

Los sistemas pasivos de refrescamiento de edificaciones en clima tropical húmedo. Posibilidades de aplicación en Venezuela

María Elena Hobaica; Rafik Belarbi; Luis Rosales

Resumen

El proyecto se integra en un marco general de mejoramiento de la calidad de las edificaciones, mediante un enfoque que plantea la reducción del gasto energético. Se incursiona en el campo de los sistemas de tratamiento integral de la envolvente y los ambientes de la edificación, a través de la incorporación de técnicas pasivas de refrescamiento, especialmente de sistemas complementarios que colaboren en alcanzar niveles adecuados de confort, adaptados a las distintas zonas climáticas de Venezuela. A tal fin se plantea una estrategia destinada a evaluar el potencial climático de algunos de estos sistemas, así como su relación con el confort global, de modo de sentar las bases para su aplicación, principalmente en edificaciones colectivas, en sitio urbano. Para ello se propone una zonificación climática de Venezuela y se establece una jerarquía en orden de importancia en cuanto a la incidencia de los factores climáticos en el comportamiento térmico de las edificaciones en el trópico.

Descriptores:
Refrescamiento pasivo;
Edificación; Confort;
Gasto energético.

Abstract

The project deals with the optimization of buildings global quality, integrating energy saving issues. The approach involves a global understanding of the building's envelope and indoor spaces performances, by means of incorporating passive cooling systems, specially those which consist of complementary systems added to the building, which aim is to achieve thermal comfort in accordance with Venezuela's climatic zones. The strategy consists of an evaluation of the cooling potential of some of those cooling systems, particularly focused on collective urban buildings. This involves the definition of different climatic zones of the country's as well as a ranking based on the influence of diverse climatic parameters in accordance with building's performance in tropical weather.

Descriptors:
Passive cooling;
Building; comfort;
Energetic consumption

Introducción

La coyuntura actual venezolana abre nuevas posibilidades frente a un periodo de despilfarro energético que parece llegar a su fin. Nos enfrentamos a una progresiva toma de conciencia relativa a la posibilidad real de diseñar y construir edificaciones confortables dentro de un marco de racionalidad. Uno de los objetivos fundamentales es la disminución del elevado costo de la climatización, cuyos excesos nos colocan como el país que tiene el más alto consumo energético de América Latina.

La incursión en el estudio de los sistemas pasivos de climatización, capaces de refrescar los ambientes utilizando poca energía, nos conduce a una estrategia que incluye la adaptación al clima venezolano de una metodología para determinar el potencial de algunas de estas técnicas, cuya eficacia ha sido comprobada para otras latitudes.

A partir de una primera selección de técnicas plausibles, se analizan y presentan los resultados obtenidos para dos ciudades cuyas condiciones climáticas difieren ampliamente: Caracas, situada a mil metros de altura y Maracaibo, a nivel del mar.

Esta respuesta deberá extenderse hasta abarcar las diferentes zonas climáticas del país a fin de realizar la edición de un atlas cartográfico sobre la potencialidad de diversos sistemas pasivos de enfriamiento. Posteriormente, el proyecto propuesto contempla el desarrollo de un modelo de comportamiento térmico de edificaciones al cual se acoplen los sistemas de enfriamiento potencialmente aplicables, a fin de estudiar su viabilidad física y económica, en particular para edificaciones específicas.

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 17-1, 2001, pp. 57-68.
Recibido el 08/12/00 - Aceptado el 23/02/01

artículos

Enfriamiento pasivo

Contexto general

La introducción del desarrollo tecnológico en la actividad edilicia ha distorsionado en ocasiones la fisonomía de la edificación y su interrelación con el ambiente que la rodea. Ello ha generado la proliferación de construcciones impersonales, cuya concepción llega al extremo de negar el bienestar de los usuarios, el cual debe ser recuperado a posteriori mediante un aporte energético extraordinario de elevado costo.

Con la última crisis energética se ha creado un fenómeno de inversión de esta situación en el ámbito mundial, para volver al estudio y significación de una arquitectura que establezca nuevamente una interacción armónica entre el hombre, su hábitat y la naturaleza a través de la adecuación de los factores tecnológicos, económicos y socioculturales.

La concepción integral de las edificaciones requiere de un equilibrio entre la calidad global del ambiente creado y la optimización del consumo energético. La optimización de la calidad depende en la práctica de la capacidad de incorporar en el proceso de diseño y construcción de edificaciones exigencias de habitabilidad cuya satisfacción sea de riguroso cumplimiento, lo cual requiere a su vez un cuerpo de normas de comportamiento (CONAVI, 1999; CONAVI, 2001) y las herramientas necesarias para su cumplimiento.

Las exigencias relativas a los aspectos de confort climático han sido objeto de importantes estudios en el mundo desarrollado, inicialmente para reducir el consumo energético en periodos invernales e incluyendo actualmente los periodos estivales. En los países prósperos y de clima temperado, el mejoramiento de las condiciones de confort en periodos estivales y la reducción de las cargas vinculadas a la climatización a través de medios de bajo costo energético y poco impacto ambiental han pasado actualmente a ser considerados como prioridades tanto por los distribuidores de energía (compañías de electricidad) como por los usuarios mismos. La razón es que a lo largo de los últimos veinte años, el aumento general del nivel de vida y la consiguiente demanda social de servicios de calidad han conducido a un aumento exponencial de las instalaciones de climatización artificial o activa.

En el caso venezolano, los requerimientos actuales de apertura comercial y la internacionalización de los precios de la energía han modificado la actitud de desinterés frente al tema, obligando a los actores vinculados con la energía y la construcción a plantearse seriamente el problema del ahorro energético en el marco de una prolongada crisis fiscal, mantenida por los vaivenes del

precio del petróleo, el gasto corriente y el servicio de la deuda. Al mismo tiempo, la cantidad de información que comprueba la estrecha relación entre los carburantes fósiles y la destrucción del ambiente natural ha promovido una actitud reflexiva en cuanto a los medios tecnológicos y las consecuencias de su aplicación.

Si a ello se agrega el deterioro de los microclimas urbanos debido a la entropía de esas máquinas termodinámicas que son los aires acondicionados (entropía equivalente a su potencia de enfriamiento), al igual que los riesgos ambientales relativos al daño en la capa de ozono, se constata la urgencia de establecer políticas de reducción de la potencia de climatización instalada, sin que ello tenga que significar una reducción del confort de los usuarios y la calidad de las edificaciones.

En tal sentido es prioritario estimular el aumento de las políticas referidas al uso de materiales y energías no contaminantes y capaces de generar confort a costos razonables. Combatiendo el despilfarro, prestando asistencia y servicios adecuados es posible reactivar la innovación tecnológica en el sector edilicio, con una visión menos presuntuosa y un enfoque ambientalmente sostenible.

