

POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO POR VENTILACION EN ENTORNOS URBANOS
RESULTADOS DE UN MODELOS DE APROXIMACION.

J.C.Fernández Llano* - C. de Rosa**

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)
Centro Regional de Investigaciones
Científicas y Tecnológicas (CRICYT)
C.C. 131 - 5500 MENDOZA

RESUMEN

La ingeniería del viento (wind engineering) es una especialidad científico-tecnológica relativamente nueva y aun en pleno desarrollo. Si bien existen ya modelos computacionales que utilizan distintos modos de simular flujos turbulentos, no se conoce aún su aplicabilidad a situaciones volumétrico-espaciales de gran complejidad como las que son propias de los entornos urbanos.

La utilización de modelos de aproximación simplificados, considerando solamente flujos laminares, a pesar de sus fuertes limitaciones, puede sin embargo resultar útil a falta de otras herramientas, para evaluar en forma grosera la permeabilidad del tejido urbano al acceso de las brisas de verano y en consecuencia la utilización del potencial del recurso para el enfriamiento convectivo.

El trabajo presenta resultados de un modelo de aproximación y su correlación con algunos índices que cuantifican aspectos de la volumetría urbana.

INTRODUCCION

Los climas áridos como el de la provincia de Mendoza ofrecen una gama interesante de recursos para obtener enfriamiento natural de edificios en verano. Prácticamente en todas las situaciones bio-ambientales de la región habitada de la provincia, la carta bioclimática presenta valores de temperatura de bulbo seco (TBS) y humedad relativa (HR) medias que admiten la ventilación natural (nocturna) asociada con la masa térmica del edificio como recurso para mejorar las condiciones de habitabilidad en verano.

Desde todo punto de vista, el enfriamiento convectivo nocturno asociado con la masa del edificio presenta ventajas sobre otros sistemas:

- 1- La ventilación de edificios utilizando al viento natural de una región como recurso, es el método de enfriamiento que presenta mayor compatibilidad con la edificación urbana en su estado actual.
- 2- Desde el punto de vista tecnológico, edificios de alta masa térmica como las usuales en la región son ideales para utilizar el enfriamiento convectivo nocturno, prácticamente sin modificaciones, siempre que sea posible una buena ventilación cruzada de sus espacios.
- 3- El aprovechamiento del recurso de esta forma no requiere inversiones en componentes específicos y por lo tanto, es el más económico.
- 4- En construcciones de desarrollo vertical, usuales en entornos urbanos de cierta densidad, se maximiza la utilización de la brisa.

* Profesional Contratado CRICYT

** Investigador Independiente CONICET

Existen otras estrategias de enfriamiento como la radiativa y la evaporativa pero no presentan condiciones tan favorables, al menos en medios urbanos, como la convectoria.

MODELO DE ACCESO A LAS BRISAS

Tal como se dijo anteriormente (1), este modelo de aproximación permite determinar las interrelaciones de las estelas de viento producidas por distintos volúmenes edilicios con los restantes que configuran su entorno.

Hasta el momento se había estudiado la incidencia del viento sobre edificios aislados o con entornos relativamente simples. Varios parámetros se combinan para determinar el potencial de ventilación de edificios, utilizando el viento urbano. Ellos son:

- perfiles verticales de la velocidad del viento en función de la rugosidad del terreno.
- coeficientes de presión sobre las caras de los volúmenes en función de la forma de los edificios.
- permeabilidad de los volúmenes en función de las aberturas disponibles en fachadas a barlovento y sotavento.
- características formales y dimensionales de estelas del viento en función de la geometría de los edificios.
- velocidad relativa de la componente longitudinal del viento dentro de las estelas a sotavento de los volúmenes.
- influencia de las estelas de viento en su intersección con fachadas de edificios a barlovento.

Gran parte de estas variables han sido estudiadas experimentalmente por distintos autores existiendo en muchos casos una dispersión considerable de resultados.

El modelo analítico-computacional desarrollado cuantifica los distintos parámetros en función de los resultados experimentales, tomándose en cada caso, los valores de cálculo según criterios especificados.

PERFIL VERTICAL DE LA VELOCIDAD DE VIENTO

La velocidad de viento, en nuestro caso la brisa nocturna, es el indicador principal de la efectividad del recurso. Se han considerado como valores de referencia los obtenidos de las estadísticas del Servicio Meteorológico Nacional, modificados según los métodos recomendados y considerando el viento del Sur como dirección predominante durante la noche.

