

Recibido: Junio 2000  
Aceptado: Noviembre 2000

# Ponencias

**Francis Allard; Karim Limam**

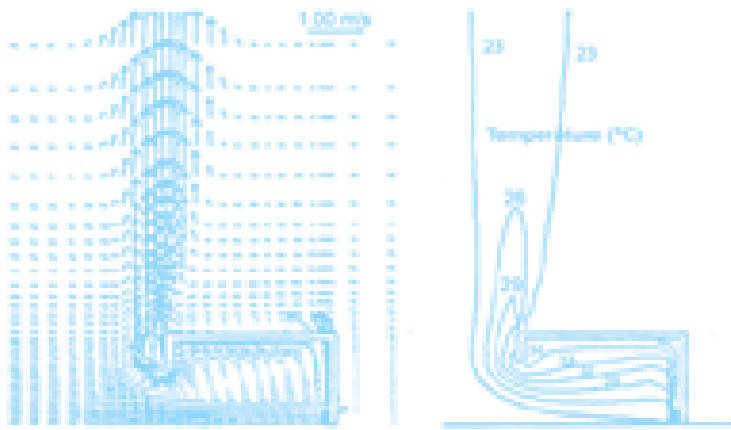
LEPTAB Université de La Rochelle Pôle  
Sciences et Technologie  
ave. Michel Crépeau, F-17042 La Rochelle cedex 1  
e-mail: fallard@univ-lr.fr

**Eduardo González**

IFA - Instituto de Investigaciones de la  
Facultad de Arquitectura y Diseño  
Universidad del Zulia  
4011-A-526 Maracaibo. Venezuela  
e-mail: egonzale@luz.ve

Año 2/Volumen 1/Número 3  
Portafolio 2001  
ISSN 1317-2085

©2000. COTEDI 2000. Todos los derechos reservados.  
ISBN 980-232-789-1. Hecho el depósito de Ley.  
Depósito Legal 1f 18520007201194



# VENTILACIÓN NATURAL PARA EL CONTROL CLIMÁTICO DE LOS AMBIENTES INTERNOS

FRANCIS ALLARD, KARIM LIMAM, EDUARDO GONZALEZ

## VENTILACIÓN NATURAL PARA EL CONTROL CLIMÁTICO DE LOS AMBIENTES INTERNOS

## NATURAL VENTILATION FOR CONTROL OF INDOOR CLIMATE CONDITIONS

### RESUMEN

### ABSTRACT

La ventilación natural de los edificios para mejorar las condiciones internas de confort en condiciones de verano o de climas cálidos es seguramente el método más utilizado en las edificaciones vernáculas. Sin embargo, puede también integrarse con mucho éxito en nuevos proyectos, tomando en cuenta los efectos directos e indirectos sobre las condiciones ambientales internas y la evolución de las herramientas de diseño. Este trabajo presenta los distintos efectos de la ventilación sobre el clima interior, los modelos utilizables para el diseño y las barreras potenciales a resolver para integrarla en un sitio urbano.

*Natural ventilation is certainly the more common effect used in vernacular constructions in order to improve indoor climate conditions in summer time or hot climates. However, this passive system can be very well integrated in new building design using both direct and indirect effects on the indoor climate on the one hand and the strong evolution of design tools on the other hand. The present paper presents the main effects of natural ventilation on indoor climate conditions, the various levels of models to be used for design purposes and the potential barriers to solve to use it in urban sites.*

### PALABRAS CLAVES

Ventilación natural, modelos, condiciones climáticas.

### KEY WORDS

*Natural ventilation, models, climate conditions.*

## 1. INTRODUCCIÓN: ¿POR QUÉ LA VENTILACIÓN NATURAL?

La concepción integral de edificios necesita el equilibrio entre dos elementos fundamentales:

- La eficiencia energética global del edificio y su envolvente, y la selección adecuada de los sistemas de control de los ambientes: acondicionamiento y aprovechamiento de la luz natural, en términos energéticos.
- La calidad de los ambientes internos en términos de confort global, de ventilación y de calidad sanitaria de los espacios internos.