Sistemas pasivos de refrescamiento en edificaciones

Desde hace algunos años se han desarrollado diversos estudios sobre la integración de sistemas especiales de control ambiental (Serra y Coch, 1995), los cuales se basan en el tratamiento interrelacionado de los componentes arquitectónicos a fin de cubrir los requerimientos de habitabilidad de las edificaciones.

En este contexto el acondicionamiento pasivo tiene como objetivo mejorar el comportamiento climático de edificaciones, actuando sobre los fenómenos de radiación, térmicos y de movimiento del aire a fin de generar bienestar en los usuarios. Se denominan pasivos por el hecho de no utilizar fuentes de energía artificial o hacerlo en forma muy reducida. De hecho, el sistema pasivo por excelencia es la ventilación natural, cuya aplicación en regiones cálidas húmedas genera beneficios indiscutibles en los ambientes interiores, siempre y cuando la temperatura exterior no sobrepase excesivamente la zona de "confort". Otra de las ventajas que presenta es que no requiere de energía eléctrica ni de una inversión elevada, además de ser parte integral de la obra arquitectónica. (Koenigsberger *et al.*, 1977; Givoni, 1994).

No obstante, las condiciones para la ventilación natural no son fáciles de obtener, pues además de ciertas condiciones climáticas y de temperatura exterior, se requieren amplias superficies de fachadas en contacto con el exterior, lo cual es cada vez más inusual en sitios ur-

banos. Los sistemas pasivos intentan solventar éstas y otras dificultades, actuando como complementos a medio camino entre la ventilación natural y la climatización artificial.

La climatización pasiva se basa en la disipación del calor interior de una edificación hacia sumideros o conductos que se encuentran a temperaturas más bajas. Se realiza por medio de técnicas de enfriamiento, algunas de ellas conocidas desde antes que se generalizara el uso de la electricidad. Algunos de estos sistemas emplean una débil cantidad de energía fósil o eléctrica, siendo en este caso conocidos como sistemas híbridos.

La condición esencial de todos los sistemas de enfriamiento pasivo es la disponibilidad de un surtidor o fuente de enfriamiento que se encuentre a una temperatura inferior a la temperatura del ambiente a tratar. Ésta puede ser una temperatura real (temperatura del suelo) o una temperatura hipotética (temperatura de la bóveda celeste), pero en ambos casos ésta es la temperatura mínima que puede alcanzar el fluido portador de calor a la salida del sistema de refrescamiento. Igualmente es necesario considerar las características físicas de este fluido que generalmente es aire, así como su medio de origen que puede ser el medio exterior o la zona tratada (reciclaje), es decir, el estado del fluido a su entrada al sistema de refrescamiento. Otro aspecto a reparar es el rendimiento del sistema de refrescamiento caracterizado por su eficiencia y consumo energético, así como la zona tratada, la cual sirve de base para definir el estado deseado del fluido, a la salida del sistema.

La efectividad de estos sistemas depende fundamentalmente de:

- La diferencia de temperatura entre el aire del ambiente y la fuente de enfriamiento.
- La intensidad del flujo térmico disponible en la fuente de enfriamiento.
- La posibilidad de evacuar de la fuente de enfriamiento el calor que le es transferido, de manera que se mantenga su temperatura a un nivel lo su-

ficientemente bajo durante un periodo de tiempo conveniente.

Por otra parte, los sistemas de enfriamiento pasivo pueden ser:

- Sistemas directos, aquellos que actúan directamente, sin intermediarios sobre la masa de la edificación o sobre el aire interior.
- Sistemas indirectos, aquellos en los que se enfría en una primera fase un fluido vector que es luego transferido al interior de la edificación o puesto en contacto con el aire o la masa de la misma, con almacenamiento preliminar o sin él.

La Comunidad Europea ha sido pionera en el desarrollo de proyectos de investigación con el objetivo de fomentar la utilización del refrescamiento pasivo en edificaciones ubicadas en diversidad de regiones climáticas. Algunas de las técnicas, producto de estos estudios, fueron aplicadas con gran éxito en los espacios abiertos de la Exposición Universal Expo Sevilla '92 (Álvarez, 1992). Igualmente hubo un importante avance mediante los proyectos europeos JOULE II/PASCOOL (Commission of the European Communities, 1996) y ALTERNER/SINK (European Commission, 1996) por el desarrollo de una metodología general de evaluación del potencial de técnicas pasivas en función del clima del sitio edificado.

Para la realización de dichos proyectos se realizó una primera preselección de sistemas pasivos de distinta naturaleza, a fin de evaluar su potencialidad para su aplicación generalizada en distintos sitios fundamentalmente urbanos. A continuación se describen brevemente:

- El uso del suelo como fuente directa de energía y/o el uso de conductos enterrados dentro de los cuales circula el fluido a enfriar (intercambiadores aire-aire o agua-aire), figura 1.

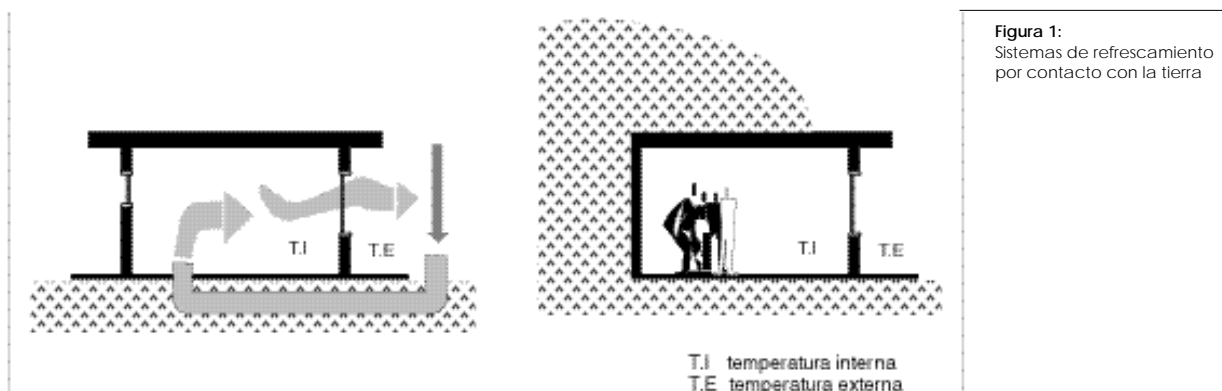


Figura 1:
Sistemas de refrescamiento por contacto con la tierra

artículos

Las restricciones para la utilización directa del suelo en contacto con la edificación ha dado paso al sistema de tubos enterrados cuyo principio consiste en aspirar el aire (interior o exterior) mediante un ventilador e inyectarlo al ambiente interior luego de haber atravesado los tubos enterrados, generándose una diferencia de la temperatura del aire a la salida del tubo. La disminución de la temperatura a la salida del tubo depende de diversos factores: la temperatura de entrada, la temperatura del terreno a la profundidad del tubo, la conductividad térmica del tubo, la difusividad térmica del terreno, la velocidad del aire en el tubo y sus dimensiones. De allí la necesidad de un cálculo detallado para optimizar el funcionamiento de este tipo de sistema. En la práctica, para considerar la utilización de tubos enterrados, la temperatura de la tierra debe ser entre 5 y 6 grados menor que la del aire.

