

## POTENCIAL DE ENFRIAMIENTO POR VENTILACION EN EDIFICIOS URBANOS DESARROLLO DE UN MODELO DE APROXIMACION - ESTADO DE AVANCE

Jorge C. Fernández LLano\* - Carlos de Rosa\*\*  
Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV) Centro Regional de  
Investigaciones Científicas y Tecnológicas - (CRICYT)  
C.C. 131 - 5500 - Mendoza

### RESUMEN

En zonas áridas donde las amplitudes térmicas son significativas, el enfriamiento convectivo nocturno, se presenta como la única estrategia compatible con la edificación existente.

El modelo analítico cuyo avance se informa, se ha elaborado utilizando los resultados de distintos autores que han experimentado la interacción del viento con agrupamientos edilicios complejos. Dentro de dichos resultados se destaca la modificación de los perfiles de velocidad del viento en función de la rugosidad del terreno urbano, y la modificación de los coeficientes de presión en distintos puntos de la fachada por efecto del entorno inmediato.

Se está elaborando un programa de computación que permita calcular mediante el ingreso de las coordenadas de los edificios, características del viento nocturno y ángulo de incidencia, los coeficientes de presión medios en cada una de las fachadas.

### INTRODUCCION

En regiones áridas durante las horas diurnas, el aire contiene poca humedad y elevada temperatura, condiciones que exceden fácilmente los límites de confort. El cielo despejado de la atmósfera permite un marcado descenso de la temperatura durante la noche de tal forma, que los edificios con elevada masa en paredes y techo, pueden mantener una temperatura interior relativamente baja durante el día, favoreciendo el uso de sistemas de enfriamiento convectivo.

El enfriamiento convectivo se utiliza para extraer el calor de la masa estructural de un edificio mediante una circulación de aire nocturno. La masa estructural fría absorbe el calor que se transfiere del exterior y el generado en el interior, durante el día. Los factores climáticos condicionan la aplicación de este método. Entre ellos podemos mencionar: temperatura mínima del aire, amplitud térmica diaria, vientos predominantes y presión de vapor.

El ambiente define la temperatura mínima que puede alcanzar la masa estructural durante la noche, la amplitud térmica determina el régimen máximo de pérdidas entre el interior y el exterior. La presión de vapor define la temperatura máxima de confort que se puede alcanzar dentro del local sin ventilación diurna. El viento produce una fuerza al incidir sobre un edificio que genera zonas de presión positivas y negativas. Como consecuencia de ello, el aire circula a través de los locales en el sentido de las presiones decrecientes y cuyo caudal es directamente proporcional a la diferencia de presiones existente y al área de aberturas.

\* Profesional Contratado (CRICYT)

\*\* Investigador Independiente (CONICET)

## VENTILACION NATURAL

El método empleado por Aynsley para el cálculo de la ventilación natural, viene dado por la siguiente expresión:

$$Q = A \times C \times V \times \Delta Cp$$

Q: caudal de aire [m<sup>3</sup>/seg]

A: área efectiva de ventanas [m<sup>2</sup>]

$A = A_0 \times A_1 \times A_2 + A_3$  ( $A_0, A_1$ : áreas de entrada y salida aire)

V: velocidad del viento exterior a 10 m de altura [m/seg]

$\Delta Cp$ : diferencia de los coef. de presión entre caras del edificio.

C: coef. en función del tamaño de la ventana respecto de la pared y de su ubicación relativa. Para ventanas que ocupan menos del 20% de la superficie de la pared y en el centro de la misma, se adopta un valor de 0.64.

## VIENTO

El viento se genera por el calentamiento y enfriamiento diferencial de la superficie terrestre que produce una variación en la densidad del aire, dando lugar a distintas presiones. El viento es una masa de aire que tiene dirección y sentido. Como consecuencia del rozamiento con la superficie de la tierra, la velocidad del viento varía con la altura. La variación media de la velocidad con la altura viene dada por la siguiente expresión:

$$V(h) = \frac{K \times \ln(h/h_0)}{K' \times \ln(10/h_0')} \times V(10)$$

V(h) : velocidad media obtenida para una altura h

K : coef. rugosidad del terreno (lugar de la construcción).

