

ARTÍCULO

## **ENERGÍA Y CONFORT EN EDIFICACIONES**

*Jorge Rojas, Guadalupe Huelsz, Ramón Tovar, Guillermo Barrios, Adriana Lira-Oliver y Antonio Castillo*  
Centro de Investigación en Energía  
UNAM



## **Energía y confort en edificaciones**

### Resumen:

Se presentan algunos de los proyectos que realiza el Grupo de Energía en Edificaciones del Centro de Investigación en Energía de la UNAM. En el grupo se lleva a cabo investigación básica y aplicada. Dentro de la investigación básica se tienen proyectos como la convección natural que ocurre cerca de una pared vertical parcialmente calentada y la convección y ventilación en habitaciones interconectadas. Los principales proyectos de investigación aplicada son: estudio para el calentamiento del foro de la Sala de Conciertos Nezahualcoyotl de la misma UNAM; estudio para mejorar la sustentabilidad de casas monolíticas de concreto, en Torreón, Coahuila para la empresa Meccano; coordinación de un proyecto del Fondo de SENER-Conacyt, Sustentabilidad Energética, en el que se realiza un estudio de campo para determinar el uso de sistemas pasivos en la vivienda en cuatro zonas del país; un proyecto del Fondo Mixto Conacyt-Morelos cuyo objetivo es proponer estrategias de enfriamiento de bajo consumo de energía para edificaciones localizadas en climas cálido subhúmedo; desarrollo de indicadores de desempeño térmico de la envolvente de edificaciones y asesoría a arquitectos y constructores conscientes de la necesidad de diseñar bioclimáticamente.

Palabras clave: energía, confort, edificaciones, bioclimática, sustentable

## **Energy and comfort in buildings**

### Abstract

Some projects carried out by the Group of Energy in Buildings of the Energy Research Center of the UNAM are presented. Basic and apply research are considered by the group. Examples of basic research are the natural convection along a partially heated wall and convection and ventilation in interconnected rooms. The main projects of applied research are: a thermal analysis for the heating of the Nezahualcoyotl Concert Hall forum of the UNAM; a study to increase the sustainability of concrete monolithic houses for Meccano in Torreón, Coahuila, the coordination of a field research project to find out the use of passive systems in dwellings for four zones of the country, sponsored by SENER-CONACYT; cooling strategies of low energy consumption for buildings located in hot sub-humid climates sponsored by FOMIX CONACYT – Morelos; indicators of thermal performance of buildings envelope and technical consultancy for architects and constructors concerned with bioclimatic design.

Key words: energy, comfort, buildings, bioclimatic, sustainable

## Introducción

Antes de que se llevara a cabo la revolución industrial del siglo XVIII ([http://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n\\_Industrial](http://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n_Industrial)) el hombre dependía del fuego, de los animales, del sol, del viento, del agua y de sí mismo para realizar trabajo y obtener energía. Además construía sus casas y edificios de acuerdo al clima en que habitaba (Figura 1). A partir de la revolución industrial el hombre ha desarrollado máquinas que queman combustibles fósiles como carbón, gas, petróleo o sus derivados para producir trabajo (tractores, automóviles, aviones, etcétera.), para calentar (estufas, hornos, calderas, etcétera) e incluso para enfriar (refrigeradores) o para producir electricidad (termoeléctricas). Desde esta época el hombre desarrolló sistemas que consumen grandes cantidades de energía para calentar, enfriar y ventilar sus casas y edificios, y dejó de construir de acuerdo al clima. La consecuencia de este derroche de combustibles fósiles es la contaminación de la atmósfera que está produciendo el calentamiento global de nuestro planeta ([http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento\\_global](http://es.wikipedia.org/wiki/Calentamiento_global)).



**Figura 1. Vivienda vernácula en Cárdenas, Chontalpa, Tabasco. Tomado del Atlas de la vivienda rural del estado de tabasco. IPN- CYTED. México 2003. Torres Zárate, Gerardo**

Aproximadamente el 30% del total del consumo de energía eléctrica de nuestro país corresponde a los sectores residencial, comercial y de servicios, éste es lo que se denomina: energía en edificaciones. Más del 90% de la energía que se consume en México, tiene su origen en la quema de combustibles que produce grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Es por ello que la energía que ahorremos en nuestras casas y edificios ayudará a reducir la demanda energética y las emisiones de contaminantes a la atmósfera.

En México, y en el mundo, hay investigadores, arquitectos y constructores que están volviendo a diseñar y construir casas y edificios tomando en cuenta el clima del lugar. A este tipo de arquitectura se le conoce como arquitectura bioclimática. La idea no es regresar a construir de la misma manera que nuestros antepasados, sino utilizar los conocimientos actuales, los nuevos materiales y las nuevas herramientas de cómputo para diseñar espacios habitables confortables que no requieran sistemas de calefacción o enfriamiento que consumen grandes cantidades de

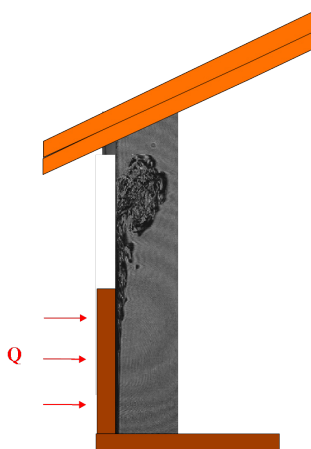
energía.