El método utilizado para determinar la velocidad de cálculo y su ley de variación vertical en función de la rugosidad del terreno, es el propuesto por Chandra y Fairey (2), según la siguiente expresión:

$$V_h = V_o * (h/h_o)^a$$

donde: V_h : velocidad del viento a la altura h [m/seg]

V_o : velocidad de referencia a la altura h_o [m/seg]

a : exponente en función de la rugosidad del terreno

El valor de V_h varía también según el recurso sea diurno o nocturno, ya que por regla general, la velocidad media del viento nocturno es aproximadamente un 75 % del valor de la media diaria (24 hs). El valor de a puede tabularse como sigue:

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE	a
zona de playa	0.10	
llanura c/obstáculos aislados	0.14 -	0.16
suburbana o industrial	0.25 -	0.30
centros urbanos densos	0.35 -	0.40

Los coeficientes de presión que definen la presión media ejercida por el viento sobre volúmenes geométricos elementales, han sido estudiados por numerosos autores, generalmente en ensayos controlados en túnel de viento. Estos resultados han sido procesados, obteniéndose valores medios estadísticos por cada cara de los volúmenes unitarios según la dirección y el ángulo del viento incidente sobre las distintas caras de un volumen dado. En general, existe un buen ajuste en la mayoría de los casos, lo que ha permitido tabular los coeficientes medios de presión para volúmenes o edificios (1).

PERMEABILIDAD DE LOS VOLUMENES

La permeabilidad de un determinado volumen edilicio al viento incidente sobre alguna de sus caras depende de varias características propias del edificio: el área de aberturas en caras a barlovento y sotavento a través de las cuales el viento puede penetrar y salir del edificio; las características propias de las aberturas tipo, diseño, alero, cortinas, etc. que son determinantes de su factor de porosidad; la resistencia al flujo interior opuesta por tabiques u otros obstáculos entre las aberturas de entrada y salida del viento.

En este paso, el modelo adopta el método propuesto por Chandra donde el caudal de aire que atraviesa un edificio se determina como sigue:

$$Q = 0.64 * A_c * \sqrt{DCP}$$

donde: Q : caudal útil para ventilación natural [m3/seg]
 Ae : área efectiva de ventanas [m2]. $A_e = A_b * \sqrt{(A_b^2 + A_s^2)}$
 Ab : área de ventanas a barlovento [m2]
 As : área de ventanas a sotavento [m2]
 DCP : diferencia de coeficientes de presión
 0.64 : factor de corrección según rugosidad del terreno

Factores que modifican el área efectiva de ventanas:

- Tipo de aberturas: la ventilación depende del tipo de ventana usada. Por ej. para ventanas tipo "guillotina" se produce una reducción del 60 % de la superficie de la abertura, para el tipo "de abrir", un 40 %. El espesor del marco es otro de los factores que modifica el área efectiva de ventilación.
- Protección contra insectos: la malla metálica o plástica ubicada en ventanas reduce la capacidad de ventilación entre un 20 % y un 40%.

Para el análisis de centros urbanos es necesario hacer una simplificación en cuanto a los diferentes tipos de ventanas que pueden encontrarse por lo tanto, se asume que se trata de ventanas estándar de abrir, sin protección contra insectos.

ESTELAS DE VIENTO

La estela de viento es la zona de flujo perturbado que se produce a sotavento de un edificio. Las distintas modificaciones al flujo del viento natural así producidas, involucran fenómenos de gran complejidad: separación, forma y dimensiones

del obstáculo, velocidad y dirección del viento.

Las estelas de viento han sido estudiadas experimentalmente por varios autores, y presentan un grado importante de dispersión en sus resultados(2). La longitud de la estela es función de las proporciones del edificio, teniendo particular relevancia el ancho del mismo (a) en el sentido perpendicular al viento y su altura (h). Los valores medios de la longitud de la estela sobre el plano horizontal varían entre 4 y 8 h; para los casos extremos las variaciones son mayores, de 3 a 20 h.

Dentro de la estela, cuya forma puede asimilarse a la de una burbuja, la velocidad media de la componente longitudinal del viento decrece en capas concéntricas desde el borde hacia su centro, produciéndose en los puntos de separación del flujo, esquinas a barlovento, aceleraciones importantes con respecto a la velocidad media del viento sin obstáculos.