K' : coef. rugosidad del terreno (estación meteorológica).

h : altura en que se desea conocer la velocidad del viento.

h<sub>0</sub> : altura de la rugosidad media para la zona construida.

h<sub>0</sub>' : altura de la rugosidad media (estación meteorológica).

V(10) : velocidad media a 10 m del suelo (est. meteorológicas).

	PLAYA	ADROPUERTO	SUBURBANO	URBANO	CENTROS DENSOS
h <sup>o</sup> (m)	0.005	0.07	0.3	1	2.5
K	0.166	0.202	0.234	0.266	0.292

Tabla 1: coeficientes que inciden en la velocidad del viento para distintos tipos de rugosidades.

Este modelo logarítmico se aplica para alturas por encima de las alturas medias de los obstáculos que constituyen la rugosidad. Según el modelo propuesto por Chandra para el cálculo de la ventilación cruzada, la velocidad que se tiene en cuenta es la correspondiente a la media mensual del lugar, corregida por un factor que está en función del tipo de terreno de que se trate. Así surge el valor de la velocidad reducida para una altura de 10 metros.

En principio, ante la falta de valores para velocidades de viento nocturno, adoptamos para nuestro modelo de aproximación, un 75% de la velocidad media.

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEM.	OCTUBRE	NOVIEMB.	DICIEMB.	ANUAL
MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V	MF V
SE 11	S 11	S 11	SE 11	NE 11	S 13	SE 11	SE 11	S 13	S 13	S 15	S 13	S 13
S 11	SE 11	SE 11	S 11	SE 11	SE 11	S 11	S 13	SE 13	S 15	SE 13	SE 13	SE 13
V TOTAL	6	5	4	3	4	4	4	6	7	9	8	6

Tabla 2: Direcciones más frecuentes (MF) y velocidades medias (V) en km/h para cada una de ellas. Datos obtenidos del Servicio Meteorológico para la Estación Menchaca (Aeropuerto).

## COEFICIENTES DE PRESION

Uno de los factores que presenta mayores dificultades para su determinación, es el coeficiente de presión que actúa sobre cada cara del edificio. Este coeficiente depende de distintos factores, tales como: geometría de la construcción, relación entre sus dimensiones, orientación respecto de la dirección del viento e influencia del entorno.

Este coeficiente puede determinarse experimentalmente mediante la medición de las presiones + o - originadas en una vivienda cuando está sometida a la acción del viento. La fórmula que representa esta situación es:

$$Cp = \frac{\Delta P \text{ [Kgf/m}^2\text{]}}{1/2 \times \beta \times V^2}$$

$\Delta P$  : es la diferencia entre la presión estática y la dinámica producida por el viento actuando sobre una superficie.

$\beta$  : densidad del aire en [Kgm/m<sup>3</sup>]

V : velocidad del viento incidente en [m/seg]

Cp : coeficiente de presión [adimensional]

La distribución de presiones en cada una de las caras del edificio no es uniforme por lo tanto, para simplificar el modelo en estudio, se tomarán coeficientes medios.

El análisis de los resultados obtenidos en la experiencias llevadas a cabo por distintos autores (2), (3) y (4), muestran valores heterogéneos para Cp. La Tabla 3 muestra los coeficientes de presión dados por Chandra, Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) y por Bowen para edificios sin construcciones vecinas que modifiquen la dirección del viento y para distintos ángulos de incidencia.

TIPO EDIFICIO	ANG. INC. DEL VIENTO	a			b			c			d		
		CH	CSTB	SW	CH	CSTB	SW	CH	CSTB	SW	CH	CSTB	SW
	0	0,40	0,40	0,90	-0,40	-0,67	-0,40	-0,25	-0,60	-0,20	-0,40	-0,67	-0,40
	22,5	0,30			-0,06			-0,40			-0,50		
	30												
	45	0,25		0,50	0,25		0,50	-0,45		-0,40	0,45		-0,40
	60												
	67,5	-0,06			0,30			-0,55			-0,50		
90	-0,40	-0,50	-0,10	0,40	0,55	0,90	-0,40	-0,50	-0,40	-0,25	-0,22	-0,20	

Tabla 3: Coeficientes de presión para edificios sin entorno.