En este artículo presentamos brevemente algunos de los trabajos que desarrollamos en el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM para colaborar en el esfuerzo por ahorrar energía en las edificaciones. También presentamos algunas recomendaciones prácticas para mejorar el confort térmico dentro de nuestras casas y al final del texto, damos una lista de bibliografía que puede ayudar al lector a profundizar en el tema.

### Grupo de Energía en Edificaciones (GEE)

En el Centro de Investigación en Energía (CIE) de la UNAM (<http://xml.cie.unam.mx/xml/>) formamos un grupo de investigación en energía en edificaciones (GEE). En este grupo realizamos investigaciones básicas con el objetivo de entender los fenómenos de transporte de calor y masa que afectan el comportamiento térmico de una edificación. También realizamos investigaciones aplicadas con el objetivo de mejorar las condiciones de confort térmico al interior de las edificaciones y de reducir el uso de energía para su calentamiento o enfriamiento.

Dentro de las investigaciones básicas hemos estudiado la convección natural (<http://xml.cie.unam.mx/xml/tc/teym/>) que ocurre cerca de una pared vertical parcialmente calentada, fenómeno que se presenta por ejemplo en muros con ventanas (ver Figura 2). Hemos también estudiado la convección y ventilación en habitaciones interconectadas (ver Figura 3). Estas investigaciones las llevamos a cabo con experimentos de laboratorio y con simulaciones numéricas. En el laboratorio usamos modelos a escala y empleamos diversas técnicas experimentales como son: el Schlieren ([http://es.wikipedia.org/wiki/Fotograf%C3%ADa\\_Schlieren](http://es.wikipedia.org/wiki/Fotograf%C3%ADa_Schlieren)) para visualizar gradientes de densidad, velocimetría Doppler y velocimetría por imágenes de partículas para la medición de las velocidades del flujo (ver Figura 4) y el uso de termopares (<http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>) para medir temperatura. Para las simulaciones numéricas hemos desarrollado códigos propios y también usamos programas comerciales. Actualmente realizamos investigaciones sobre la transferencia de calor a través de muros y techos de la envolvente en edificaciones no climatizadas y en edificaciones climatizadas. Hemos demostrado que un sistema constructivo adecuado para edificaciones climatizadas no necesariamente es adecuado para edificaciones no climatizadas. La idea de que el mejor techo o muro es aquel que tiene la mayor resistencia térmica no es válida en general (ver Figura 5).



**Figura 2. A partir de una imagen schlieren, de una pluma térmica generada en un modelo de laboratorio a lo largo de una pared parcialmente calentada, se representa la convección al interior de una casa habitación.**

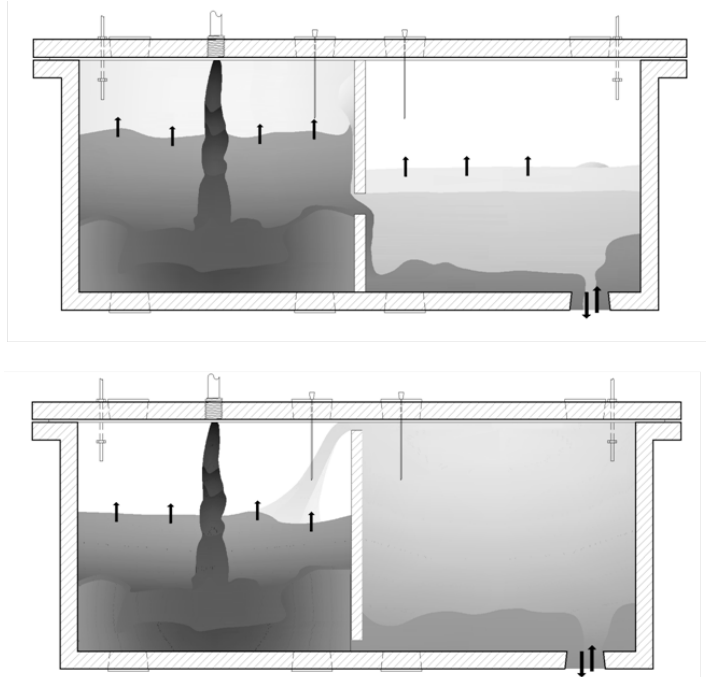


Figura 3. Representación esquemática de los flujos de aire.

