

VENTILACION NATURAL - ESTIMACION DE PARAMETROS SOBRE MODELOS A ESCALA UTILIZANDO EQUIPAMIENTO DE BAJO COSTO

E.Yarke, M.Fujol, L.Vitali, M.Seoane

Universidad Nacional de Luján (UNLU)

Cruce Rutas 5 y 7 - (6600) - Luján - Prov.de Buenos Aires - Argentina

www.unlu.edu.ar

TE: +54-11-2323-420380 int 213/214 ó +54-11-4902-3001 / 4903-8969

e-mail Director Proyecto: yarke@abaconet.com.ar

RESUMEN: El siguiente trabajo muestra experiencias realizadas sobre modelos a escala y pruebas con humo con el objetivo de desarrollar una metodología de aproximación al análisis de los movimientos de aire por los espacios interiores en sistemas expuestos a ventilación natural utilizando equipamientos de bajo costo. Se relata acerca de los equipos empleados, las pruebas realizadas y la estimación alcanzada en relación con la identificación de patrones de flujo, velocidades externas e internas y posibles caudales. Por último con las Conclusiones se discuten los resultados obtenidos.

Palabras clave: Ventilación natural, modelos a escala, pruebas con humo, estimación de parámetros.

INTRODUCCION

Son continuos los avances que en materia de cálculo numérico ha habido en los últimos años en el campo de la ventilación natural, sobre todo con el desarrollo de modelos de simulación en base a la Fluido Dinámica Computacional (CFD) incorporada a los modelos de redes (networks) (Papakonstantinou et al., 2000; Allocca et al., 2002). Sin embargo la complejidad del tema es tan grande que lleva necesariamente a una simplificación en la implementación de las condiciones iniciales de las variables a ser consideradas por el modelo (Dascalaki et al., 1996). Esto genera cierta incertidumbre en los resultados, dada la alta sensibilidad que precisamente estos modelos muestran frente a pequeños cambios en la determinación de las condiciones sobre las que comienza la simulación.

Esta dificultad inicial es propia de las características intrínsecas del tema, ya que los sistemas con ventilación natural son básicamente sistemas abiertos, constantemente dinámicos (nunca se alcanza un estado permanente) y de una altísima variabilidad en las condiciones reales, sobre todo en lo que concierne a las aleatorias características del viento incidente sobre muros y aberturas (Flourentzou et al., 1997; Assimakopoulos et al., 2001).

Como ejemplo de lo aleatorio del viento incidente, cabe señalar que verificaciones hechas por este grupo de trabajo en las velocidades y direcciones del viento en las adyacencias del espacio del Laboratorio que se tomó como prototipo para el modelo a escala que se presenta mas adelante, dieron como promedio de una serie sistemática de comprobaciones el valor de 15 (quince) variaciones de velocidad por minuto (con límites máximos y mínimos de 5,4 m/s y 0,0 m/s y un promedio de 1,4 m/s). En cuanto a la dirección ésta es mucho mas estable en periodos cortos y su variación fue de 0,5 vez por minuto en las mismas comprobaciones (con cambios de dirección que generalmente se daban solo sobre el cuadrante inmediato – 22,5° en un sistema de 16 cuadrantes direccionales–). Recordamos que la presencia de viento en forma casi constante, es una característica relevante del clima de esta región clasificada como templada cálida según Norma Iram 11.603.

Cuando se encara el estudio de los flujos interiores en la masa de aire contenida y que se incrementan con la ventilación natural, se encuentra que los elementos determinantes del sistema vienen dados tanto por la variable presión del viento incidente sobre los muros y aberturas de un edificio (parte del cual ingresa al interior por aberturas y rendijas), como por las diferencias de temperaturas entre el aire exterior y el interior, así como por el movimiento fuertemente turbulento que se produce en el aire contenido, debido en primer lugar a la velocidad del viento que ingresa o egresa, y con menor influencia al perfil de las temperaturas internas (Allard et al., 1998).

Para el análisis de algún aspecto en particular (por ejemplo una mejor visualización de los flujos interiores) los modelos a escala y utilizando humo, siguen siendo una opción válida y que ha sido instrumentada frecuentemente empleando túneles de viento (Cook, 1989; Allard y Utsumi, 1992) Con las herramientas actuales, ninguna metodología es totalmente excluyente, sino que es conveniente ir perfeccionando los aspectos analizados mediante la suma, en lo posible, de visualizaciones y estimaciones sobre modelos a escala con las posibilidades de efectuar comprobaciones a escala real y/o al empleo de simulaciones con modelos numéricos.