Para determinar la eficiencia de un sistema de refrescamiento por tubos enterrados es necesario:

- El conocimiento de la temperatura superficial del suelo al igual que a diferentes profundidades.
- La determinación de la temperatura del aire a la salida del tubo.
- El acoplamiento del tubo con el comportamiento térmico de la envoltura de la edificación.

Siendo el objeto garantizar un poder refrescante suficiente por parte del sistema con un consumo eléctrico justificable.

- El uso de la bóveda celeste nocturna como sumidero de energía electromagnética proveniente de la masa de la edificación y el uso de radiadores por los cuales circula el fluido a enfriar (aire o agua), figura 2.

El refrescamiento por radiación nocturna se basa en la pérdida de calor por radiación de gran longitud de onda de un cuerpo hacia otro cuya temperatura sea menor, el cual se comporta como una fuente fría. A tal efecto la edificación sería el objeto a enfriar mientras que la fuente fría es la bóveda celeste.

La técnica radiativa más sencilla consiste en pintar el techo de blanco, sabiendo que el blanco y el negro tienen la misma emisividad térmica. La ventaja de la pintura blanca es que el techo absorbe menos energía solar durante el día y en consecuencia será más fácil de enfriar por radiación nocturna. Otras técnicas consisten en utilizar agua para el enfriamiento del techo durante la noche, que a su vez circule durante el día para enfriar la edificación; el sistema de paneles radiantes, el cual consiste en la colocación de tubos recubiertos por una placa metálica, la cual se enfría durante la noche por exposición a la bóveda celeste, enfriando a su vez el aire que circula por los tubos mediante un ventilador y que será posteriormente inyectado en la zona a refrescar.

La utilización de este sistema requiere que la placa sea de material de alta emisividad en el campo de la gran longitud de onda, dado que el poder emisivo de los metales decrece con la longitud de onda.

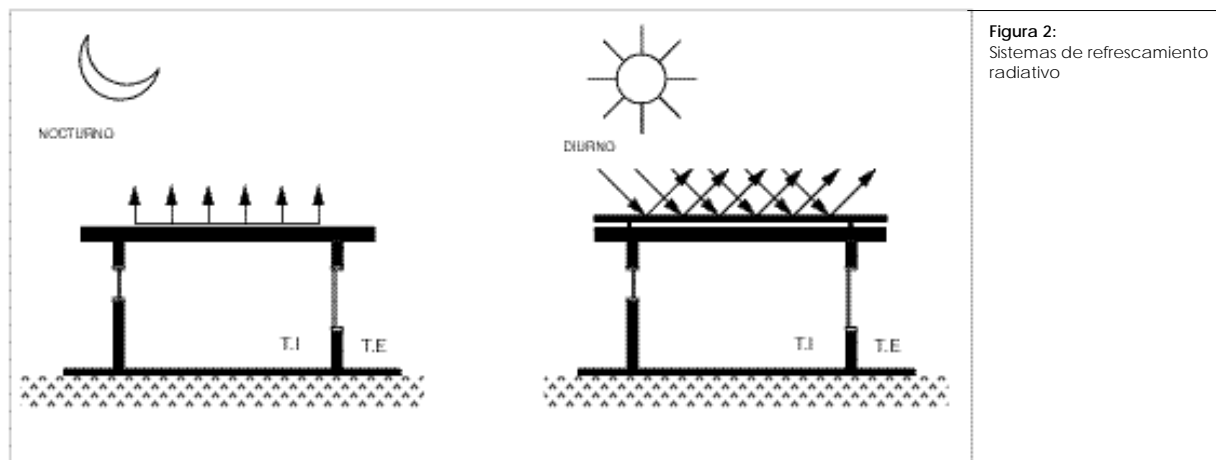
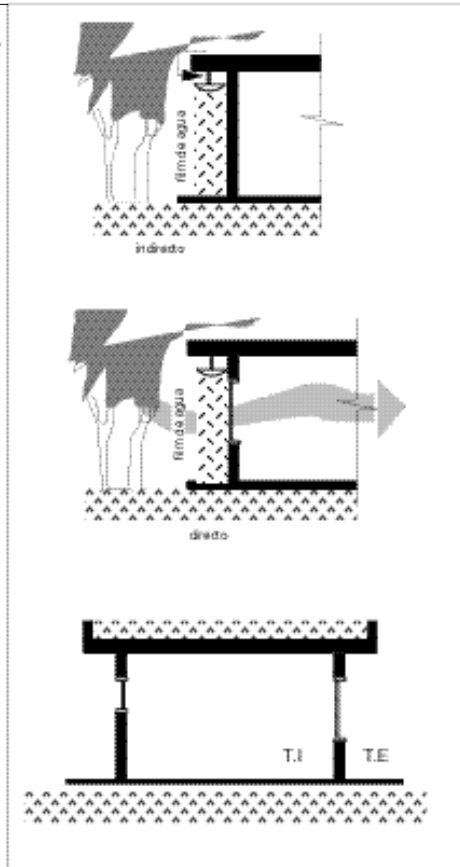


Figura 2:
Sistemas de refrescamiento radiativo

- El uso de sistemas evaporativos directos o indirectos en los cuales la evaporación del agua permite reducir la temperatura del aire tratado. Figura 3.

Figura 3:
Sistemas de refrescamiento evaporativo



El enfriamiento evaporativo se basa en el proceso termodinámico de evaporación del agua. Para que esto ocurra se requiere de cierta cantidad de energía denominada calor latente de evaporación. Si la evaporación tiene lugar a partir de un aire más caliente que las gotas o el film de agua, el calor latente debido al cambio de fase (de líquido a vapor) es tomado del aire, el cual se enfría a la vez que aumenta su contenido de agua. En el diagrama psicrométrico es posible constatar que el enfriamiento máximo del aire se obtiene cuando el aire a la salida del sistema está saturado. Los sistemas de enfriamiento que utilizan esta técnica son los evaporativos directos.