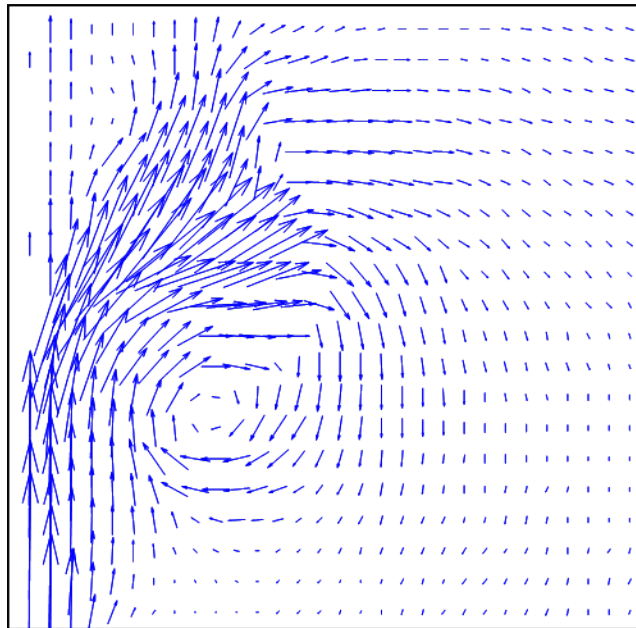
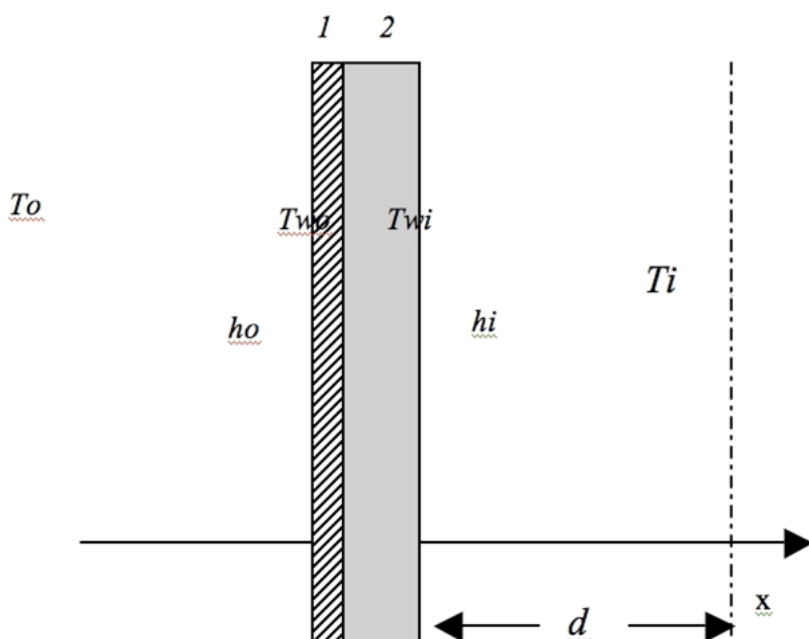
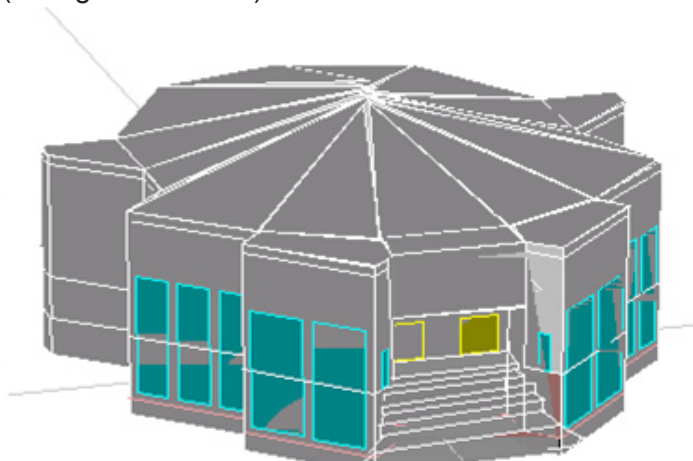


Figura 4. Medición experimental en un modelo de laboratorio del campo de velocidades de una pluma térmica naciente obtenido con la técnica de velocimetría por imágenes de partículas.



**Figura 5. Esquema del modelo físico de la transferencia de calor a través de un muro o techo. Caso compuesto por dos capas.**

Dentro de las investigaciones aplicadas que hemos realizado está el estudio para el calentamiento del foro de la Sala de Conciertos Nezahualcoyotl de la misma UNAM ([http://www.musica.unam.mx/index.php?Itemid=17&id=8&option=com\\_content&task=view](http://www.musica.unam.mx/index.php?Itemid=17&id=8&option=com_content&task=view)) (Ver Figura 6), en este estudio propusimos y analizamos varias alternativas. También realizamos el estudio para mejorar la sustentabilidad de casas monolíticas de concreto, el cual llevamos a cabo a solicitud de la empresa Meccano. Hicimos mediciones y simulaciones numéricas de casas construidas con este sistema, propusimos mejoras en el diseño y en los materiales. Se construyó una casa modelo en Torreón, Coahuila en la que se logró aumentar en 50% el tiempo en confort térmico y en caso de que se usaran sistemas de climatización el ahorro de energía para enfriamiento con aire acondicionado sería también del 50% (ver figuras 7 a la 9).



**Figura 6. Esquema de la Sala de Conciertos Nezahualcoyotl de la UNAM realizado con el software Design Builder.**





**Figura 7. Casa en Torreón Coahuila construida con el sistema Meccano tradicional**



**Figura 8. Proceso de construcción de la casa modelo en Torreón Coahuila con el sistema Meccano modificado a partir de las propuestas resultantes del proyecto con el CIE-UNAM.**



**Figura 9. Casa modelo en Torreón Coahuila diseñada y construida como parte del proyecto de Meccano con CIE-UNAM.**



## Actividades actuales del GEE

Actualmente colaboramos en la Red de Arquitectura Bioclimática formada por los siguientes grupos: Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Programa de Arquitectura de la Universidad de Sonora, Facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima.