En el modelo desarrollado, las estelas de viento en los aspectos de proporción, forma y velocidades longitudinales medias, se han modelizado elaborando una retícula tridimensional a sotavento de cada edificio. Dentro de la misma las velocidades del viento se expresan como valores porcentuales de la velocidad de referencia en la parte superior del mismo, según los resultados experimentales de Peterson et al (3). Posteriormente el modelo determina las intersecciones de las estelas de viento con los edificios situados a sotavento del considerado, obteniéndose la zona en que el flujo incidente sobre la fachada expuesta está afectada por una reducción de su velocidad media y por lo tanto, del potencial de ventilación cruzada.

El modelo tiene un grado aceptable de confiabilidad en la predicción de la ventilación potencial para zonas externas a las estelas de viento y es por lo tanto útil para evaluar comparativamente la mayor o menor permeabilidad de un determinado agrupamiento volumétrico al recurso del viento. Para las zona bajo estela, los resultados deben ser tomados como indicativos. Una serie de efectos complejos tales como el efecto Wise (corredor, patio o tobera) son imposibles de modelizar dentro de las limitaciones metodológicas de un modelo sencillo.

RESULTADOS DEL MODELO DE ACCESO A LA BRISA

Los resultados que se pueden obtener a partir del modelo de acceso a la brisa son:

- . Superficies de fachadas al S, es decir aquellas potencialmente colectoras de la brisa nocturna, libres de "sombras" de estelas de viento producidas por edificios a barlovento; expresadas en forma porcentual con respecto al área de todas las fachadas al S.

- . Caudales de viento disponibles para ventilación cruzada a través de los edificios, según el área de ventanas a barlovento y sotavento, y la intensidad y frecuencia del recurso.

- . Volúmenes de aire por hora que pueden renovarse por ventilación cruzada.

El modelo descrito ha sido aplicado en el análisis de la trama urbana correspondiente a la ciudad de Mendoza.

MANZANAS URBANAS - ACCESO A LA BRISA

Los resultados seleccionados toman en cuenta las variables más significativas desde el punto de vista del potencial de enfriamiento convectivo nocturno, es decir el aprovechamiento de la brisa estival en horas de la noche para enfriar la masa estructural de las construcciones.

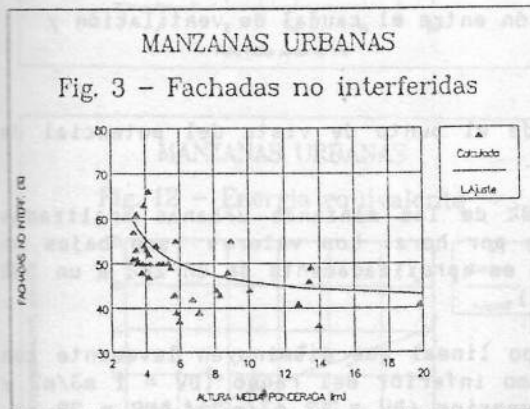
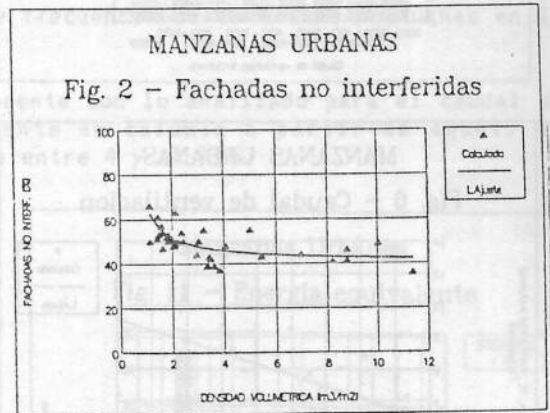
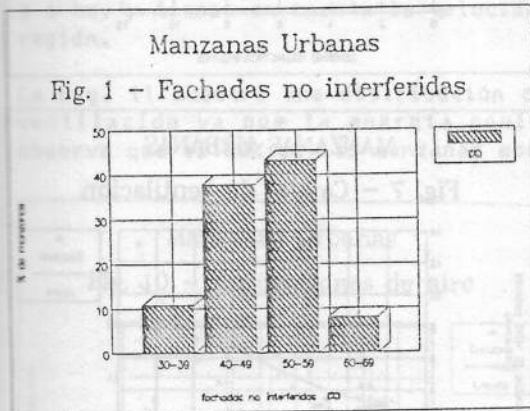
Los cálculos consideran solamente las brisas provenientes del S que es la dirección dominante durante las noches de verano, incluyendo las características del recurso en cuanto a velocidad media y frecuencia de los ciclos nocturnos de la estación cálida.