Dado el caso de que no nos interese cargar el aire enfriado con el vapor de agua, es posible mantener la cantidad de agua constante mediante los sis-

temas evaporativos indirectos, los cuales están abastecidos por un intercambiador de calor. Esta técnica permite enfriar el aire a tratar atravesando el compartimiento seco del intercambiador de calor por aire exterior previamente enfriado por evaporación directa en un compartimiento húmedo. Este proceso sólo utiliza intercambios sensibles; no hay contacto entre el aire tratado y el del compartimiento húmedo. La temperatura más baja que se puede alcanzar por esta técnica evaporativa indirecta es la temperatura húmeda del aire exterior. También es factible combinar los dos sistemas, indirecto y directo. A la salida del compartimiento seco el aire puede ser humedecido hasta la saturación y repitiendo la operación varias veces es posible aproximarse a la temperatura a la cual se inicia la condensación del vapor de agua.

Los sistemas evaporativos pueden utilizar o no disipadores de energía tales como ventiladores, bombas aspiradoras, etc.

Los proyectos antes mencionados mostraron que el potencial de estos sistemas es significativo en el ámbito europeo (Belarbi et al., 1998). Ahora se busca evaluar su potencial en países cálidos como Venezuela, adaptándolos a las condiciones locales e integrándolos en el diseño mismo de las edificaciones, con lo cual se verificaría no sólo su potencial, sino también sus particularidades operativas. Para ello se requiere la verificación de la metodología propuesta, su actualización y adaptación al caso venezolano.

Actualmente parecieran estar dadas las condiciones para su utilización a fin de mejorar el confort de los usuarios en edificaciones expuestas a clima tropical húmedo. En efecto, se percibe un interés progresivo hacia el tema por parte de distintos actores vinculados a la industria de la construcción y a los problemas energéticos (Allard y Belarbi, 1998). A tal efecto se han retomado estudios de zonificación climática del país (Álvarez Bernal, 1983), a fin de actualizarlos y se están recopilando los datos meteorológicos de todas las estaciones de Venezuela con el apoyo del Servicio de Meteorología de las Fuerzas Armadas de Venezuela.

Un instrumento como el propuesto permite evaluar para cada una de las zonas climáticas establecidas, el potencial de una diversidad de técnicas de refrescamiento ya existentes o las que vayan surgiendo dentro de los procesos de investigación y desarrollo vinculados al diseño y producción de edificaciones en el trópico.

artículos

Metodología de evaluación de técnicas pasivas de refrescamiento de edificaciones

El método de evaluación del potencial climático de técnicas de refrescamiento pasivo ha sido desarrollado como instrumento de apoyo para la toma de decisiones desde la fase de anteproyecto de edificaciones. Su desarrollo parte del conocido diagrama psicrométrico o del aire húmedo, el cual fue concebido para simplificar los cálculos que permiten determinar los numerosos parámetros que intervienen en el acondicionamiento del aire. Este diagrama inventado a principios del siglo XX se impuso como una herramienta útil y eficaz.

Un diagrama psicrométrico está constituido por una presión dada sobre cierto rango de temperatura. Para el aire se toma normalmente un diagrama de valores medidos a la presión atmosférica.

Aunque el hombre es capaz de adaptarse a diversas circunstancias, existen condiciones particulares dentro de las cuales percibe una sensación de bienestar, es la zona de "confort" en la cual el cuerpo se encuentra en equilibrio térmico.

Resulta muy complejo limitar en forma precisa esta zona, la cual depende de múltiples factores objetivos y subjetivos. No obstante, numerosos autores han intentado hacerlo.

Givoni y Szockolay desarrollaron un método para definir a partir del diagrama psicrométrico zonas de confort en función de distintas estrategias pasivas de acondicionamiento de las edificaciones (ventilación, inercia, técnicas de enfriamiento, etc). La determinación de las distintas zonas se efectúa mediante el cálculo de los umbrales mínimos y máximos de temperatura y humedad (figura 4).

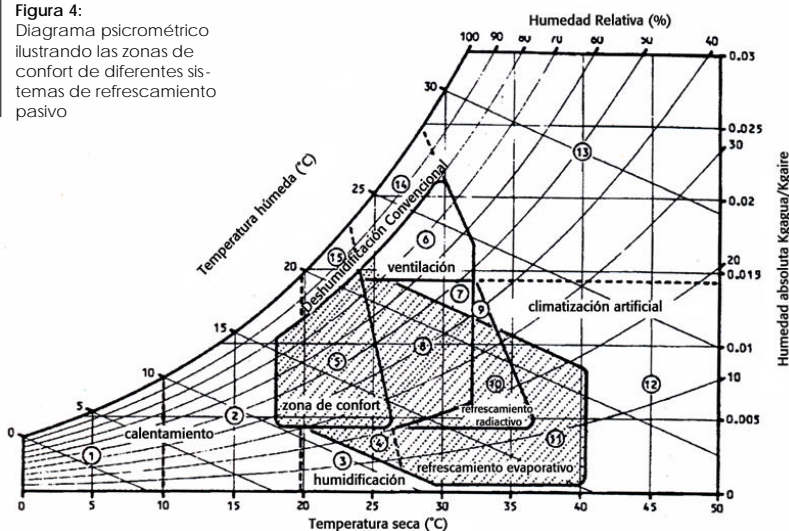
Este método proporciona informaciones cualitativas útiles para los arquitectos pero no permite cuantificar el potencial de refrescamiento de las distintas técnicas ni la ganancia energética.

A fin de abarcar éstos y otros aspectos fue desarrollada la metodología referida en los proyectos europeos (Belarbi, Sperandio y Allard, 1996) anteriormente reseñados, la cual consta de dos partes:

Un procedimiento simplificado basado en el análisis del potencial de refrescamiento de sistemas pasivos a través de índices evaluadores, y un método detallado más complejo obtenido a partir del acoplamiento de modelos de simulación de técnicas pasivas con un código térmico para determinar el comportamiento de edificaciones en determinadas zonas climáticas.

El análisis simplificado del funcionamiento de diversos sistemas de enfriamiento pasivo parte de la definición de magnitudes relativas al clima, a la naturaleza de la técnica y a la tipología de la edificación, lográndose la comparación cualitativa y cuantitativa de las diversas técnicas conocidas.

Figura 4:
Diagrama psicrométrico
ilustrando las zonas de
confort de diferentes sis-
temas de refrescamiento
pasivo



Fuente: Rafik Belarbi, 1998. Desarrollo de herramientas metodológicas de evaluación y de integración de sistemas evaporativas para el refrescamiento pasivo de edificaciones. Tesis de doctorado.

