



ASADES

Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente  
Vol. 9, 2005. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184

## ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL CAMPO DE VELOCIDADES DEL VIENTO EN TORNO AL MODELO REDUCIDO DE UNA VIVIENDA

A. Wittwer<sup>1</sup>, G. Alvarez y Alvarez<sup>1</sup>, H. Castro<sup>1</sup>, Darío Kaczaluba<sup>1</sup>, J. Marighetti<sup>1</sup>, M. De Bortoli<sup>1</sup>, I. De Paul<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Nordeste  
Av. Las Heras 727, CP 3500, Resistencia, Chaco. a\_wittwer@yahoo.es  
Tel. 03722-439039 – Fax 03722-420076

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta. Salta.  
Av. Bolivia 5150. (4400). Salta. depaul@unsa.edu.ar

**RESUMEN:** Este trabajo trata del relevamiento experimental del campo de velocidades del escurrimiento alrededor de una vivienda, baja, aislada y cerrada. El análisis se realiza utilizando un túnel de viento de pequeñas dimensiones sobre un modelo reducido construido con una escala 1/40 con relación a la vivienda. Se utilizó un flujo turbulento con distribución uniforme de velocidades medias del orden de los 16 m/s en la zona de ensayo. Los resultados obtenidos permiten caracterizar el campo de velocidades y la turbulencia para condiciones estacionarias, permitiendo identificar zonas con fenómenos aerodinámicos característicos que se generan en las inmediaciones de este tipo de estructuras (bajas y con aristas vivas). De esta manera se realizó la caracterización en diversos sectores, cercanos al recinto, de la componente longitudinal de altas frecuencias de las fluctuaciones de velocidad del escurrimiento medio (espectro micrometeorológico), pero debe advertirse que estos resultados no consideran las variaciones de las componentes de baja frecuencia (medias horarias, etc.).

**Palabras clave:** túnel de viento, turbulencia, modelo reducido.

### INTRODUCCIÓN

La acción del viento provoca una gran influencia en los procesos de disipación térmica que se producen en una vivienda y es por lo tanto un factor muy importante a considerar para la optimización de los recursos energéticos. Para el análisis de este problema es necesario conocer las características del escurrimiento medio y la turbulencia en las proximidades de la vivienda considerada. Estas características son muy diferentes de aquella que surge de considerar condiciones externas estáticas, escurrimientos externos suaves (con baja turbulencia) y también de las características del viento incidente

Estudios realizados con anterioridad, permitieron analizar los procesos de circulación que se establecen en el interior de recintos cerrados por acción de la convección natural y los coeficientes de transferencia térmica hacia el exterior en condiciones externas estáticas (De Paul, et al 1992; Hoyos y De Paul, 1994; De Paul y Vilte 1995, 1996; Vilte et al, 1998; Vilte y De Paul, 1997, 2000; De Paul, 2000). Los trabajos realizados consideran condiciones externas estáticas, es decir, masa de aire sin movimiento. En estos, se utilizaron técnicas de visualización de flujo en modelos a escala reducida en agua.

Se realizaron mediciones a escala real en una vivienda de estructura simple, que posee la Universidad de Salta en la localidad de Payogasta, en los valles calchaquíes, y simultáneamente, a partir de un convenio de cooperación firmado entre la UNSa y la UNNE, se desarrollaron ensayos a escala reducida en el túnel de viento de la UNNE para evaluar las condiciones de escurrimiento externas.

El entorno superficial del recinto está constituido por relieve topográfico de dimensiones tales que generan perturbaciones en el escurrimiento del viento atmosférico de fondo. Para realizar el estudio en un túnel de viento es necesario reproducir el escurrimiento atmosférico incidente sobre el recinto. Como las dimensiones de la edificación son sensiblemente inferiores a la topografía circundante, una de las principales dificultades consistió en analizar la estructura turbulenta del escurrimiento. Debido a que en la bibliografía no se especifican técnicas de reproducción del flujo en topografías complejas, en una primera etapa, se evaluaron las características del escurrimiento medio en torno a la edificación para determinar la influencia de dicha topografía en el mismo. Una vez obtenidos los perfiles de velocidades medias se comprobó que el modelado topográfico provocaba perturbaciones en el escurrimiento de fondo.