Las variables edilicias y energéticas que se han utilizado son las siguientes:

- . Fachadas al S (%) no interferidas por estelas de viento de edificios a barlovento.
- . Caudales de aire disponibles utilizando la brisa nocturna en los meses de verano y superficies de ventanas existentes a barlovento y sotavento.
- . Renovaciones de aire por hora disponibles.
- . Energía para mover los caudales por medios mecánicos convencionales.

Los índices urbanísticos con los que se realizan las correlaciones son: densidad volumétrica (DV) y la altura media ponderada (AMP).

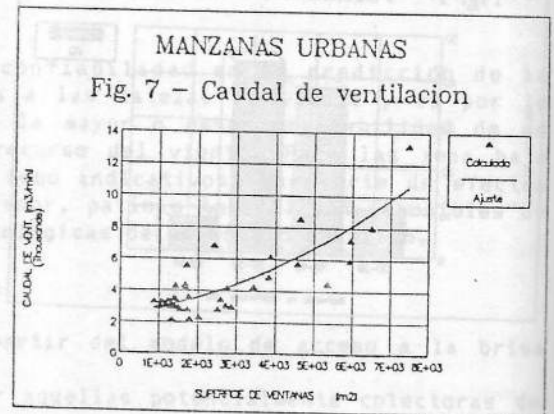
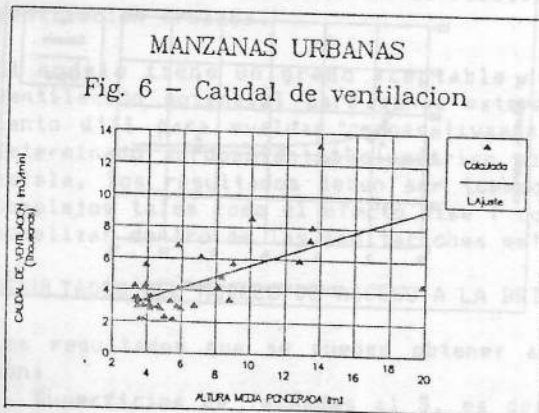
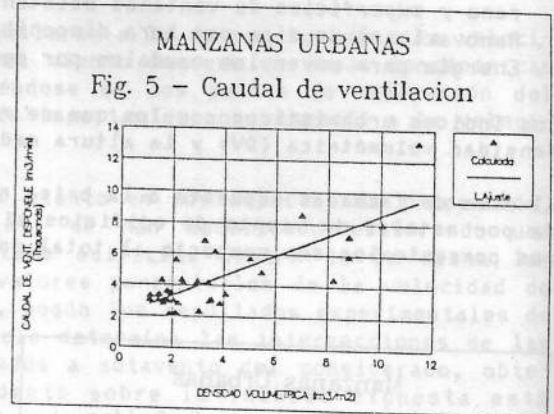
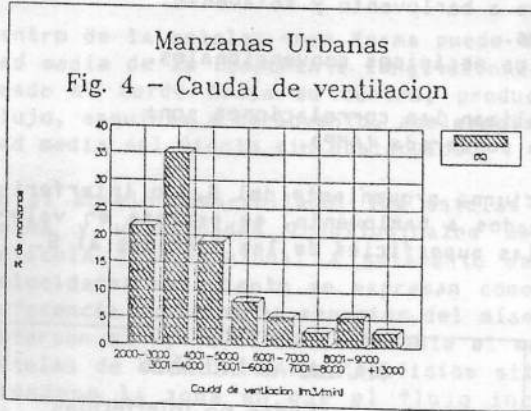
El área de fachadas expuesta a la brisa nocturna proveniente del S, no interferida por estelas de viento de edificios situados a barlovento, se expresa en valores porcentuales con respecto al total de las superficies de las fachadas al S.



Haciendo un análisis de las manzanas estudiadas con respecto a las superficies o fachadas no interferidas, se observa (Fig. 1) que prácticamente el 80% de las mismas poseen entre el 40% y el 60% de superficie de fachada libre que puede ser utilizada para el enfriamiento convectivo nocturno. Los valores extremos son de 35% y 65%, dando las exposiciones más altas para las DV (Fig. 2) y AMP más bajas (Fig. 3). En ambos casos el mejor ajuste está dado por curvas de tipo exponencial con valores y sensibilidades decrecientes a medida que aumenta la DV y la AMP. Los valores medios van del 62% (DV = 1 m³/m² y AMP = 3.5 m) al 43% (DV = 12 y AMP = 20 m)

CAUDAL DE VENTILACION DISPONIBLE

En la Fig. 4 se puede observar que prácticamente el 80% de las manzanas estudiadas tiene un aporte que está por debajo de los 5×10^3 m³/min. Por otro lado, (Fig. 5 - 6) existe una gran dispersión de caudales (entre 2×10^3 y 13.5×10^3 m³/min). El ajuste lineal crece en forma coherente para ambas escalas de correlación tanto para DV como para AMP. Los valores medios son de: 3×10^3 m³/min en el límite inferior (DV = 1 m³/m² y AMP = 3 m) y de 9×10^3 m³/min en el superior (DV = 11 m³/m² y AMP = 20 m).