El conocimiento del fluido portador de calor y la caracterización de un surtidor de frío o fuente de refrescamiento natural permiten cuantificar el potencial teórico de enfriamiento del cual dispondría un sistema ideal. Durante el proceso de enfriamiento, el fluido portador de calor intercambia calor y masa con la fuente de enfriamiento, evolucionando de un estado inicial caracterizado por $T_{entrada}(t)$ y $W_{entrada}(t)$ a un estado final caracterizado por $T_{salida}(t)$ y $W_{salida}(t)$. En un proceso ideal las condiciones de salida del sistema coinciden con la de la fuente de enfriamiento (figuras 5 y 6).

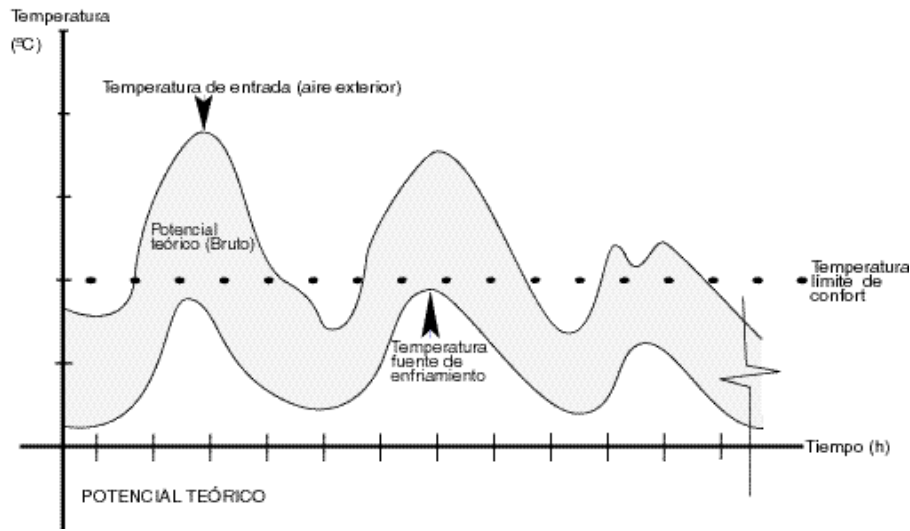


Figura 5: Índice de potencial teórico

La noción resultante es la energía teóricamente disponible Q_{disp} durante un período τ (eq.1) la cual resulta de gran utilidad a los fines de establecer una cartografía indicativa del potencial de distintas técnicas para las zonas climáticas de un sitio determinado. (*) (figura 7).

$$Q_{disp} = \int_{\tau} \dot{m} (c_p (T_{in}(t) - T_{fuente}(t))) dt \quad (1)$$

siendo

Q_{disp} : energía sensible teóricamente disponible por la fuente de enfriamiento

T_{in} : Temperatura de entrada del fluido en el sistema pasivo

T_{fuente} : Temperatura de la fuente de enfriamiento

c_p : Calor específico del fluido vector utilizado

\dot{m} : Caudal del fluido

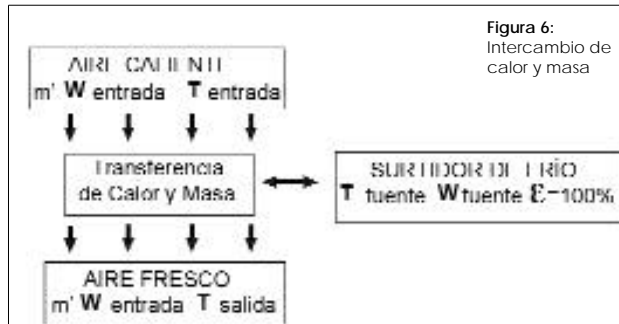


Figura 6: Intercambio de calor y masa

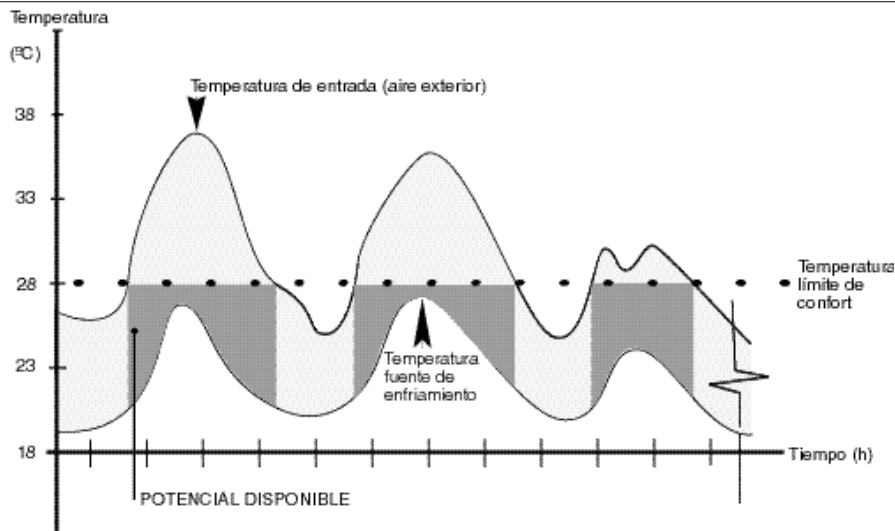


Figura 7: Índice de potencial disponible

artículos

La energía teórica disponible resulta, no obstante, un dato insuficiente en lo que respecta a la evaluación de un sistema de enfriamiento en particular, puesto que la recuperación de la energía por la fuente fría no es perfecta. Por tanto se definen igualmente otros parámetros como la energía utilizable, Q_{util} (eq. 2) que toma en cuenta el rendimiento del sistema y la eficacia del sistema (eq. 3 y 4), figura 8.

$$Q_{util} = \int_T m'(t) C_p (T_{ent}(t) - T_{salida}(t)) dt \quad (2)$$

$$Q_{util} = \int_T m'(t) C_p \epsilon(t) (T_{ent}(t) - T_{fuente}(t)) dt \quad (3)$$

$$\alpha(t) = \frac{T_{ent}(t) - T_{salida}(t)}{T_{ent}(t) - T_{fuente}(t)} \quad (4)$$