Generalmente estos dos criterios corresponden hoy a normas o guías constructivas cuya evolución reproduce la demanda social de calidad de las edificaciones. Si se toma en cuenta la evolución de la problemática de la edificación durante los últimos 25 años, se notan cambios muy fuertes en este sentido. En la mayoría de los países del norte y aun más en Europa no se tenía ninguna política de uso racional de la energía antes de la crisis petrolera del año 1973, y la calidad de los edificios resultaba mucho más, de una buena práctica arquitectónica, que de una política global planificada. Después de unos años, donde el criterio que privó fue más que nada aislar los edificios y reducir su ventilación para limitar la demanda energética, se inició una segunda etapa con la idea de utilizar más los recursos naturales, para reducir el consumo energético de los edificios, y se establecieron en muchos países fuertes políticas de aprovechamiento de las energías renovables. Es precisamente esta época cuando aparecen nuevos tipos de problemas, tales como, la sobre calefacción en estaciones intermediarias, el síndrome del edificio enfermo *sick building syndrom* (Liddament, 1990) y más a menudo problemas de salud o por lo menos de malestar de los usuarios. Esta época dio realmente inicio al nuevo concepto, totalmente admitido ahora, de “eficiencia energética”.

Además, se nota también una demanda muy fuerte de control climático en verano que conduce actualmente a la mayoría de los países a problemas de suministro de energía eléctrica en esta estación. Estos problemas, complementados con la toma de conciencia ambiental general de los años 1990, han demostrado que el uso racional de la energía no puede tratarse en forma aislada sino vinculada con la calidad ambiental de los espacios internos y externos a la edificación. Todos esos criterios han puesto claramente en evidencia la absoluta necesidad de integración global de las características intrínsecas y de las potencialidades del sitio, lo que conduce naturalmente hacia la consideración de conceptos pasivos para el control de los ambientes internos (Santamouris y Asimakopoulos, 1996). En tal sentido, el uso de la ventilación es con seguridad el principio más “natural” para

mejorar las condiciones micro climáticas internas de los edificios en climas cálidos aunque su utilización puede plantear problemas de diseño y presenta bastantes limitantes en sitios urbanos densos (Allard, 1998).

A través de varios proyectos europeos (PASCOOL/ JOULESII, AIOLOS/ALTENER), se ha dado recientemente inicio en Europa a una importante reflexión para su promoción. En el concurso europeo de Arquitectura ZEPHYR (ZEPHYR, 1994), que trataba de la integración de soluciones originales de acondicionamiento de edificios, se notó, por ejemplo, que la mayoría de los proyectos presentados consideraban la ventilación natural como primer medio de control.

Además, la ventilación natural parece ser una repuesta apropiada a numerosas críticas de los usuarios con respecto a los sistemas mecánicos que resultan ruidosos, costosos en uso y mantenimiento, y que se ven ligados, en muchos casos, a problemas de salud.

## 2. LA VENTILACIÓN NATURAL PARA EL CONTROL CLIMÁTICO

Se necesita ventilar los espacios internos para asegurar la calidad sanitaria del aire (ASHRAE 1989). El caudal de aire necesario varía con la potencia de emisión de contaminantes de las fuentes internas; si se conocen estas fuentes, el valor del caudal necesario para alcanzar un nivel máximo autorizado de contaminantes se determina de manera sencilla. En caso de sistemas activos de aire acondicionado, el aumento del caudal de ventilación conduce, sin embargo, a un aumento directo de la demanda energética (Lidament, 1996). La figura 1 presenta el efecto del caudal de ventilación sobre los niveles de concentración interna de contaminantes y el consumo energético inducido.

El segundo objetivo de la ventilación es el control climático de los ambientes internos. De hecho, el primer efecto de la ventilación natural es el control climático directo del cuerpo humano (Givoni, 1978). La ventilación aumenta los intercambios convectivos entre la piel y el aire. El efecto directo sobre el cuerpo es un aumento del potencial de control térmico del cuerpo por convención.

Las figuras 2 y 3 presentan isovalores de confort en función de las temperaturas de las superficies de paredes, de la temperatura del aire y de su velocidad media alrededor del cuerpo humano.

En tercer lugar, la ventilación natural puede participar en el enfriamiento directo del aire interior, evitando la elevación

de la temperatura de la estructura del edificio y mejorando las condiciones internas de confort mediante el control de las temperaturas superficiales de las paredes. El potencial de enfriamiento es función de la velocidad promedio del aire en el edificio y la diferencia de temperatura entre el aire dentro y fuera del edificio (Fig.4). De esta manera, conociendo una temperatura de control para un cierto tipo de local, se puede definir un potencial bruto de enfriamiento debido a la utilización de la ventilación natural integrando la diferencia de temperatura entre la de control y la del aire exterior dada por datos meteorológicos. Al final, conociendo la energía global necesaria para mantener un edificio de referencia en condiciones de confort, se puede determinar un factor de cobertura de los requisitos de enfriamiento. La figura 5 presenta este tipo de cálculo para la península ibérica. Se consideró aquí una tasa de renovación del aire de 9 volúmenes por hora.