Los coeficientes de presión encontrados a partir de datos publicados (1 - 2), para edificios que estén sometidos a la acción de otras construcciones vecinas, están tabulados en la Tabla 4. Los valores corresponden a coeficientes de presión máximos, mínimos y medios ponderados para distintas tipologías edilicias.

TIPO DE EDIFICIO	ángulo de incidencia del viento	a		b		c		d	
		CHAMARA	CSTB	CHAMARA	CSTB	CHAMARA	CSTB	CHAMARA	CSTB
[Diagrama de edificio con chamara]	0°	0.22	0.20	-0.22	-0.43	-0.14	-0.25	-0.22	-0.43
	45°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	90°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33
	135°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	180°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33
[Diagrama de edificio con CSTB]	0°	0.22	0.20	-0.22	-0.43	-0.14	-0.25	-0.22	-0.43
	45°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	90°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33
	135°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	180°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33
[Diagrama de edificio con chamara y CSTB]	0°	0.22	0.20	-0.22	-0.43	-0.14	-0.25	-0.22	-0.43
	45°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	90°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33
	135°	0.07	0.35	-0.05	0.50	-0.07	-0.25	-0.20	-0.80
	180°	0.22	0.20	-0.03	-0.22	-0.22	-0.33	-0.22	-0.33

Tabla 4: Coeficientes de presión para edificios con entorno

Hasta ahora, hemos visto los coeficientes de presión para edificios de distinta tipología con y sin construcciones vecinas que modifiquen la estela de viento producida por los mismos edificios. Para el caso de zonas construidas con bajas densidades, podrían usarse los coeficientes medios que surgen de las experiencias desarrolladas por el CSTB (con entorno), para las distintas tipologías. Estos coeficientes fueron calculados como valores ponderados medios para cada una de las fachadas.

	sin entorno			con entorno			sin entorno			con entorno		
	$C_{pe}$	$C_{pe, max}$	$C_{pe, min}$	$C_{pe, max}$	$C_{pe, min}$	$C_{pe}$	$C_{pe, max}$	$C_{pe, min}$	$C_{pe}$	$C_{pe, max}$	$C_{pe, min}$	
a	0.20	0.40	0.36	0.12	0.30	0.21	0.55	0.75	0.65	0.10	0.40	0.25
b	-0.60	-1.10	-0.75	-0.20	-0.80	-0.43	-0.25	-0.85	-0.60	-0.10	-0.70	-0.33
c	-0.50	-0.70	-0.60	-0.20	-0.45	-0.35	-0.25	-0.35	-0.30	-----	-----	-0.35
d	-0.60	-1.10	-0.75	-0.20	-0.80	-0.43	-0.25	-0.85	-0.60	-0.10	-0.70	-0.33

Tabla 5: Influencia del entorno en los modelos de edificio con techo a dos aguas y cúbico (techo plano). La dirección del viento incidente forma un ángulo de 0° con la normal a uno de los lados. Coeficientes de presión obtenidos a partir de las experiencias llevadas a cabo por el C.S.T.B.

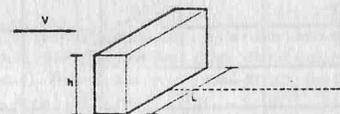
La reducción de los coeficientes de presión de todos los lados del edificio con techo a 2 aguas es del 58% cuando se lo somete a la acción de otras construcciones y un viento perpendicular (0°). Para el modelo con forma cúbica, se produce una reducción que varía entre el 38% para el frente a barlovento y 50% aproximadamente para los otros 3 lados. Estos % surgen de la comparación de los coeficientes medios de presión.

### ESTELA DE VIENTO

Además de la reducción de la velocidad del viento que se produce por rozamiento con la superficie de la tierra, existen otros factores que también contribuyen a su reducción. La presencia de obstáculos en la trayectoria del viento modifican su flujo dando un volumen de influencia llamado "estela de viento".