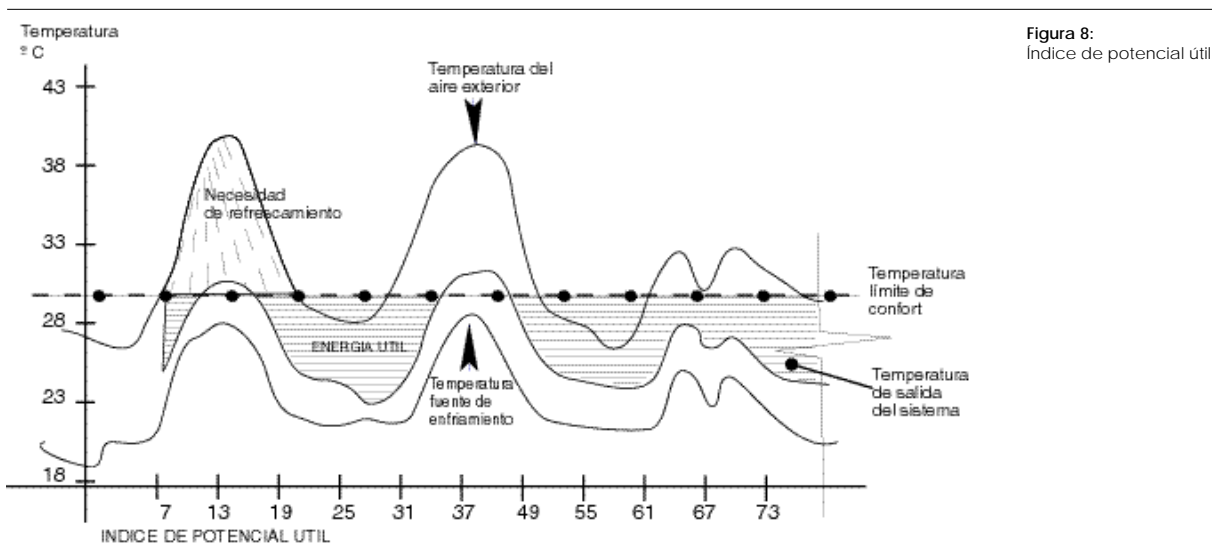


Figura 8: Índice de potencial útil

donde T_{salida} representa la temperatura del fluido saliendo del sistema.

La energía utilizada Q_{usa} que incorpora la exigencia de confort. (eq. 5)

$$Q_{usa} = \int_T m'(t) C_p (T_{ent}(t) - T_{salida}(t)) \delta(t) dt \quad (5)$$

Con $\delta(t) = 1$ cuando las condiciones de temperatura y humedad del fluido a la salida del sistema cumplen los requisitos de confort (el fluido es directamente utilizable); y $\delta(t) = 0$ cuando las condiciones del fluido no cumplen las de confort (el fluido no es utilizable para el tratamiento climático). Para evaluar el interés económico de la técnica pasiva se define un factor de cobertura F_c que representa la parte de energía relativa que proporciona la técnica para cumplir las necesidades de climatización del edificio Q_{clim} (eq. 6).

$$F_c(\tau) = \frac{Q_{usa}}{Q_{clim}} \quad (6)$$

El factor de utilización F_u representa la parte de energía realmente utilizada Q_{usa} por el enfriamiento pasivo con respecto a la energía potencialmente utilizable Q_{util} , lo cual permite juzgar su pertinencia respecto al potencial disponible (eq. 7).

$$F_u(\tau) = \frac{Q_{usa}}{Q_{util}} \quad (7)$$

Por último, el factor de rendimiento COP del sistema se define por la relación entre la energía aportada por el sistema y el consumo eléctrico global necesario Q_{elec} . (eq. 8).

$$COP(\tau) = \frac{Q_{usa}}{Q_{elec}} \quad (8)$$

Esta metodología se perfila como un instrumento de gran utilidad para realizar una selección a priori de sistemas de enfriamiento pasivo aptos para ser aplicados en distintas zonas climáticas de Venezuela, así como para la evaluación del comportamiento de una técnica específica con respecto a una determinada edificación. Tomando en cuenta las características meteorológicas del país es factible analizar los sitios correspondientes a regiones climáticas diferenciadas y evaluar el potencial de algunas técnicas preseleccionadas. Otra de las ventajas de su aplicación en el contexto venezolano es su carácter progresivo, lo cual le permite ser utilizada como un instrumento tanto para la fase de anteproyecto (selección de la técnica adecuada en función del sitio), como para proporcionar datos específicos relativos a la edificación, a la cual se acoplaría la técnica y finalmente realizar una evaluación económica con base en el consumo energético de una edificación en función de la técnica recomendada.

De acuerdo con la metodología descrita, es factible proporcionar información relativa a la aptitud de determinadas técnicas de enfriamiento natural del aire, en zonas específicas, para tipologías de edificaciones dadas. La evaluación del potencial de enfriamiento del cual disponen los diferentes sistemas requiere únicamente de criterios relativos a las condiciones climáticas del sitio, a la eficiencia de la fuente de enfriamiento y al grado de confort deseable.

El potencial se determina mediante el cálculo de la diferencia entre la temperatura propia de la fuente de enfriamiento elegida y la temperatura de diseño (o de confort). Esa diferencia integrada a lo largo del período de enfriamiento proporciona el potencial de enfriamiento comparativo de diversas técnicas pasivas en un sitio determinado, del cual se conocen únicamente las variables climáticas.

Este índice es el que permite la elaboración de una cartografía comparativa de los potenciales de refrescamiento de las diversas técnicas pasivas.

Potencial climático de los sitios de Caracas y Maracaibo respecto a las técnicas de enfriamiento preseleccionadas

Una primera aproximación del potencial de las técnicas reseñadas se efectuó mediante la utilización de ficheros meteorológicos reales, procesados en función del modelo numérico desarrollado. Se seleccionaron

las ciudades de Caracas y Maracaibo por tener la mayor cantidad de datos para el momento y por representar dos zonas climáticas diametralmente opuestas dentro de la concepción de trópico húmedo. Maracaibo se encuentra al nivel del mar y presenta elevadas temperaturas y humedad durante todo el año. En el caso de Caracas, las condiciones climatológicas se atenúan por su altitud de aproximadamente mil metros sobre el nivel del mar. Tanto para Caracas como para Maracaibo se tomaron los datos meteorológicos horarios correspondientes al año 1997 proporcionados por el Servicio de Meteorología de la Fuerza Aérea Venezolana relativos a temperatura de bulbo seco y temperatura de bulbo húmedo. Se consideraron respectivamente, una temperatura de diseño de 25°C y una humedad relativa de 75%. Los resultados que exponemos a continuación se incluyeron en el cuadro comparativo con algunas ciudades europeas, cuyo potencial para las mismas técnicas pasivas fue analizado por el equipo el LEPTAB de la Universidad de la Rochelle.