Posteriormente, se realizó el relevamiento de los parámetros correspondientes a la estructura turbulenta del escurrimiento. El objetivo fue analizar si la topografía circundante introducía desprendimientos de vórtices de tal magnitud que se detecten en los espectros, alterando o presentando picos de energía a frecuencias específicas, asociadas con vórtices producidos por la interacción del escurrimiento de fondo con la topografía. Este análisis aparece en trabajos publicados anteriormente (De Bortoli, et al 2004; Marighetti et al, 2003). A partir de los espectros obtenidos en las proximidades del emplazamiento de la vivienda, es posible establecer que no existen modificaciones significativas de la distribución frecuencial de energía de las fluctuaciones con respecto a lo que acontece en escurrimientos de capa límite. Como consecuencia, para simular físicamente los efectos del viento atmosférico que se producen en el recinto, es posible utilizar un escurrimiento turbulento y uniforme con velocidad media e intensidades de turbulencia del orden de las del viento atmosférico incidente. La utilización de un escurrimiento uniforme es factible debido a la escasa altura del recinto.

Durante el año 2004, fueron realizadas una serie de mediciones in situ para caracterizar la disipación térmica por acción del viento en la vivienda (De Paul, 2004). Se utilizaron cinco termoanemómetros TSI de hilo caliente ubicados en las proximidades del recinto. Los resultados obtenidos, además de la determinación de los coeficientes de transferencia convectiva, permitieron la caracterización de las velocidades medias del viento para la situación real de escurrimiento no estacionario.

En este trabajo se presentan los resultados del relevamiento de velocidades medias e intensidad de turbulencia del viento en torno al modelo reducido de la vivienda. Los experimentos fueron realizados en un túnel de viento de pequeñas dimensiones que permite generar escurrimientos turbulentos de capa límite y uniformes. En una serie de posiciones en torno al modelo se midieron perfiles de velocidades medias e instantáneas con el fin de obtener la configuración general del escurrimiento. A diferencia de las mediciones in-situ del trabajo citado anteriormente, estas mediciones permiten caracterizar la turbulencia del escurrimiento, cuyo análisis se simplifica en condiciones estacionarias.

## EQUIPAMIENTOS E INSTRUMENTAL

El lugar a donde se encuentra ubicada la vivienda a estudiar es Payogasta, a 147 Km. al OSO de la ciudad de Salta, a una altura de 2410 msn, en un cañadón orientado en la dirección este-oeste que desemboca sobre el río Calchaquí. En la fotografía de la Figura 1 se muestra la vivienda y una parte del relieve topográfico circundante. La descripción de las características relevantes desde el punto de vista aerodinámico fue realizada en un trabajo anterior (De Bortoli, et al 2004).

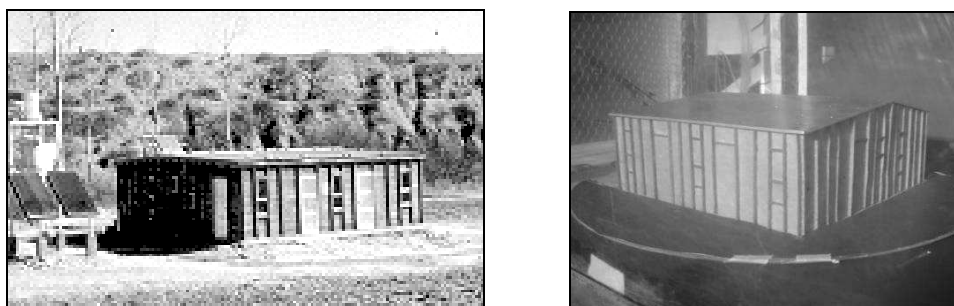


Fig. 1: Fotografía del recinto y del modelo ensayado.

Los experimentos se realizaron en el túnel de viento TV2 de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina (Alvarez y Alvarez et al, 2003). Es un túnel de circuito abierto cuya longitud total es de 7,50 m, su cámara de ensayos consiste en un conducto de sección cuadrada de 0,48 m de lado y de 4,45 m de longitud. La máxima velocidad del flujo en el canal vacío es aproximadamente 18 m/seg y emplea un ventilador centrífugo accionado por un motor trifásico de 1450 rpm y 10 CV de potencia.



Fig. 2: Vista del túnel de viento TV2 de la Universidad Nacional del Nordeste.

El modelo utilizado posee una planta cuadrada de 0,21 m de lado y una altura de 0,08 m, y fue construido empleando una escala 1/40 con respecto al recinto. La escala fue determinada de manera tal de evitar el bloqueo, con el fin de no generar perturbaciones del flujo uniforme y turbulento incidente sobre el recinto.