Coordinamos un proyecto del Fondo de SENER-Conacyt Sustentabilidad Energética (<http://www.conacyt.gob.mx/fondos/FondosSectoriales/SENER/SustentabilidadEnergetica/200901/Fichas.pdf>) en el que se está realizando un estudio de campo para determinar el uso de sistemas pasivos en la vivienda en cuatro zonas del país. Se desarrollará y validará una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas constructivos adecuados al clima. En este proyecto participan, además de los integrantes de la Red de Arquitectura Bioclimática, la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo de la Universidad Autónoma de Tamaulipas y un grupo de Ingeniería Mecánica del Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

También estamos realizando un proyecto del Fondo Mixto Conacyt-Morelos cuyo objetivo es proponer estrategias de enfriamiento de bajo consumo de energía para edificaciones localizadas en climas cálido subhúmedo. Además desarrollamos indicadores de desempeño térmico de la envolvente y damos asesoría a arquitectos y constructores conscientes de la necesidad de diseñar bioclimáticamente.

## Publicaciones del GEE

Barrios G., Rechtman R., Rojas J., Tovar R. (2005) The lattice Boltzmann equation for natural convection in a two-dimensional cavity with a partially heated wall. *J.Fluid Mech.* 522, 91-100.

Barrios G, Huelsz G., Rechtman R., Rojas J., Wall/Roof thermal performance differences between air-conditioned and non air-conditioned rooms. (Aceptado para su publicación en *Energy and Buildings*).

Huelsz G., Rechtman R., Rojas J. 2009 Altos valores de la resistencia térmica no aseguran un buen desempeño térmico de la envolvente de una edificación. *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Guadalajara, Jal., 28 septiembre- 3 octubre 2009, ABC-050, 237-240.*

Rojas J. Huelsz G., Tovar R., Elías-López P. y Alpuche M.G., 2009 Confort térmico mediante ventilación nocturna en un auditorio bioclimático en clima cálido subhúmedo. *Memorias de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, ANES, Guadalajara, Jal., 28 septiembre- 3 octubre 2009, ABC-052, 241-246.*

Rojas J., Tovar R. (2010) Transition on a Partially Heated Vertical Wall. *Heat Transfer Engineering* 31(10), pp 862-869

Thomas L.P., Marino B.M., Tovar R., Linden P.F. (2008) Buoyancy-driven flow between two rooms coupled by two openings at different levels. *J. Fluid Mech.* 594, 425-443.

Tovar R., Rojas J., Cedillo M.L. (2004) Int.Com.Heat and Mass Trans. 31(4), 561-571.

Tovar R., Campo Garrido C.A., Thomas L.P., Linden P.F. (2008) Buoyancy-driven flow in two interconnected rooms: effects of the exterior vent location and size. ASME J. Solar Energy Eng. 131, 021005 1-6.

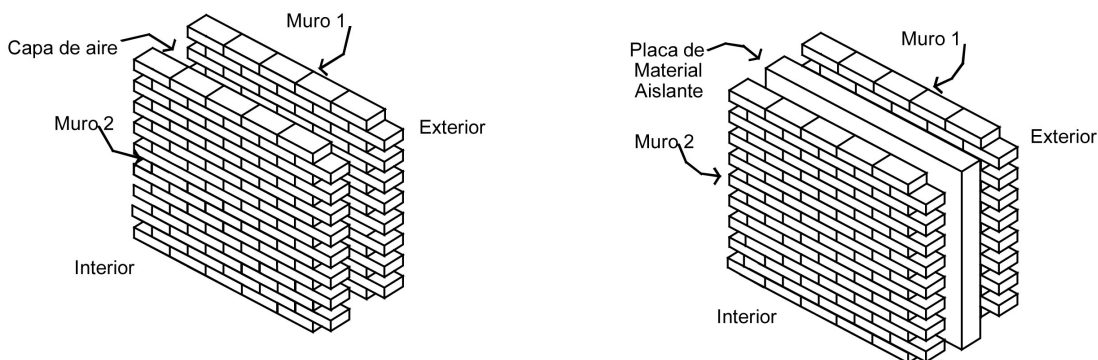
Tovar R., Campo Garrido C.A. Stack-driven ventilation in two interconnected rooms sharing a single opening and connected to the exterior by a lower vent. (Aceptado para su publicación en International Journal of Ventilation).

## Recomendaciones del diseño bioclimático

A continuación se dan algunas recomendaciones del diseño bioclimático para los principales climas que existen en la República Mexicana: cálido seco, cálido húmedo, templado húmedo y frío. Para cada clima, se pueden aplicar diferentes combinaciones de estrategias de diseño en los edificios para alcanzar en el interior un estado de bienestar conocido como confort.

Para el clima cálido seco se pueden emplear muros dobles (ver figura 10) en la fachada de mayor insolación que puede ser sur (S), oeste (O), este (E), sur-este (SE) y sur-oeste (SO); sistemas constructivos en muros y techos que utilicen en el exterior materiales aislantes y en el interior materiales de alta masividad térmica para disminuir las ganancias térmicas. Para los techos se recomienda: a) de doble capa con un espacio intermedio donde circule el aire en la dirección de los vientos dominantes (ver figura 11), b) inclinadas con orientación hacia el sur (S), y/o c) bóvedas de cañón. El color del exterior del edificio deberá ser blanco para el techo y colores claros para muros (ver figura 12). Propiciar la ventilación cruzada para remover la carga térmica interior y renovar el aire (ver figura 13). Proteger de los rayos del sol las ventanas con orientaciones S, E y O utilizando aleros, parte soles o árboles (ver figura 14). Utilizar vegetación para patios circundantes. Se recomienda usar espejos o fuentes de agua en dirección de los vientos dominantes (ver figura 15).