Pero son pocos los túneles de viento en la región a los que pueda acudir y costoso su uso, con lo cual esta herramienta no tiene una implementación sencilla. Esto obliga a buscar alternativas y a definir con flexibilidad los objetivos y condiciones de

las experiencias cuando existe un acotado marco de recursos disponibles. Las experiencias que se describen a continuación forman parte de las tareas programadas dentro del Proyecto Conjunto que se realiza entre la Universidad Nacional de Luján (UNLU) y la Universidad de la República de Montevideo sobre el tema de “Ventilación Natural en Viviendas” y su objetivo fundamental es poder disponer de un equipo de bajo costo que permita hacer visualizaciones de flujos en el interior de modelos a escala y realizar las primeras estimaciones de velocidades de aire y caudales.

EL SISTEMA PREPARADO PARA LAS VERIFICACIONES CON HUMO SOBRE MODELO A ESCALA

El Laboratorio que se tomó como modelo es un pequeño espacio de planta cuadrada (4,2m x 4,2m) en donde si bien la altura interior es de 3,0m una prolongada carga exterior le da el aspecto de un cubo. La localización de este espacio se presenta como separada y sin muros en común con respecto al resto de las construcciones próximas (Figura 1)

De este espacio se realizó un modelo a escala 1:25 cuyas características principales son las de tener un lateral y techo transparente y el resto de las superficies pintadas de negro mate interior y exterior para acentuar los contrastes de luminosidad. Tanto el aventanamiento como la puerta del modelo a escala respetan las dimensiones y tipologías del original.

Este modelo se apoya sobre una base que ofrece un plano superior translúcido con luminosidad uniforme proveniente de cuatro lámparas BC incluidas en la caja que forma parte de la base de apoyo. Esta caja contiene además un “cooler” y una serie de perforaciones que aseguran la ventilación de la caja y su superficie luminosa y estabilizan la temperatura radiante de la superficie luminosa en un valor de ΔT de $+2^{\circ}\text{C}$ sobre la temperatura ambiente alrededor de la caja.

De esta manera se simula la mayor temperatura interna con respecto a la externa, aunque con radiación térmica proveniente del piso del modelo. Si bien esto último constituye un apartamiento de situaciones reales, por el momento no se le otorga mayor importancia relativa ya que la influencia con mas peso sobre parámetros internos estará dada por el efecto viento en contraste con el efecto “stack”. No obstante queda pendiente para una evaluación posterior, esta manera de iluminar el espacio interior del modelo y la influencia que pueda tener el calentamiento por el piso en los parámetros a analizar.

El conjunto de modelo a escala y caja se muestra en la Figura 2.