Las figuras 9, 10 y 11 representan tres técnicas de enfriamiento diferentes para las cuales se analizó el potencial teórico disponible, así como el potencial utilizable para los sitios en estudio, en función de las necesidades de climatización. En estos gráficos es posible constatar un potencial racionalmente disponible para la ciudad de Maracaibo al utilizar tanto la técnica de enfriamiento radiativa (34000°h) como la de los tubos enterrados (38000°h), a diferencia de la técnica evaporativa cuyo potencial teórico disponible es mucho menor (16000°h). Al analizar el potencial utilizable constatamos que en lo que respecta a los sistemas de tubos enterrados y radiativos es posible una cobertura parcial, mientras el sistema evaporativo resulta absolutamente inapropiado para las condiciones de Maracaibo.

Si analizamos los resultados concernientes a la ciudad de Caracas observamos que las tres técnicas estudiadas pueden cubrir sobradamente las necesidades de climatización, por lo que un estudio más fino de las mismas parece indispensable a los fines de su aplicación a edificaciones específicas. En efecto, la figura 12 representa la parte relativa de la energía proporcionada por la técnica de enfriamiento pasivo respecto a la necesidad global de climatización, por lo que constituye un instrumento válido para evaluar el interés económico a fin de adoptar una de las soluciones pasivas en función de su acoplamiento a una edificación específica.

artículos

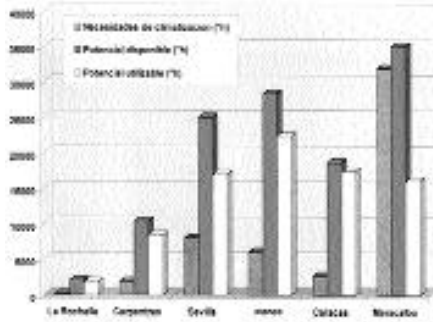


Figura 9: Técnica de tubos enterrados

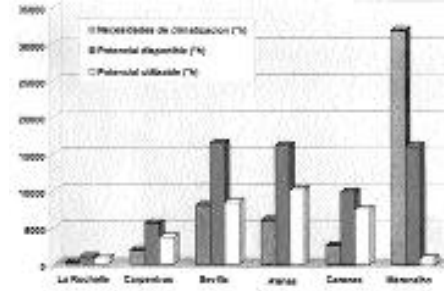


Figura 10: Técnica de enfriamiento evaporativo

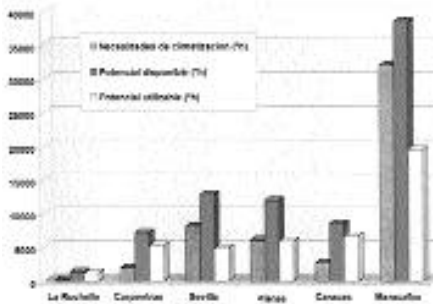


Figura 11: Técnica de enfriamiento radiativo

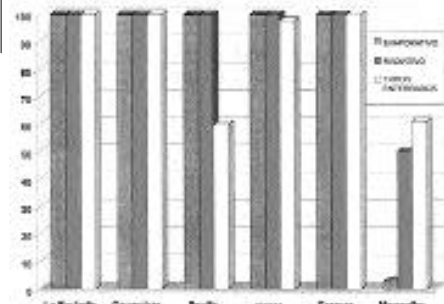


Figura 12: Factor de cobertura (%)

Conclusión y perspectivas

Los primeros avances obtenidos en el campo del desarrollo de sistemas pasivos de enfriamiento permiten vislumbrar amplias posibilidades para su aplicación en el corto, mediano y largo plazo. En efecto, estos sistemas constituyen alternativas válidas para mejorar el confort de los usuarios de edificaciones a costos razonables debido, entre otras causas, a las condiciones actuales del país, caracterizado por un aumento sostenido e importante del consumo eléctrico especialmente en los centros urbanos, lo cual ha llevado a las empresas eléctricas a planificar medidas de ahorro con el objeto de reducir el consumo, el cual comienza a crear un desequilibrio entre la oferta y la demanda.

De acuerdo con lo estipulado por el sector eléctrico, resulta imperiosa la necesidad de optimizar el uso de recursos en el marco de un mercado de mayor apertura. Para ello es fundamental realizar estudios rigurosos sobre los potenciales del sector para disminuir costos de energía mediante la selección de técnicas capaces de

adaptarse a una estrategia de gestión de una demanda predefinida.

La metodología desarrollada en el marco europeo es fácilmente generalizable, afinándola y refiriendo sus diferentes parámetros a los sitios determinados para ello. Su utilidad es múltiple pues permite un estudio bioclimático por zonas, al estudiar la evolución de diversas técnicas de refrescamiento pasivo con base en el clima y el confort. Un primer objetivo consiste en elaborar un atlas energético para los arquitectos y otros actores del proceso constructivo, para las fases de anteproyecto y predimensionamiento de sistemas de climatización, de ser éstos indispensables. En una segunda etapa se integrarían los modelos de comportamiento de sistemas pasivos potencialmente utilizables a uno de los códigos térmicos desarrollados para el diseño de edificaciones adaptadas a condiciones climáticas existentes. Para ello se requiere culminar dos pasos previos, la recopilación y el procesamiento de los datos meteorológicos de todas las estaciones de Venezuela correspondientes a un periodo significativo y la clasificación del país en zonas climáticas en función de estos datos.

La novedad de esta metodología es que se apoya en criterios energéticos, lo cual la hace mucho más interesante que los procedimientos cualitativos precedentes para proporcionar ambientes confortables en edificaciones a costos razonables.

Igualmente, la extensión del método a una amplia zona climática (tropical húmeda) constituye un aporte importante para el desarrollo sustentable de la industria de la construcción de edificaciones en Venezuela.