Para el cálido húmedo se recomienda zonificar los servicios "baño y cocina", principalmente por ser fuentes de humedad, lejos de la zona íntima "estar-dormir". Se deberá promover la ventilación cruzada en la dirección de los vientos dominantes.



**Figura 10. Ejemplos de muro doble con capa de aire y placa de aislante entre los dos muros.**

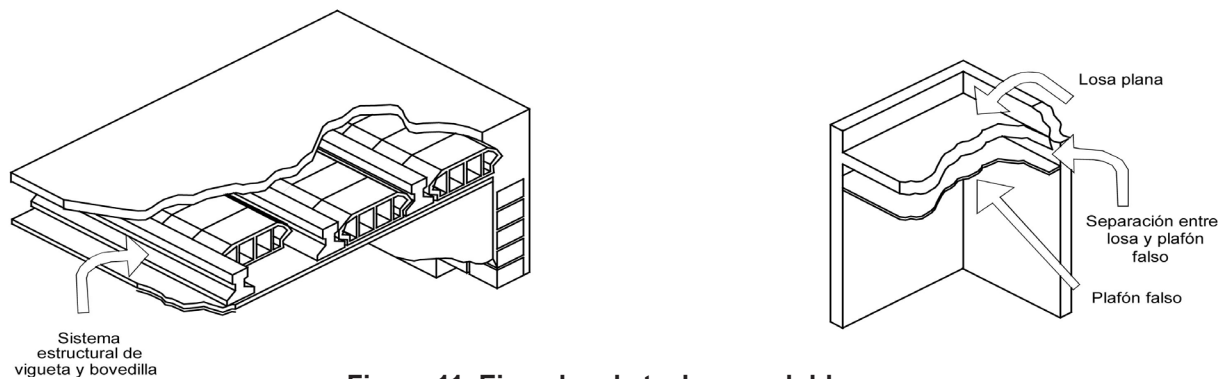


Figura 11. Ejemplos de techo con doble capa.

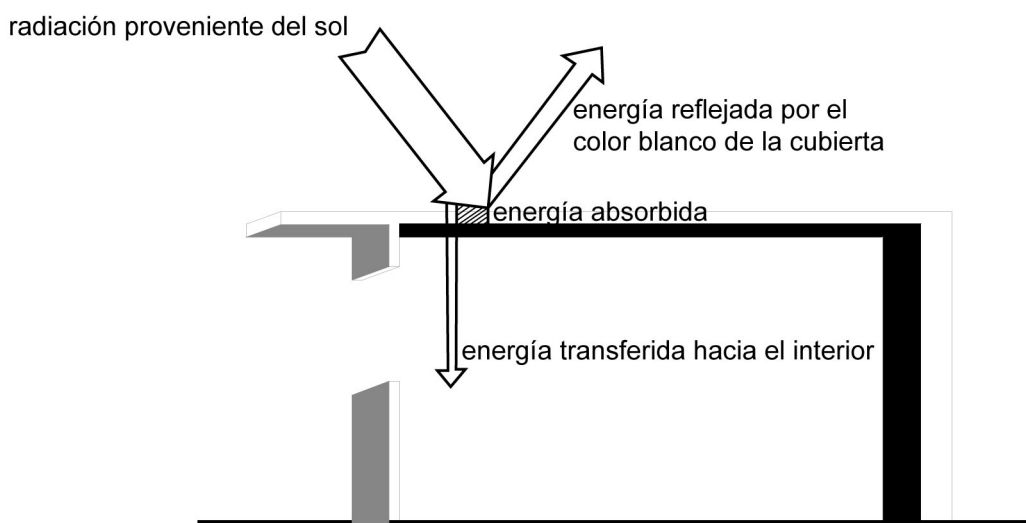
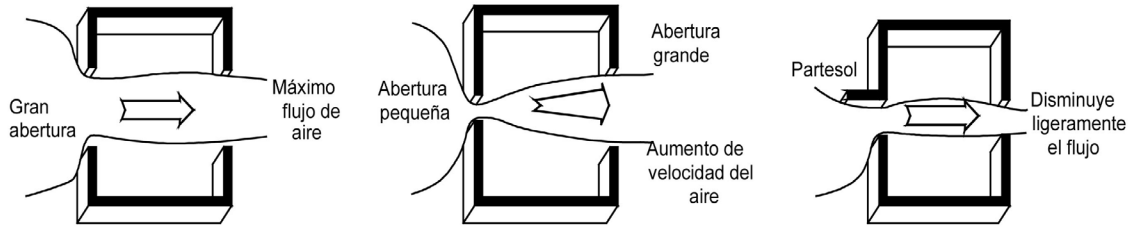


Figura 12. Colores en la envolvente y su efecto en la reflexión, absorción y transferencia de energía.