Fig. 1 – Laboratorio tomado como modelo

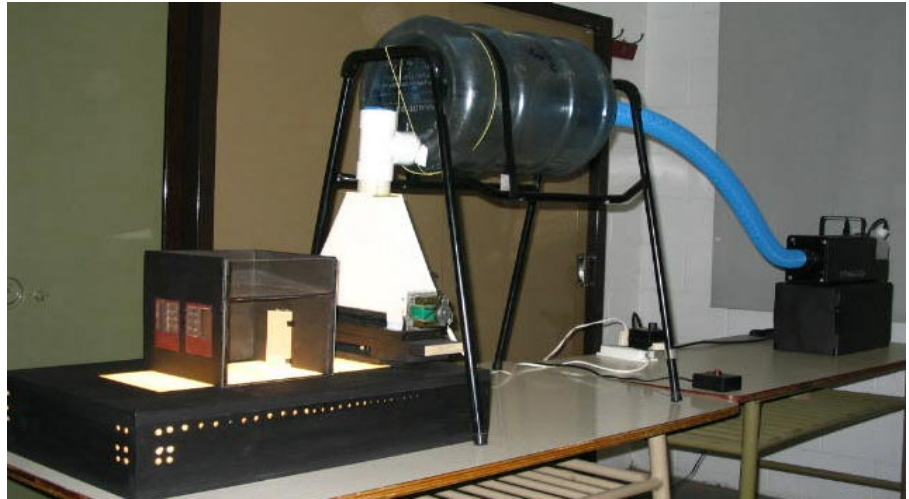


Fig. 2 - Conjunto de modelo a escala y base

Para la generación y aplicación de humo sobre el modelo a escala se utiliza una máquina productora de humo, conectada mediante una manguera de plástico a un bidón vacío de los que se utilizan normalmente para contener agua, que hace las veces de cámara descompresora. Esta cámara se conecta a su vez con una turbina del tipo Michel Banki contenida en una caja con forma de campana en la parte superior y salida y emisión de la mezcla aire-humo por la parte frontal (Figura 3). Un regulador electrónico de velocidades establece un rango limitado de las velocidades de salida del humo. Este conjunto ya se había empleado anteriormente en otras experiencias similares (Yarke et al., 2001).

Todo este equipo tiene una construcción sencilla y de bajo costo, y algunos de sus componentes son el resultado del reciclado de partes de diversos orígenes. Si bien en ningún momento se pretende reemplazar a los resultados que se puedan obtener en un túnel de viento, su utilidad a los fines mayoritariamente cualitativos de las experiencias a realizar resultaba promisorias.

Fig. 3 - Conjunto productor de humo y modelo.



LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS

Todas las experiencias se realizaron colocando el modelo a escala a una distancia de 0,13m de la salida del humo de manera que éste incida directamente y en forma perpendicular sobre las aberturas. El flujo proveniente de la máquina de humo impacta sobre las aberturas en forma cuasi laminar y simétrico respecto del eje horizontal de las ventanas y con un espesor de capa de humo que abarca aproximadamente toda la altura de las mismas. La velocidad de incidencia a esa distancia se estabilizó en 0,3 m/s real (lo que da un entorno del número de Reynolds estimado entre $Re = 1900/2400$ a temperatura y presión ambiente).

La observación visual se completa y realimenta con la filmación del proceso por medio de una cámara digital Canon A75 que en modo video toma 15 fotos por segundo. La posición esquemática de los equipos y la cámara, así como el ángulo de abertura y distancias, se muestra en la Figura 4.

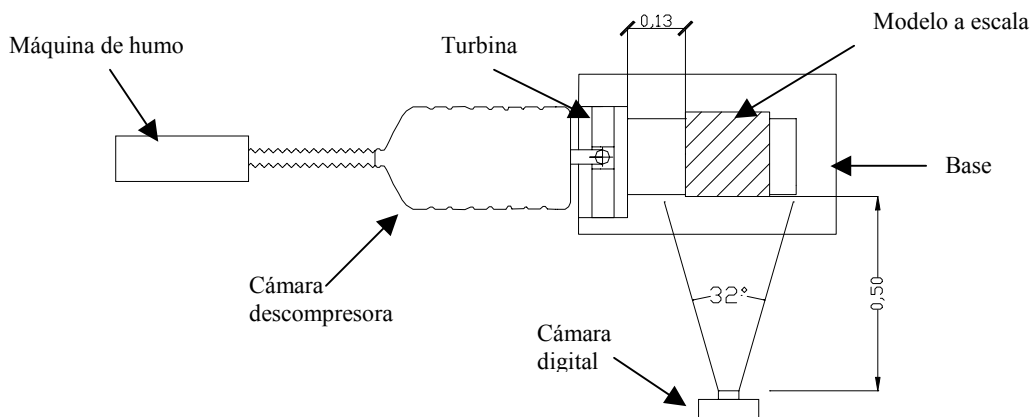


Fig. 4 – Esquema indicando la ubicación de cada elemento para la toma de los videos

La cámara tiene incorporada una tarjeta que permite almacenar 32Mb de fotos y videos, lo cual incluye la posibilidad de 30 segundos de filmación con una resolución de 640x480 ppp. Esta es una gran ventaja pues permite disponer de tiempo suficiente para concretar algunas experiencias con muy buena resolución.

Para tener una referencia que permita posteriormente analizar en detalle las tomas realizadas, se coloca por delante del modelo a escala y pegado a él, una malla de alambre de trama cuadrada, con una separación entre ejes de la trama de 12mm equivalentes a 0,3 m reales en la escala adoptada. Un módulo cúbico equivalente a 0,3 m de lado en dimensiones reales es lo que se adoptó como unidad de medida básico para analizar movimientos convectivos en función de la escala humana, ya que en él caben una cabeza humana más las capas de aire próximas y si consideramos la totalidad del cuerpo mas las capas próximas de aire, éste puede estar contenido entre 25 y 31 módulos de estas dimensiones, para una persona de pie y con los brazos plegados lateralmente.