De acuerdo a las consideraciones expresadas en el punto anterior, el escurrimiento de fondo utilizado responde a las características de un viento uniforme y turbulento con una velocidad media de 16 m/s y una intensidad de turbulencia del orden del 5 %. La simulación del escurrimiento incidente se efectuó mediante grilla de malla cuadrada cuyas características fueron analizadas por Castro et al., 2003. El número de Reynolds ( $Re$ ) que se obtiene para esta velocidad de viento y considerando la altura del modelo como longitud de referencia, resulta aproximadamente igual a  $5,12 \times 10^5$ . Cabe señalar que la igualdad entre el  $Re$  del modelo y del prototipo puede relajarse para este tipo de estructuras angulosas, debido a que en estos tipos de cuerpos, el desprendimiento de la capa límite se produce en la aristas a barlovento para velocidades moderadamente pequeñas, lo cual no varía al aumentar la velocidad. (Meseguer et al, 2001)

El estudio experimental del campo de velocidades en torno al recinto consiste en un relevamiento de las componentes medias y fluctuantes de la velocidad del viento según la dirección dominante.

La caracterización en diversos sectores de la componente longitudinal de altas frecuencias de las fluctuaciones de velocidad del escurrimiento se efectuó mediante la determinación de la intensidad normalizada de la turbulencia. Este parámetro es una medida adimensional de la energía contenida en las fluctuaciones de velocidad y se lo define en la Ec. (1) como el cociente entre la desviación estándar de las fluctuaciones a una determinada altura  $\sigma_u(z)$ , y una velocidad de referencia  $u_{ref}$ . La velocidad de referencia considerada en la determinación de este parámetro fue la correspondiente a la máxima altura relevada en cada perfil.

$$I_u(z) = \frac{\sigma_u(z)}{u_{ref}} \quad (1)$$

Se realizaron mediciones de los perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia en las 24 posiciones indicadas en la Tabla 1. Para la medición de las velocidades se usó un anemómetro de hilo caliente DANTEC 56C a temperatura constante. Análisis previos de determinación de errores usando este tipo de instrumental en diversas situaciones de flujo arrojaron valores de error por debajo del 5 % en la adquisición de velocidades instantáneas. Siguiendo la práctica usual en mediciones en túneles de viento; una vez determinado el error no se realizan repeticiones en los ensayos.

## RESULTADOS

Los resultados se muestran en forma de perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia. Las mediciones fueron realizadas para dos direcciones de viento; paralela a la línea de la cumbrera y oblicua a 15°. En las figuras 3 y 4 son presentados, en forma esquemática, los perfiles de velocidad media correspondientes a la dirección de viento paralela, con el objeto de obtener una configuración general del escurrimiento. La figura 3 muestra los perfiles que se producen en distintas posiciones sobre la cumbrera, una de las aguas del techo y una de las paredes laterales. En la figura 4, a la izquierda, son mostrados un perfil a barlovento y dos a sotavento, uno de los cuales es horizontal. A la derecha se muestran una serie de perfiles verticales, en una vista lateral del modelo, correspondientes a la dirección que determina la línea de la cumbrera.

Modelo perpendicular a la dirección del viento				
Pos	Coordenadas (cm)			Dirección del perfil
	X	Y	Z	
1	28.00	-12.50	8.80	Z positivo
2	20.25	-12.50	8.80	Z positivo
3	20.25	-1.00	7.00	Z positivo
4	20.25	0.50	3.35	Y positivo
5	11.00	0.50	3.35	Y positivo
6	11.00	-1.20	7.00	Z positivo
7	11.00	-12.50	8.50	Z positivo
8	1.50	-12.50	8.50	Z positivo
9	1.50	-1.20	7.00	Z positivo
10	1.00	0.50	3.35	Y negativo
11	-3.50	8.00	3.35	Y negativo
12	-3.50	-12.50	1.00	Z positivo
13	-7.00	-12.50	3.00	Z positivo

Modelo rotado 15° en el plano XY (los ejes rotan con el modelo)				
Pos	Coordenadas (cm)			Dirección del perfil
	X'	Y'	Z'	
14	17.42	-20.04	7.67	Z positivo
15	17.22	-20.82	7.53	Z positivo
16	17.68	-19.08	7.85	Z positivo
17	18.56	-15.79	8.42	Z positivo
18	19.84	-12.50	8.50	Z positivo
19	11.34	-9.92	8.19	Z positivo
20	12.32	-6.25	7.75	Z positivo
21	9.67	-16.16	8.06	Z positivo
22	0.48	-15.50	7.99	Z positivo
23	-0.08	-19.96	6.64	Z positivo
24	2.04	-9.71	8.15	Z positivo

Tabla 1: Posiciones en las cuales se realizaron las mediciones de los perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia.