### Desarrollo en planta

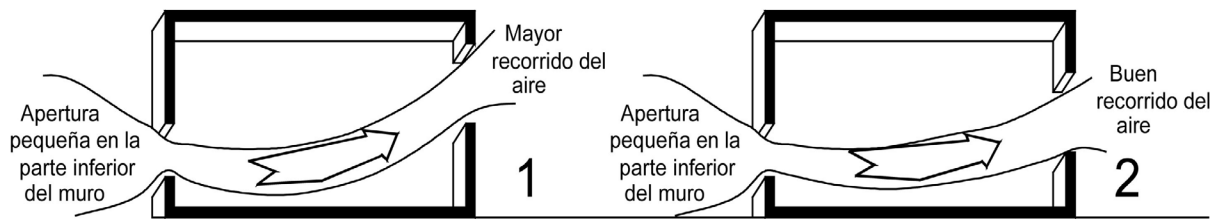


Cuando existen grandes aberturas del mismo tamaño situadas en posición opuesta, se produce el máximo flujo de aire.

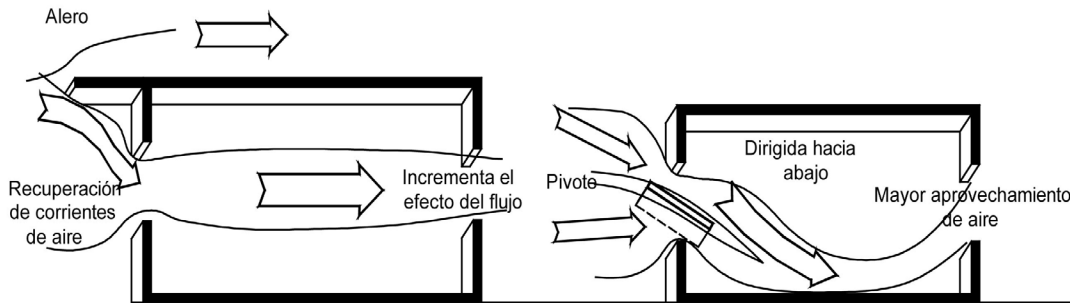
Si se requiere aumentar la velocidad del aire se debe colocar una abertura más pequeña del lado de la dirección del viento.

El efecto que producen los partesoles en el movimiento del aire es dirigirlo de manera recta hacia la salida.

### Desarrollo en alzado



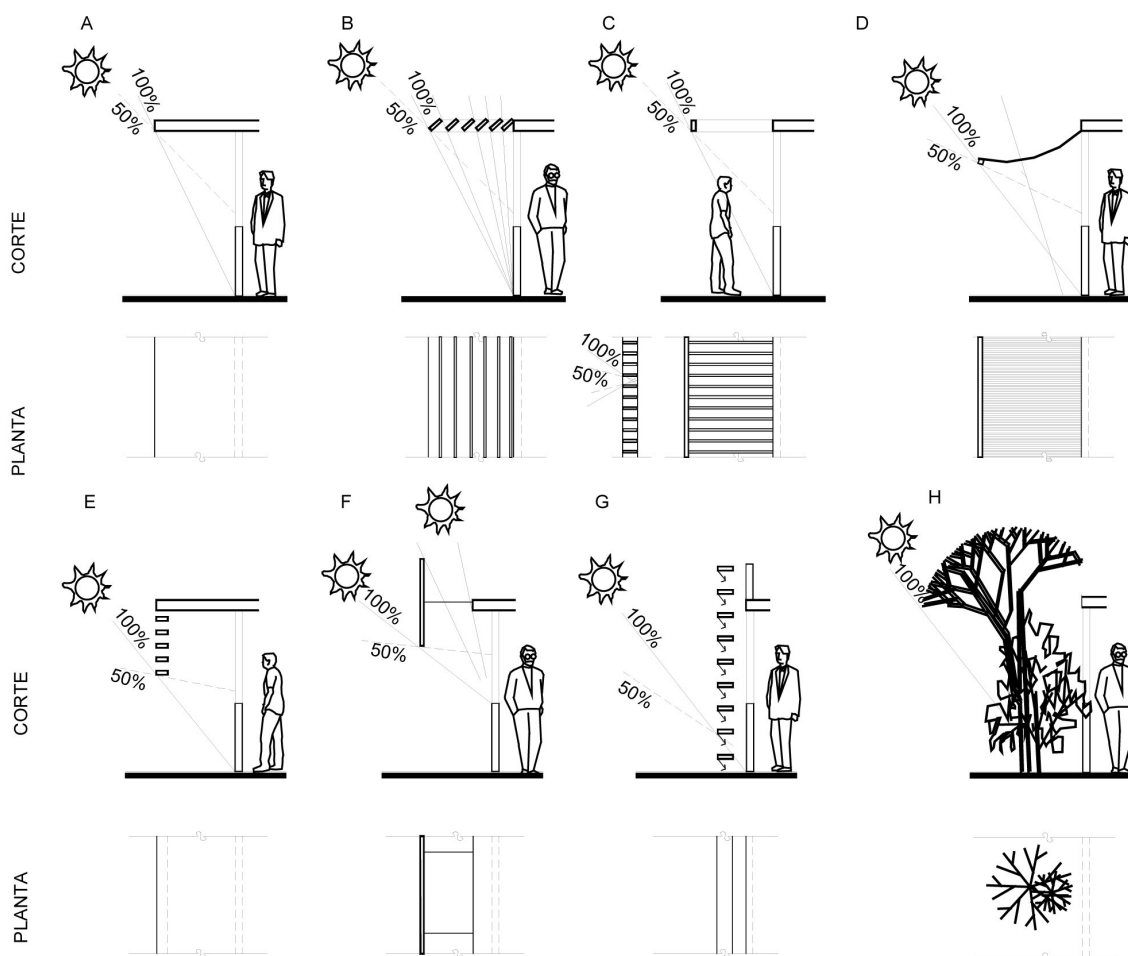
Con la colocación de una abertura pequeña en la parte baja del muro y diferentes colocaciones de las aberturas opuestas, se puede ver en el número 1 y 2 que el viento hace un recorrido similar entre ellos, con buena velocidad, siendo el óptimo el número 1 por tener el flujo con recorrido mayor.