Una última forma de aplicación de la ventilación natural es en el enfriamiento de la estructura fuera de las horas de ocupación del edificio. Este concepto es el de la ventilación nocturna (Santamouris et al., 1996).

Esta última estrategia necesita de un potencial adecuado de almacenamiento térmico de parte de la estructura del edificio. En un momento dado de la noche, si no se toman en cuenta las cargas internas de calor, la energía total absorbida por almacenamiento es:

$$Q(t) = YA(T_{almto} - T_{exterior}) = mC_p(T_{interior} - T_{exterior}) \quad (1)$$

Ya es el producto promedio del área de superficies internas en contacto con el aire por la admitancia de las paredes. La temperatura interna es un promedio representativo que se supone en el caso general siempre mayor que la temperatura externa. La energía transferida se nota:

$$Q(t) = mC_p(T_{almto} - T_{exterior})NUT/(NUT+1) \quad (2)$$

Donde  $NUT = YA/mC_p$  es un numero adimensional utilizado de manera común para intercambiadores de calor que se llama "Número de Unidades de Transferencia". El cálculo riguroso de  $Y$  sería muy complicado, sin embargo, se puede simplificar tomando en cuenta las siguientes hipótesis:

- Todas las superficies se consideran a la misma temperatura
- La resistencia térmica entre el fluido y las superficies son todas del mismo orden de magnitud

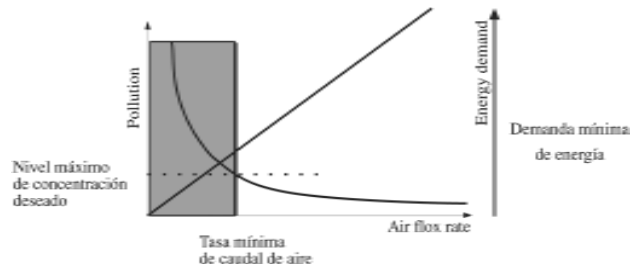


Figura 1. Efecto del caudal de ventilación sobre el nivel de contaminación interna y sobre el consumo energético de edificios

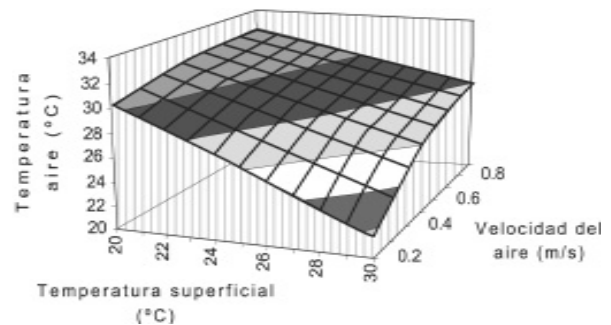


Figura 2. Superficie de isovalores de confort

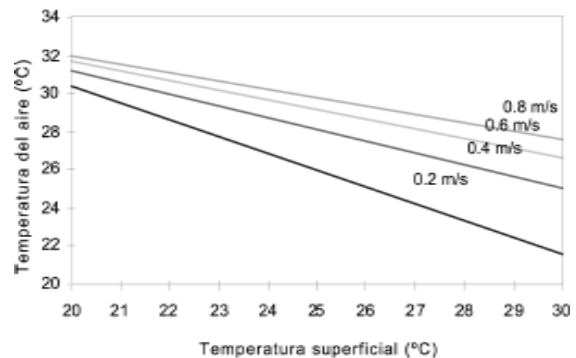


Figura 3. Evolución de los isovalores de confort con la velocidad del aire

Tomando en cuenta estas condiciones,  $Y$  puede representarse por la transferencia convectiva dentro del local y se puede estimar la temperatura de almacenamiento ( $T_{almto}$ ) de una noche de referencia del sitio. Bajo estas condiciones, la ecuación diferencial asociada es:

$$-(M_{cp})_f \frac{dT_{almto}(t)}{dt} = m_{cp}(T_{almto}(t) - T_{exterior}(t))NUT/(NUT+1) \quad (3)$$