Todas las tomas se repiten una cierta cantidad de veces, para comprobar la reiteración de los patrones de flujo y demás parámetros. Estas tomas se bajan a la PC y se analizan foto por foto determinando patrones de flujo (Figuras 5, 6 y 7) y estimando velocidad de impacto sobre la abertura y en los vórtices externos, velocidades de desplazamiento por el interior del modelo a escala en diferentes lugares internos y velocidad de salida del aire por la cara opuesta a la de incidencia, estimación ésta que juntamente con la verificación del tiempo de vaciado permite tener una estimación del caudal circulante en cierto tiempo.

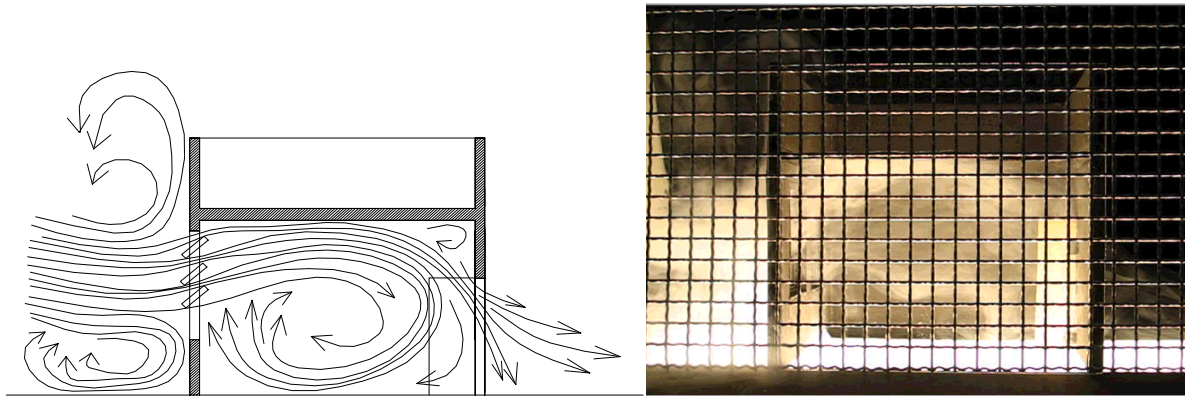


Fig. 5 – Patrón de flujo característico para el caso del humo incidiendo sobre las aberturas y puerta entreabierta a 45°

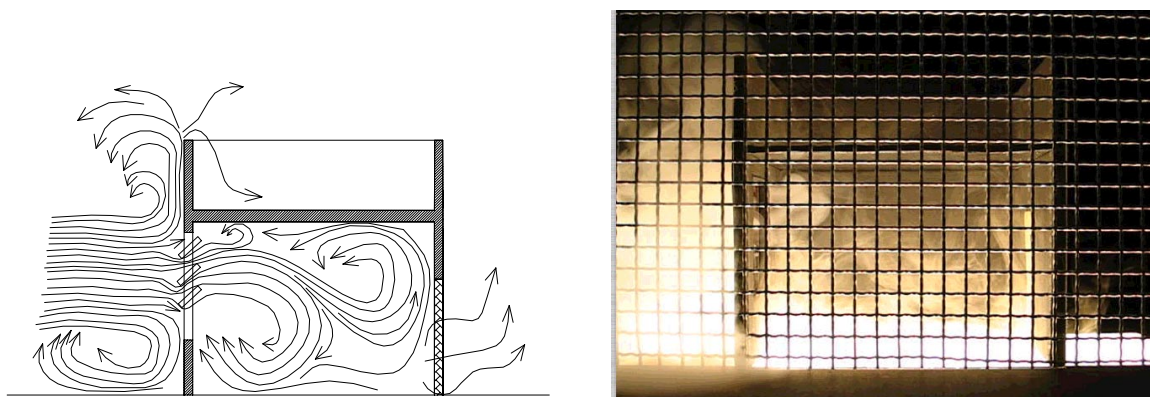


Fig. 6 – Patrón de flujo característico con humo incidiendo sobre las aberturas y puerta cerrada