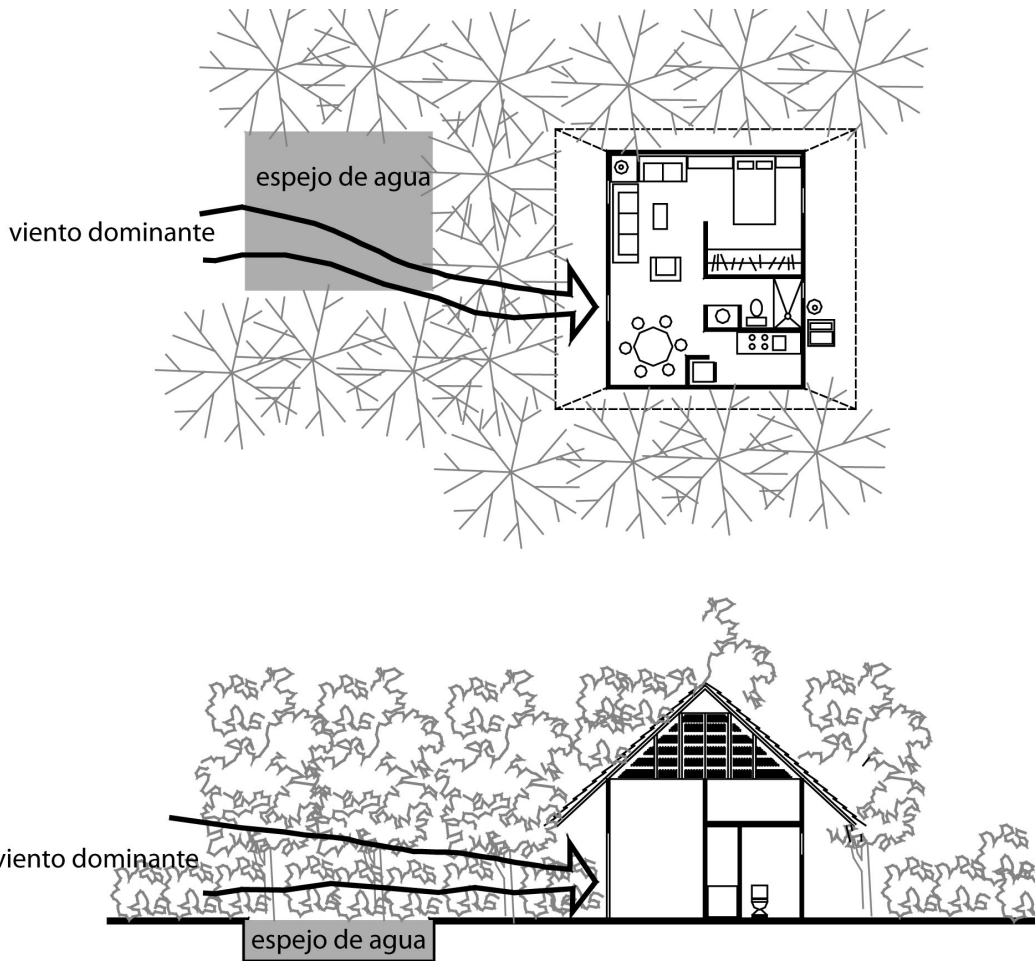
Los aleros recuperan corrientes de aire que podrían desviarse, y de esta manera incrementa el efecto del flujo.

La ventana pivote debe estar dirigida hacia abajo para un mejor aprovechamiento del aire.

**Figura 13. Ejemplos de diferentes diseños de ventilación cruzada.**



**Figura 14. Ejemplos de protecciones solares para ventanas; a) alero sólido, b) alero de louvers paralelos a la ventana, c) alero de louvers perpendiculares a la ventana, d) toldo, e) alero sólido con persiana al exterior, f) estructura vertical paralela a la ventana, g) louvers exteriores, h) vegetación.**



**Figura 15. Ejemplo del uso de espejos de agua localizados en la dirección de los vientos dominantes.**

Para el cálido húmedo se recomienda zonificar los servicios "baño y cocina", principalmente por ser fuentes de humedad, lejos de la zona íntima "estar-dormir". Se deberá promover la ventilación cruzada en la dirección de los vientos dominantes

Para el clima templado húmedo se sugiere colocar árboles con hoja caducifolia en las ventanas con orientación sur (S) y en los muros con orientación oeste (O), techos con una inclinación al sur igual a la latitud del lugar para aumentar en invierno las ganancias térmicas debidas a la radiación solar, colores medios para muros, colores claros para la azotea y colores oscuros sólo en zonas protegidas del sol y muros y techos exteriores hechos de materiales masivos. Los materiales del suelo deberán de ser resistentes a la humedad. Se deberá favorecer la ventilación cruzada en dirección de los vientos dominantes.