Donde  $(M_{cp})_f$  representa la capacidad térmica de la estructura. Tomando en cuenta una temperatura exterior constante durante las horas de almacenamiento, se llega a:

$$T_{almto}(t) = T_{almto}(0) \exp\left(-\frac{NUT}{NUT+1} \cdot CR\right) \quad (4)$$

Donde  $CR = m_{cp}t / (M_{cp})_f$  es una tasa de almacenamiento. La eficiencia de almacenamiento  $SE$  se puede definir entonces como el cociente entre la energía realmente absorbida en la estructura y el máximo de energía que se pueda almacenar. La figura 6 presenta la evolución de  $SE$  en relación con  $NUT$  a distintas tasas de  $CR$ .

$$SE = \frac{T_{almto}(0) - T_{almto}(t)}{T_{almto}(0) - T_{exterior}} = \frac{1 - \exp\left(-\frac{NUT}{NUT+1} \cdot CR\right)}{NUT+1} \quad (5)$$

### MÉTODOS DE DISEÑO

Los fenómenos físicos involucrados en el proceso de ventilación natural son muy complejos y difíciles de predecir. Sin embargo, pueden utilizarse distintos modelos de predicción, que se pueden clasificar en cuatro categorías de acuerdo con la información requerida:

- modelos empíricos (Melaragno, 1982; CSTB, 1992)
- modelos tipo "networks" (Walton, 1982; Allard y Herlin, 1989; Allard y Utsumi, 1992; Dascalaki, 1995)
- modelos zonales (Allard, 1995)
- modelos CFD

**Los modelos empíricos** resultan de correlaciones experimentales y se pueden clasificar en dos familias: predicción de los caudales de ventilación (Swami, 1987) y predicción de las velocidades internas debidas a la ventilación natural (Ernest, 1991).

**Los modelos tipo network** corresponden los modelos generales de estudio del comportamiento termo aerolico de los edificios y su base física es el conjunto de ecuaciones de balance de energía y masa escrito para cada una de las distintas partes (piso, zona o grupo de zonas) del local. La figura 7 presenta una comparación entre modelos empíricos y de tipo network realizada en el marco del programa europeo AIOLOS.

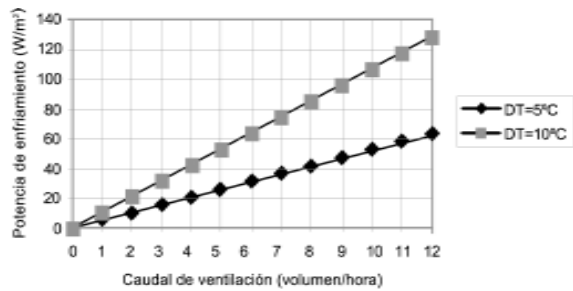


Figura 4. Potencial de enfriamiento de la ventilación natural

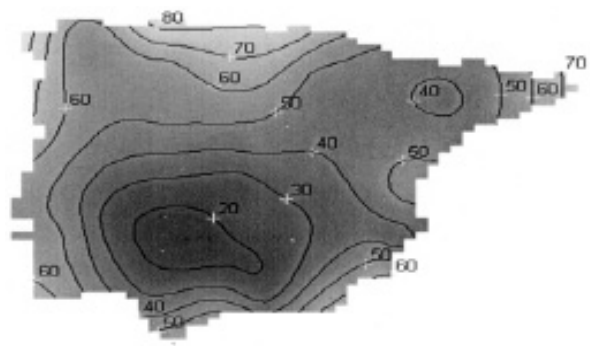


Figura 5. Ahorro de energía (%) con ventilación natural en la Península Ibérica (9 vol/h)

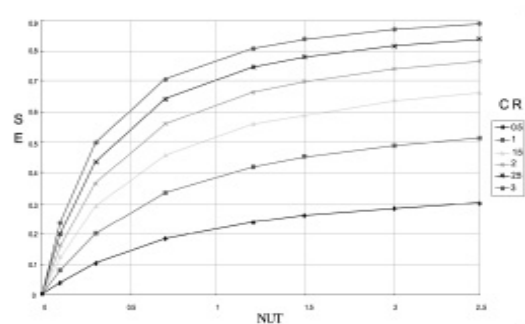


Figura 6. Eficiencia de almacenamiento

**Los modelos zonales** tienen su base física también en los balances de masa y energía pero esos balances se escriben en un número reducido de volúmenes de control en cada zona. Estos permiten tomar en cuenta un patrón de flujo simplificado en cada local introduciendo ecuaciones empíricas para describir los flujos dominantes (capa límite, jet o pluma).