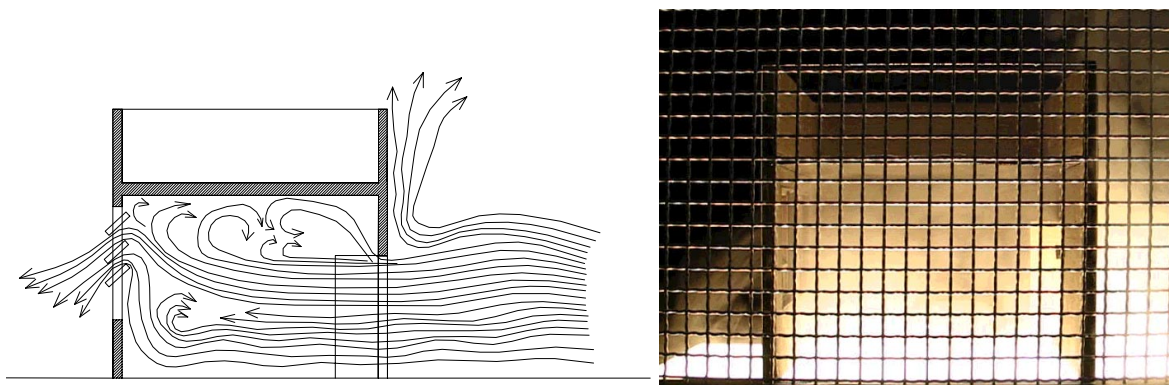


Fig. 7 – Patrón de flujo característico con humo incidiendo sobre la puerta entreabierta a 45° y ventanas abiertas

ALGUNAS ESTIMACIONES EN BASE A LAS EXPERIENCIAS REALIZADAS

Si bien era principal intención de esta etapa el completar el armado y prueba de un equipo de bajo costo para realizar ensayos con humo sobre modelos a escala por encima de la evaluación sistemática de los resultados obtenidos, es posible comentar la metodología utilizada y las aproximaciones que se alcanzan.

Todos los análisis de las visualizaciones se realizan en la computadora mediante la verificación de los movimientos toma por toma. La trama utilizada (12 x 12 mm) permite seguir la traza de las “venas” de humo con mayor brillo hasta una aproximación mínima en los desplazamientos del orden de la mitad de esa dimensión por cada segundo. Para ello cada foto es ampliada al tamaño de la pantalla. Esto es una velocidad visualizada de 0,006 m/s.- Por debajo de este valor la estimación de un resultado se torna muy incierto.

Las velocidades internas son muy diferentes según los distintos lugares de la trama y cambian rápidamente con pequeños períodos de tiempo transcurridos. En los vórtices mas veloces exteriores se visualizaron velocidades del orden de los 0,18 a 0,20 m/s y que en los mas veloces interiores se reducen a 0,10 m/s. Esto se determina verificando el desplazamiento de un determinado punto luminoso a lo largo de las 15 tomas que la cámara realiza en un segundo. Las condiciones climáticas influyen en la velocidades, siendo particularmente mas lentas cuando el porcentaje de humedad relativa contenido en el aire es alto. Sin embargo los patrones de flujo mantienen sus características principales en las distintas condiciones climáticas mientras se mantenga la velocidad exterior de salida del humo.

Las renovaciones horarias constituyen el parámetro de mayor incertidumbre de las estimaciones realizadas. Para ello se verifican los tiempos de vaciamiento del humo contenido en el recinto y que lo ha llenado totalmente, manteniendo durante ese tiempo las velocidades externas constantes provenientes de la turbina Michel Banki pero sin emisión de humo.

Los valores obtenidos interpretando los caudales en función de volúmenes y tiempos, varían desde los bajos niveles de 1,5 a 2 renovaciones horarias cuando el humo penetra por la ventana y la puerta está cerrada, hasta unos 26/30 renovaciones por hora si se entreabre la puerta con un ángulo de 45°. Las mayores renovaciones horarias se han visualizado si el humo penetra desde la puerta entreabierta para salir por la misma puerta o por las ventanas.

CONCLUSIONES

La metodología empleada y el conjunto armado, brindan una respuesta en principio satisfactoria con respecto a los parámetros de los cuales se pretende obtener estimaciones de comportamiento, sobre todo si se tiene en cuenta la relación entre el bajo costo del sistema empleado y los resultados.