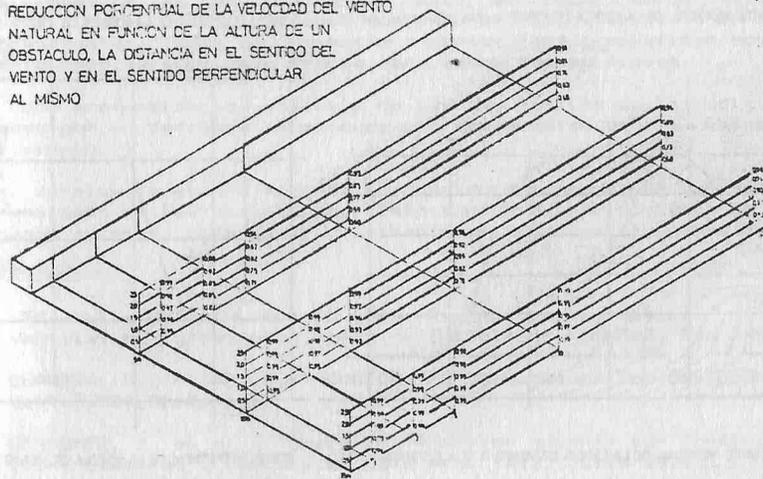
La modelización de las características del viento cuando se encuentra afectado por la presencia de un obstáculo es bastante complicada. No obstante, puede determinarse que el área de perturbación es 2 a 3 veces la altura del obstáculo en el sentido vertical y 10 a 20 veces en el sentido horizontal (1).

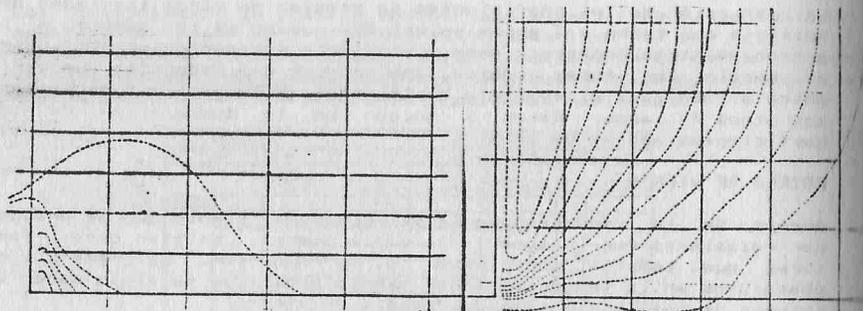
Correlacionando los valores encontrados para distintas relaciones de ancho, altura y distancia entre el obstáculo y el punto considerado, se pueden obtener curvas que representan la forma de la estela de viento con sus correspondientes velocidades reducidas.



Los gráficos siguientes muestran la distribución espacial de las velocidades reducidas como así también, la estela de viento en cortes horizontales (para alturas de 0, 0.5, 1, 1.5 y 2 veces h) y cortes verticales (para L = 1, 2.5, 5 y 10 veces h).

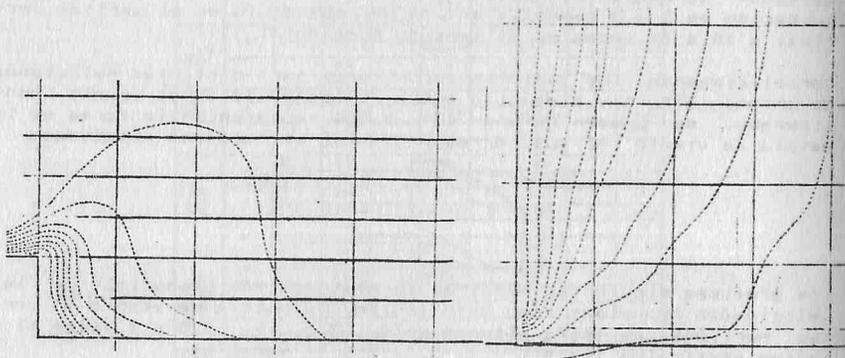
REDUCCION PORCENTUAL DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO NATURAL EN FUNCION DE LA ALTURA DE UN OBSTACULO, LA DISTANCIA EN EL SENTIDO DEL VIENTO Y EN EL SENTIDO PERPENDICULAR AL MISMO