**Los modelos CFD** dan una imagen muy detallada del campo térmico y dinámico a dentro de un local. Sin embargo, sus limitaciones actuales son ligadas a un esfuerzo de cálculo necesario muy importante por lo que estos modelos se dedican todavía a estudios muy específicos. La figura 8 presenta un ejemplo de simulación numérica de ventilación natural en un caso de exposición única con o sin efecto de viento.

En este estudio comparativo se puede comprobar que los modelos empíricos y de tipo network dan resultados semejantes a nivel de esa predicción. Muy a menudo, de hecho, los modelos empíricos pueden resultar bastante buenos. Sin embargo, su utilización necesita un conocimiento detallado de sus hipótesis. Por definición, los modelos empíricos han sido elaborados para resolver, a partir de una base experimental necesariamente limitada, un tipo preciso de problema. Por el contrario, los modelos de tipo network basados en ecuaciones físicas de balance son mucho más generales y permiten una predicción acoplada del comportamiento térmico y eólico de los edificios. Si los modelos CFD son todavía muy costosos, una vía interesante en el ámbito de compromiso costo/calidad de predicción son los modelos zonales que permiten una predicción de la heterogeneidad de los campos térmicos y dinámicos que parece generalmente suficiente para la predicción de la calidad de los ambientes interiores.

### BARRERAS CRÍTICAS PARA EL USO DE LA VENTILACIÓN NATURAL EN SITIOS URBANOS

La ventilación natural puede ser muy eficiente e importante en el acondicionamiento de los espacios edificados para reducir las cargas térmicas y mejorar las condiciones de confort. Sin embargo, este medio natural tiene todavía limitaciones que no son ligadas al problema de control climático sino a aspectos muy diversos que van desde el diseño, hasta el funcionamiento mismo del edificio (Kolokotroni et al, 1996). La figura 9 trata de describir todas estas barreras potenciales al uso de la ventilación natural que hay que tomar en consideración para utilizar la ventilación natural con éxito.

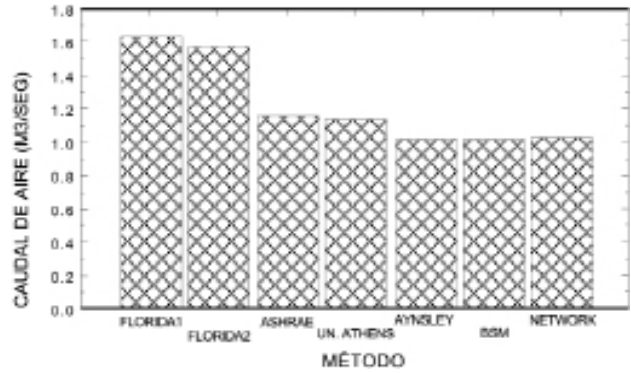


Figura 7. Estudio comparativo de modelos de predicción de los caudales de ventilación natural (Dascalaki, 1992).

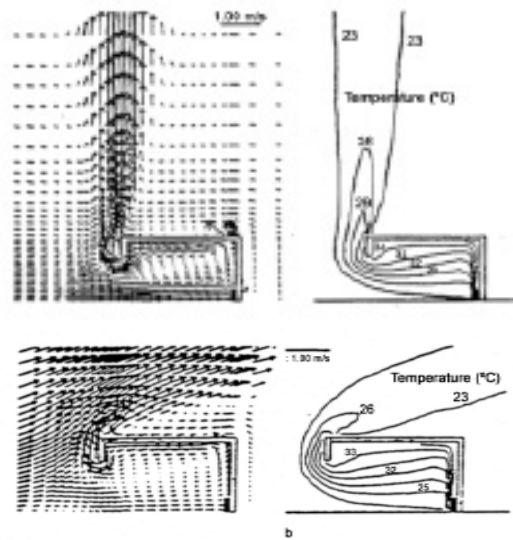


Figura 8. Velocidades y temperaturas de aire obtenidas por simulación 3D CFD: simulación (a) sin viento, (b) con viento 1m/s

## 5. CONCLUSIÓN

La ventilación natural es sin duda el método de acondicionamiento de los ambientes internos más natural y más económico; es aplicable en la mayoría de los climas templados. Sin embargo, su adaptación a nuevas formas de vida urbana necesita un esfuerzo bastante importante en el ámbito de los profesionales a cargo de proyectos de urbanismo o de diseño de edificios.