En la Fig. 7 se puede observar la correlación entre el caudal de ventilación y la superficie de ventanas orientadas al S.

RENOVACIONES DE AIRE POR HORA (RAH)

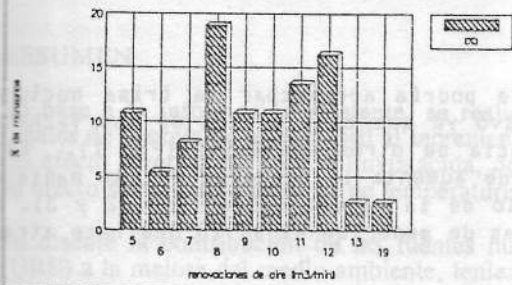
Se trata del indicador más importante desde el punto de vista del potencial de enfriamiento por ventilación.

La Fig. 8 muestra que prácticamente el 70% de las manzanas urbanas analizadas presenta entre 7 y 12 renovaciones de aire por hora. Los valores son bajos en general (Fig. 9-10), entre 5 y 13 RAH, esto es aproximadamente de un 20% a un 50% de la necesidad estimada (entre 25 y 30 RAH).

Los valores medios presentan ajustes de tipo lineal que disminuyen levemente con el aumento de la DV y la AMP. En el extremo inferior del rango (DV = 1 m³/m² y AMP = 3.5 m), se obtienen 10 RAH; en el superior (DV = 12 m³/m² y AMP = 20 m), este valor desciende a 6 RAH.

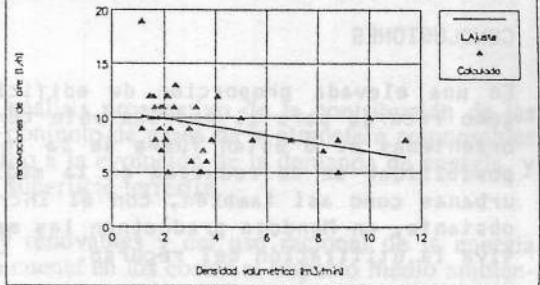
Manzanas Urbanas

Fig. 8 - Renovaciones de aire



Manzanas Urbanas

Fig. 9 - Renovaciones de aire



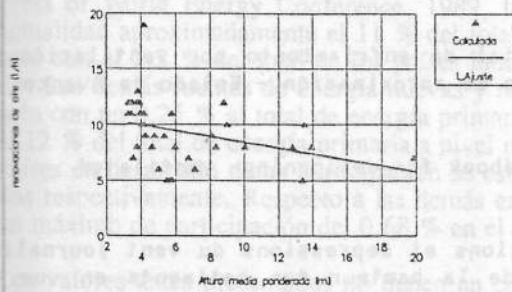
ENERGIA EQUIVALENTE

Es la energía necesaria para mover por medios mecánicos el caudal de aire que se obtiene por ventilación cruzada, se expresa en Kwh. Los valores calculados representan la energía media disponible durante un ciclo nocturno de enfriamiento: 22 a 6 hs. y tienen en cuenta la velocidad y frecuencia de la brisas nocturnas en la región.

La Fig. 11 muestra una distribución coherente con lo analizado para el caudal de ventilación ya que la energía equivalente se calcula a partir de aquél. Se observa que el 80% de las manzanas poseen entre 4 y 11 Kwh.