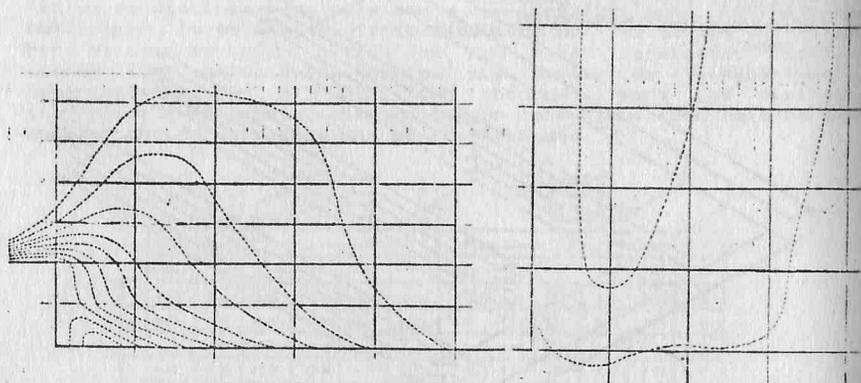
CORTE VERTICAL DE LA ESTELA DE VIENTO A UNA DISTANCIA  $L/h=1$

CORTE HORIZONTAL DE LA ESTELA DE VIENTO PARA  $0.0h$



CORTE VERTICAL DE LA ESTELA DE VIENTO A UNA DISTANCIA  $L/h=25$

CORTE HORIZONTAL DE LA ESTELA DE VIENTO PARA  $1.0h$



CORTE VERTICAL DE LA ESTELA DE VIENTO A UNA DISTANCIA  $L/h=10$

CORTE HORIZONTAL DE LA ESTELA DE VIENTO PARA  $2.0h$

## MODELO DE APROXIMACION

La ventilación en edificios depende principalmente de la velocidad del viento y de los coeficientes de presión que actúan sobre sus caras.

La velocidad del viento incidente sobre un centro urbano se calcula en base al modelo logarítmico de variación con respecto a la altura. Así obtenemos las velocidades a la altura de techo de los edificios.

Las dimensiones de cada edificio en forma aislada permite calcular la estela de viento que produce. De esta forma se genera una grilla espacial en donde cada vértice dentro de la estela, tendrá un porcentaje de reducción para la velocidad del viento. Este valor % puede convertirse en un factor de corrección del coeficiente de presión del edificio que se encuentra dentro de la estela de viento.

En principio, los edificios de acuerdo a su tipología (haciendo una clasificación simplificada) adoptan coeficientes de presión medios, obtenidos a partir de las experiencias realizadas sin la influencia del entorno.

## CONCLUSIONES

En medios urbanos, el acceso al viento está fuertemente condicionado por un conjunto de factores que configuran situaciones de particular complejidad. Resulta sin embargo necesario contar con una herramienta de evaluación que cuantifique el potencial de ventilación en edificios urbanos, aún cuando sea en forma aproximada.

Para ciertas geometrias y bajo determinadas condiciones de distribución de los edificios, las estelas de viento pueden ser superposiciones de las que tendrían en caso de estar solos (1). En general, estas configuraciones son para edificios ubicados en forma perpendicular, unos con respecto a otros. Para simplificar nuestro modelo consideramos este efecto para todos los edificios.

Se debe profundizar el análisis de las influencias de los edificios cuando por su cercanía se produce una aceleración de la velocidad del viento.

Las estelas de viento se reducen considerablemente con las menores dimensiones de los obstáculos. Esto concuerda con el hecho de que algunos autores, consideran un alcance de  $6h$  para viviendas bajas.

## REFERENCIAS

- 1- LEE, B.E.; HUSSAIN, M.; SOLIMAN, B. "Predicting Natural Ventilation Forces upon low-rise Buildings". ASHRAE. Feb 1980.
- 2- CHANDRA, S.; FAIREY P.; HOUSTON, M. "A Handbook For Designing Ventilated Buildings"
- 3- GARDOMER, J. et al. "Champ de Pression moyenne sur Constructions Usuelles". Cahiers du CSTB Nro. 1492. Julio 1978.
- 4- BROWN, G.Z. "Sun, Wind and Light".