Bibliografía

- ALLARD, F., 1995. "Concepto de confort térmico y predicción del comportamiento eólico de edificaciones". IDEC-FAU-UCV. Curso de Ampliación.
- ALLARD, F., 1998. "Análisis energético de los edificios y calidad de los ambientes interiores. Últimas orientaciones de las investigaciones en Europa". Conferencista invitado. *COTEDI'98*. Caracas, Venezuela. 18 al 20/ 03/1998.
- ALLARD, F., et al. 1998. *Natural ventilation in buildings*. Londres. Inglaterra. James & James.
- ALLARD F. y BELARBI, R. 1998. "Metodología de Evaluación de Técnicas Pasivas de enfriamiento". Ponencia *COTEDI'98. Primer Simposio de Confort y Comportamiento Térmico de Edificaciones*. Caracas, Venezuela.
- ALLARD, D.F. y HOBAICA, M.E., 1993. "Concepto de confort térmico y predicción del comportamiento eólico de edificaciones". *Tecnología y Construcción*, vol. 9, pp. 27-39.
- ALLARD, F. y HOBAICA, M.E., 1995. "Concepto de confort térmico y predicción del comportamiento eólico de edificaciones". *Revista Tecnología y Construcción*, n° 9, IDEC-FAU-UCV, Caracas.
- ALLARD, F., LIMAM, K. y GONZÁLEZ, E. 2000. "Ventilación natural para el control climático". *COTEDI 2000*, Maracaibo, Venezuela, 20 al 25/06/2000.
- ALLARD, F.; SANTAMOURIS, M.; ÁLVAREZ, S.; DASCALAKI, E.; GUARRACINO, G.; MALDONADO, E.; SCIUTO, S. y VANDAELE, L., 1998. *Natural ventilation in buildings. A design handbook*, Altener Project, London. James & James.
- ÁLVAREZ, S. 1992. CIEMAT. Control climático en espacios abiertos (Proyecto Expo 92). Ed. Secretaría General Técnica del Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambiente y Tecnología. Sevilla. 195 p.
- ÁLVAREZ, S. y BALARAS, C.A. 1995. Passport Plus Report, final report of Pascool Project, European Commission DG XII for Science, Research and Development, V. 1, pp. 11-85, Brussels.
- ÁLVAREZ, S.; DEASIAN, J.L.; YANNAS, S. y DEOLIVERA FERNÁNDEZ, E. 1991. *Architecture and urban space*. PLEA 1991. Londres. Inglaterra. Klumar Academic Publishers.
- ÁLVAREZ BERNAL, F. 1983. *Atlas climatológico de Venezuela*. Caracas. Imprenta Universitaria, UCV.
- ARGIRIU, A. y SANTAMOURIS, M., 1993. Passive Cooling in Hotels. *European Seminar on Advanced Systems in Passive and Active Climatisation*. Barcelona. España.
- BELARBI R., 1998. "Développement d'outils méthodologiques d'évaluation et d'intégration des systèmes évaporatifs pour le rafraîchissement passif des bâtiments". Tesis de Doctorado. Universidad de la Rochelle. Francia.
- BELARBI, R.; SPERANDIO, M.; y ALLARD F. 1996. "Integration of Direct Evaporative Cooling Systems", *International Symposium On Passive Cooling of Buildings*, v.1, pp. 263-270, Athens, June 1995.
- BLONDEAU, P.; SPERANDIO, M. ALLARD F. 1996. "Night ventilation for building cooling in summer". *Solar Energy*.
- CENTRE FRANÇAIS DE L'ÉLECTRICITÉ. La ventilation: nécessité de l'amélioration thermique de l'habitat existant. EGMI impresor.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT (C.S.T.B.). 1992. *Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide*. Tome 1: Methodologie de prise en compte des paramètres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques. Francia.
- CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT (C.S.T.B.). Service ENEA/CVA. 2000. "Guide d'installation et d'utilisation du logiciel COMET-CE Version 1.0. Confort d'été en résidentiel et non résidentiel." París. Marne La Vallée.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. 1996. *Pascool project*, final report: Joule II programme contract JUO2-CT92-0013.
- CONAVI. 1999. *Normas de Habitabilidad, Seguridad y Colectividad en Relación a la Vivienda y su entorno*. Coord. Geovani Siem, p. 130.
- CONAVI. 2001. *Código Nacional de Habitabilidad para la Vivienda y su entorno*. Coord. Geovani Siem, p. 49.
- CURIEL, E. 1982. "La arquitectura en regiones de Venezuela". Trabajo de ascenso. Caracas.

artículos

EUROPEAN COMMISSION DIRECTORATE GENERAL XVII FOR ENERGIA. 1995. *Internacional Simposium: Passive Cooling of Buildings*. Athens, Greece.

EUROPEAN COMMISSION. 1996. *Potential of Natural Cooling Techniques in Southern Europe*, Sink Altern Project-4.1030/A/94-88DG XVII.

GANDEMER, J., 1993. "Guide for the natural climatisation of houses in tropical and humid climates". C.S.T.B. Centre de Recherche de Nantes. Paper presented at *1st European and African Regional Conference Guernsey* (UK).

GIVONI, B., 1978. *L'homme L'architecture et le climat*. Paris. Francia. Éditions du Moniteur.

GIVONI, B. 1994. *Passive and low energy cooling of building*. New York. Van Nostrand Reinhold edition.

GONZÁLEZ, E.M. 1997. "Étude des matériaux et des techniques du bâtiment pour la conception architecturale bioclimatique en climat chaud et humide". Thèse de Doctorat. École de Mines de Paris.

HOBAICA, M.E. 1991. "Validación experimental de un modelo de termique du bâtiment en climat tropical humide". Thèse de Docteur de l'Université Paris VI, Pierre et Marie Curie.

HOBAICA, M.E.; ALLARD, F. y BELARBI R., 2000. Tratamiento térmico de la edificación en el trópico ecuatorial. Hacia la reducción del gasto energético. *COTEDI 2000*, Maracaibo, Venezuela, 20 al 25/06/2000.

KOENISBERGER, INGERSOLL, MAYHEW, SZOKOLAY. 1977. *Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales*. Madrid. Paraninfo S. A.

LIMAM, K.; INARD, C. y ALLARD, F. 1991. "Étude expérimentale des transferts de masse et de chaleur à travers les grandes ouvertures verticales". *Conférence Groupe d'Etude de la Ventilation et de Renouvellement D'Air*. I.N.S.A. Lyon. Francia.

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; LEWIS, J.O. y ASIMAKOPOULOS D.N. 1999. "On the application of the energy balance equation to predict the ground temperature profiles". *Solar Energy, volume 60*, numbers 3/4.

MILLET, JR.; COLLIGNAN, B. y BOLHER, A., 1996. Annexe 28 de l'AIE: Climatisation à faible consommation énergétique. Low energy cooling. Informe técnico. Clientes: ADEME. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie. GDF. Gaz de France.

SACRÉ, C., MILLET, J.R., GANDEMER, J. y BARNAUD, G., 1992. *Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide*. Tomo 1. C.S.T.B. Paris. Francia.

SANTAMOURIS, M., et al. 1996. *Passive cooling of buildings*. Londres. Inglaterra. James & James.

SERRA, Florenza R. y COCH, Roura H., 1995. *Arquitectura y energía natural. POLITEXT. Área de Arquitectura y Urbanismo*. Ediciones U.P.C. Universidad Politécnica de Cataluña.

SOSA, M.E., 1999. *Arquitectura y urbanismo. Ventilación natural efectiva y cuantificable. Confort térmico en climas cálidos-húmedos*. Caracas. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Colección Monografías N° 62.