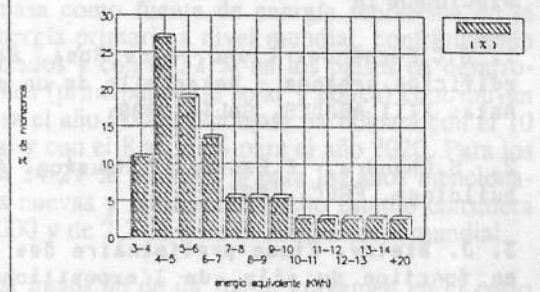
Manzanas Urbanas

Fig. 10 - Renovaciones de aire



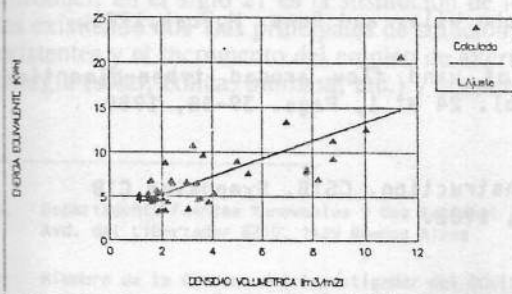
Manzanas Urbanas

Fig. 11 - Energía equivalente



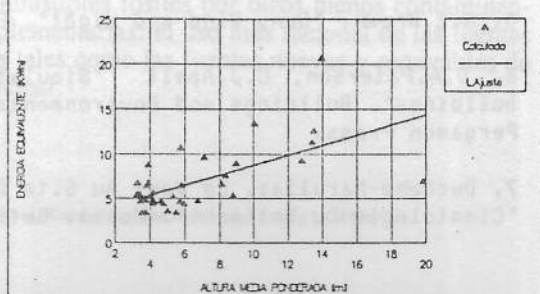
MANZANAS URBANAS

Fig. 12 - Energía equivalente



MANZANAS URBANAS

Fig. 13 - Energía equivalente



La dispersión de valores es importante, tanto para la DV (Fig. 12) como para la AMP (FIG. 13). Los ajustes de tipo lineal indican un incremento de la energía equivalente coherente con los de DV y AMP, con valores mínimos de aproximadamente 4 KWh en el extremo inferior de los rangos (DV = 1 m³/m² y AMP = 3.5 m) y 14 KWh en el superior (DV = 12 m³/m² y AMP = 20 m).

CONCLUSIONES

En una elevada proporción de edificios se podría aprovechar la brisa nocturna como recurso para el enfriamiento convectivo ya que casi el 50% de las fachadas orientadas al S están fuera de la influencia de otros edificios (Fig 1). Esta posibilidad se ve reducida en la medida que aumenta la densidad en las manzanas urbanas como así también, con el incremento de la altura media (Fig. 2 y 3). No obstante, en Mendoza predominan las manzanas de menor densidad lo que hace atractiva la utilización del recurso.

Desde el punto de vista del caudal de aire que puede ser empleado para el enfriamiento, es mayor para aquellas manzanas más densas y por lo tanto, de edificios altos (Fig.5-6). Estos tienen una mayor superficie de captación a través de sus ventanas (Fig.7), siendo los pisos bajos los que presentan peores condiciones de ventilación. Si bien el caudal total de ventilación aumenta con la altura media, la eficiencia por piso disminuye. En general, se puede decir que a medida que crece la densidad y la altura en las manzanas urbanas, se produce una disminución en las renovaciones de aire por hora.

La energía equivalente obtenida por la utilización de la ventilación nocturna es mayor para las zonas más densas. Pero si se relaciona la energía por unidad habitacional, ésta disminuiría con la densidad.

El modelo analizado puede comparar la eficiencia en la ventilación nocturna para diferentes distribuciones, densidades y geometrías dentro del área urbana.

BIBLIOGRAFIA

1. J.C.Fernández Llano, C.de Rosa. Potencial de enfriamiento por ventilación de edificios urbanos - Desarrollo de un modelo de aproximación - Estado de Avance. Actas XIII ASADES, SALTA 1988.
2. S.Chandra, P.Fairey, M.Houston. A handbook for designing ventilated buildings. FSEC, 1983.
3. J. Bietry. Etude préliminaire des pressions et dépressions du vent journalier en fonction du site, de l'exposition et de la hauteur des bâtiments en vue du calcul des dépenses par renouvellement d'air. Centre Scientifique Et Technique Du Bâtiment (CSTB), Nantes, Francia. 1974
4. K. Hagovist, U.Svensson, R.Taesler. "Numerical simulations of pressure fields around buildings".
5. G.Z.Brown. "Sun, Wind and Light". Ed. John Wiley and Sons. N.York.1985.
6. D.A.Paterson, C.J.Apelt "Simulation of wind flow around three-dimensional buildings". Buildings and Environment, Vol. 24 N° 1, Pags. 39-50, 1989. Pergamon Press.
7. Duchene-Marullaz. Le Vent Au Site De Construction. CSTB. Symposium CIB "Climatologie Du Bâtiment". Moscú. Setiembre, 1982.