El movimiento interno del aire en el modelo y los patrones de flujo del mismo se visualizan con mucha nitidez y permiten ser evaluados con detenimiento analizando la filmación toma por toma. Un inconveniente de visualización se produce en las capas próximas al piso del modelo por el excesivo brillo que emite la superficie luminosa.

Los movimientos del aire exterior que impacta sobre las aberturas muestra comportamientos sobre los cuales vale la pena reflexionar y realizar más experiencias. Si bien la velocidad de salida del aparato utilizado es siempre la misma en las experiencias realizadas, las velocidades de impacto sobre las aberturas son diferentes cuando la ventilación es cruzada (es el caso de las ventanas abiertas y la puerta semiabierta con un ángulo de 45°) de cuando está considerada como ventilación de un solo lado (con la puerta cerrada). En este último caso la velocidad de impacto aparece bastante frenada.

Esto tiene una lógica desde la física, ya que el aire para penetrar al interior, debe ir desalojando la masa de aire contenida y/o aumentar la presión interna, proceso que puede ser mucho mas lento cuando la ventilación es de uno solo de los lados y explicaría el freno que se produce en la velocidad del aire inmediatamente antes del impacto sobre la superficie de las aberturas. Sin embargo no hemos encontrado hasta ahora referencias bibliográficas acerca de esta observación.

De las estimaciones realizadas, son los patrones de flujo interno las que alcanzan un mayor nivel de confiabilidad, seguidas por la estimación de velocidades tanto externas como internas, aún cuando estos resultados sobre los modelos no pueden transcribirse en forma lineal con las posibles velocidades reales que se alcanzarían dentro del espacio del laboratorio. En cambio, son las estimaciones acerca de los caudales de vaciamiento y las consecuentes renovaciones horarias, las que generan mayor nivel de incertidumbre.

Todos los resultados que se obtengan deben ser comparados con los que se obtienen en un túnel de viento y a continuación con los movimientos de aire en el espacio real, para tener una idea más precisa del grado de aproximación que estas experiencias tienen. Tales comparaciones están dentro de nuestro programa de actividades y las consideramos una continuación indispensable en las secuencias del Proyecto en curso.

REFERENCIAS

Allard F. editor (1998) Natural Ventilation in Buildings, 1^{era} Edición, Chapter 3, Prediction Methods (editado por Santamouris M), Editorial James & James – London -UK

Allard F. y Utsumi Y. (1992) Airflow Through Large Openings. Energy and Buildings 18, 133-145

Allocca C., Chen Q. y Gliksman L. (2003) Design Analysis of Single Sided Natural Ventilation. Energy and Buildings 35, 785-795

Assimakopoulos M., Tsangrassoulis A., Mihalakakou G., Santamouris M. y Jaure S. (2002), Development of a Control Algorithm to Optimize Airflow Rates Through Variable Size Windows. Energy and Buildings 34, 363-368

Cook J. editor (1989) Passive Cooling, 1^{era} Edición, Chapter 2, Ventilative Cooling (editado por Chandra S.), Editorial Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA-USA

Daskalaki E., Santamouris M., Argiriou A., Helmis C., Asimakopoulos M., Papadopoulos K. y Soilemes A. (1996) On the Combination of Air Velocity and Flow Measurements in Single Sided Natural Ventilation Configurations. Energy and Buildings 24, 155-165

Flourentzou F., Van der Maas J., y Roulet C. (1998) Natural Ventilation for Passive Cooling: Measurement of Discharge Coefficients. Energy and Buildings 27, 283-292

Papakonstantinou K., Kiranoudis C. y Markatos N. (2000) Numerical Simulation of Air Flow Field in Single Sided Ventilated Buildings. Energy and Buildings 33, 41-48

Yarke E., Fajol M. y Baldesari F. (2001) Selección de Tipologías de Aventanamientos con Mayor Eficiencia para el Refrescamiento Convectivo. Actas VI Congreso Iberoamericano de Aire Acondicionado y Refrigeración (CIAR 2001), 32-41, Buenos Aires-ARG

ABSTRACT: The following paper show experiences made over scale model building employing tracer gas with the propose to develop a methodological approach to the analysis of internal flow patterns in spaces exposed to natural ventilation using low cost equipment. It is described the equipment used, tests made, and the reached estimates related in relation with to the identification of flow patterns, external and internal airflow speeds and airflow rates. In the Conclusions put on discussion about the actual results.

Keywords: natural ventilation, scale models, tracer gas tests, estimation of parameters