Para clima frío se recomiendan utilizar árboles con hoja caducifolia en fachadas (S); ubicar espacios de poca ocupación (armarios, despensas, garaje, cuarto de máquinas, etcétera) hacia el norte; colocar doble vidrio en ventanas. En muros y techos es recomendable instalar



un material aislante en la parte exterior del edificio. Se recomienda orientar las ventanas hacia el sur para favorecer las ganancias solares directas durante el invierno, sin embargo se debe evitar orientar las puertas y ventanas en la dirección de los vientos dominantes y procurar que estén bien selladas para reducir infiltración.

En lugares con grandes variaciones de temperatura a lo largo del día se recomienda, en la época de calor, ventilar en la noche y cerrar ventanas en el día y, en la época de frío, ventilar en el día y cerrar ventanas durante la noche.

Como apoyo de diseño se pueden utilizar sistemas pasivos tales como: muro trombe, invernadero, muro chimenea, calentador solar acoplado a pisos radiantes que pueden ser usados para la época fría y turbina eólicas para promover la ventilación (ver figura 16).

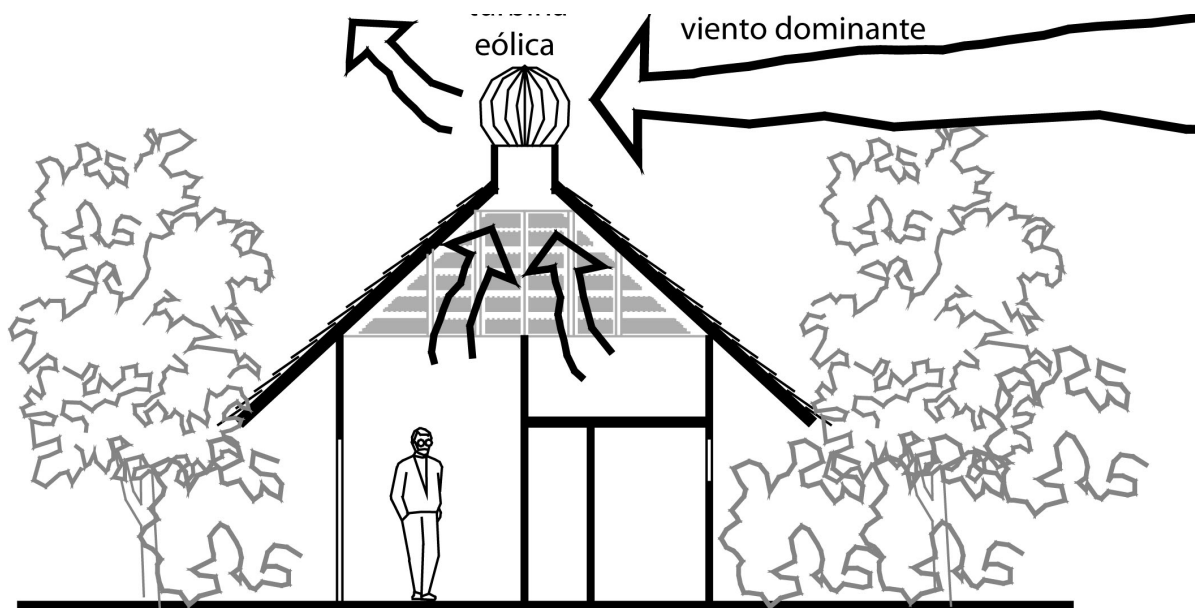


Figura 16. Ejemplo de turbina eólica.

## **Bibliografía**

Álvarez García G., Fuentes Freixanet V.A. (2000) Notas del curso especializado Arquitectura Bioclimática, ISES Millennium Solar, Forum 2000 México.

Butti K., Perlin J. (1980) A golden thread, 2500 years of solar architecture and technology. Von Nostrand Reinhold, New York.

CONAFOVI (2006) Guía para el uso eficiente de la energía en vivienda, Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda.

[http://www.conafovi.gob.mx/publicaciones/guia\\_energia.pdf](http://www.conafovi.gob.mx/publicaciones/guia_energia.pdf)

Fathy H. (1986) Natural energy and vernacular architecture, The University of Chicago Press.

Gallo C., Sala M., Sayigh A.A.M. (1988) Architecture: comfort and energy, Elsevier Amsterdam.

López Morales F.J. (1993) Arquitectura vernácula en México, Editorial Trillas.

Morillón D., Rodríguez M. (2006) 30 años de evolución y desarrollo de la arquitectura bioclimática en México, ANES, México, D.F.

SENER (2008) Balance Nacional de Energía 2008 [http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE\\_y\\_DT/pub/Balance\\_2008.pdf](http://www.energia.gob.mx/webSener/res/PE_y_DT/pub/Balance_2008.pdf)

Sabady P.R. (1982) Arquitectura solar: Concepto, cálculo y ejecución de edificaciones solares, Editorial CEAC Barcelona.

Serra R. (1999) Arquitectura y climas, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Szokolay S.V. (1983) Arquitectura solar, Editorial Blume Barcelona.

Tudela F. (1982) Ecodiseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México, D.F.

Turan M. (1990) Vernacular architecture, Avebury.

Wright D. (1983) Arquitectura solar natural, Ediciones G. Gili, México, D.F.