Durante los últimos años, un trabajo importante de investigación se ha desarrollado y permite ahora la evaluación cuantitativa, real, de la eficiencia de la ventilación natural. Los profesionales disponen de estas herramientas de simulación aunque su adaptación a condiciones locales requiere un cierto trabajo.

En los años futuros, nadie puede pretender que la solución para el acondicionamiento de edificios sea única. Por el contrario, con respecto a la demanda social de soluciones de bajo costo ecológico y energético de mejoramiento global de

las condiciones de calidad de la edificación, el esfuerzo a nivel del diseño tiene que ser más importante, tanto en la integración del proyecto en su contexto, en relación a la utilización racional de los recursos locales, como del modo de vida de los usuarios. Considerando todos estos aspectos, la ventilación natural ofrece muchas ventajas y posibilidades de integración.

## REFERENCIAS

Allard, F.; Herrlin, M. (1989), *Wind Induced Ventilation*. ASHRAE Transaction, 1989, Vol. 95, pp. 722-728.

Allard, F.; Utsumi, Y. (1992), *Air Flow through large openings, Energy and buildings*. 1992, Vol. 18, pp. 113-145.

Allard, F. (ed), (1995), *Zonal Modeling for Natural Ventilation*, PASCOOL, Research Project; Ventilation-Thermal Mass Subtask Final Report, Ch7, EC DGXII, Brussels.

Allard, F. (ed), (1998), *Natural Ventilation in Buildings- A design Handbook*. James&James Pub., London, ISBN 1 873936729.

ASHRAE Standard 62- (1989), *Ventilation for Indoor Air Quality*. Atlanta, USA.



Figura 9. Barreras potenciales al uso de la ventilación natural en sitios urbanos

- CSTB (1992), *Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en clima tropical humide. Methodologie de prise en compte des parametres climatiques dans l' habitat et conseils pratiques*. ISBN 2-86891-220-6.
- Dascalaki E.; Santamouris M. (1995), *Manual of PASSPORT-AIR, Final Report, PASCOOL Research Program*, European Commission, D.G.XII.
- Dascalaki E.; Droutsas P.; Santamouris M. (1992), *Interzonal Comparison of Five Multizone Air Flow Prediction Tools*. MDS PASCOOL Meeting 22-24 May, Florence, Italy.
- Ernest D. R. (1991), *Predicting Wind - Induced Air Motion, Occupant Comfort and Cooling Loads in Naturally Ventilated Buildings*, Ph. D. Thesis, University of California at Berkeley.
- Givonni B. (1978), *L' Homme, l'Architecture et le Clima*. EYROLLES, Paris, French Edition ISO Standard 7730-1993. Moderate Thermal Environments.
- Kolokotroni, M.; Kukadia, V.; Perera, E. (1996), *European Project on Overcoming Technical Barriers to Low-Energy Natural Ventilation*. Proc. CIBSE/ASHRAE Joint National Conference, Harrogate, UK, Sept. 96. Vol. 1, pp. 36-41.
- Liddament, M. (1990), *Ventilation and building sickness: a brief review*. Air Infiltration Review, 11, N°3.
- Liddament M. (1996), *A Guide to Energy Efficient Ventilation*. Air Infiltration and Ventilation Centre.
- Melaragno, M. (1982), *Wind in Architectural and Environmental Design*. Van Nostrand Reinhold.
- Santamouris, M.; Asimakopoulos, D. (1996), *Passive Cooling of Buildings*. James and James Edit., pp 472.
- Santamouris, M.; Argiriou, A. (1996), *PASCOOL Project*, Final report EC DGXII, Ventilation and Thermal mass subtask, Final report. F. Allard and K. Limam Editors.
- Swami, M. V. (1987), *Procedures for calculating Natural Ventilation Airflow Rates in Buildings*. ASHRAE Research Project 448-RP, Final Report FSEC-CR-163-86, Florida Solar Energy Centre, Cape Canaveral, USA, March (1982).
- Walton, G.N. *A computer algorithm for estimating infiltration and inter-room air flows*. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- ZEPHYR (1994), *European Architectural Ideas Competition*. Energy Research Group, School of Architecture, University College DUBLIN.