eficiencia aumentó en 60%.

Ampliar el diámetro de las boquillas para incrementar la velocidad del aire es una estrategia pasiva adecuada para optimizar la red de captación de aire del SAI, sin embargo se debe considerar aumentar la velocidad por diferencia de presión, ya que el viento como factor invo-



lucrado en la fórmula es un elemento inconsistente por sí mismo.

A pesar de que entre las estrategias principales para disminuir los efectos nocivos de la humedad, según Serra (2002), está la ventilación continua de día y de noche y que de esa manera no es necesario un alto volumen de aire intercambiado como resulta en el SAI, el planteamiento teórico sugiere determinar la factibilidad de considerar otros elementos, como temperaturas máximas, mínimas y medias,

momentos de la humedad máxima, mínima y promedio y condiciones ambientales como viento y radiación.

Como ventaja global de las estrategias pasivas y su mejora continua se tiene la protección al medio ambiente que deriva de cada acción que supone mejores condiciones de habitabilidad con menores recursos materiales y económicos, lo que sucede si se disminuye el gasto corriente por mantenimiento durante la vida útil del edificio.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAVV (1997). Refrigerating and Air Conditioning Engineers ASHRAE, Handbook Fundamentals, Atlanta: American Society of Heating.
- AAVV (2002). Norma Técnica del Instituto de Normalización y Certificación. IRAM. Argentina. Extraído 08 de marzo de 2011 de <http://www/unne.ed.ar/cyt/2002/07-tecnológicas>.
- GARCÍA, CH. Y ALLARD, F. (1996). Optimización del manejo de la ventilación natural en las edificaciones. Memorias Semana Nacional de Energía Solar. ANES. México.
- GONZÁLEZ, E. (2002). Sobre el enfriamiento pasivo en edificaciones: proyectos en desarrollo. *IFAD-LUZ*, Universidad de Zulia. Venezuela.
- KENNETH, W. Y DONALD, E. (2006). Termodinámica. Mc Graw Hill. España.



- LÓPEZ, A. (2010). Sistema de aireación inducida para disminuir riesgos de humedad intramuros. Caso de estudio para el trópico húmedo. Tesis Doctoral. UNAM, México.
- LORENZO, ERNESTO (2007). Climatización pasiva de edificaciones mediante conductos enterrados. Potencialidades de aplicación en Venezuela, 6° Congreso Internacional de Construcción Sostenible, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción-Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- MARINCIC, I. (1999). Respuestas térmicas dinámicas en edificios. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.
- MORILLÓN, D. (2002). Sistemas pasivos de enfriamiento. Notas del curso de Sistemas Pasivos. ANES. México.
- SALAS, E. (1997). El impacto del ser humano en el planeta. Editores Asociados Mexicanos. México.
- SEGOB. (2008). Tabasco: Características e impacto socioeconómico de las inundaciones provocadas a finales de octubre y a comienzos de noviembre de 2007 por el frente frío número 4. Extraído 23 febrero de 2012 de [http://www.eclac.cl/publicaciones-xml-3-33373-L864\\_parte\\_5\\_de\\_8.pdf](http://www.eclac.cl/publicaciones-xml-3-33373-L864_parte_5_de_8.pdf).
- SERRA, R. (2002). EL clima del aire y de la humedad. Gustavo Gili. Barcelona.