En la figura 5 se presentan, en detalle, los perfiles de velocidad media e intensidad de turbulencia correspondientes a la dirección paralela. A la izquierda están agrupados los perfiles verticales correspondientes a las posiciones 1, 2, 7, 8, 12 y 13 en la dirección de la cumbrera. En el centro de la figura se agrupan los perfiles verticales 3, 6 y 9 obtenidos sobre una de las aguas de la cubierta en una dirección paralela a la cumbrera, mientras que a la derecha se indican los perfiles horizontales 4, 5 y 10 correspondientes a una de las paredes laterales y medidos sobre una misma línea.

De igual manera, en la figura 6 son presentados los perfiles verticales de velocidad media adimensionalizada y los perfiles de intensidad normalizada de turbulencia para la dirección del viento oblicua a 15°. Los perfiles de velocidad media se adimensionalizaron empleando la misma velocidad de referencia  $u_{ref}$  empleada para la determinación de la  $I_u$ . A la izquierda son presentados los perfiles correspondientes a las posiciones 14, 15, 16, 17 y 18 ubicadas sobre un plano normal a la dirección del viento en la región más a barlovento de una de las aguas de la cubierta del modelo. En el centro se presentan los perfiles verticales 19, 20 y 21 obtenidos en la región central de la cubierta sobre un mismo plano normal a la dirección del viento. Por último, a la derecha de la figura se indican los perfiles verticales 22 y 23 ubicados sobre un mismo plano frontal a la dirección del viento en la región de sotavento de una de las aguas de la cubierta.

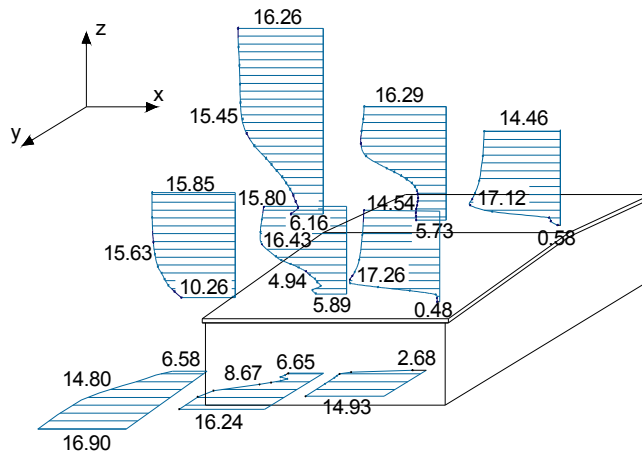


Fig. 3: Perfiles de velocidad media sobre el techo y una de las paredes laterales del modelo.

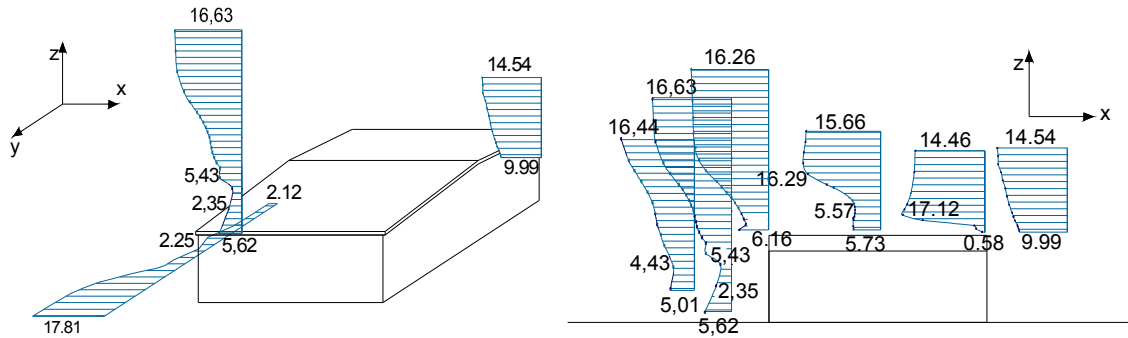


Fig. 4: Perfiles de velocidad media a barlovento y sotavento del modelo. Detalle de los perfiles en dirección a la cumbrera.

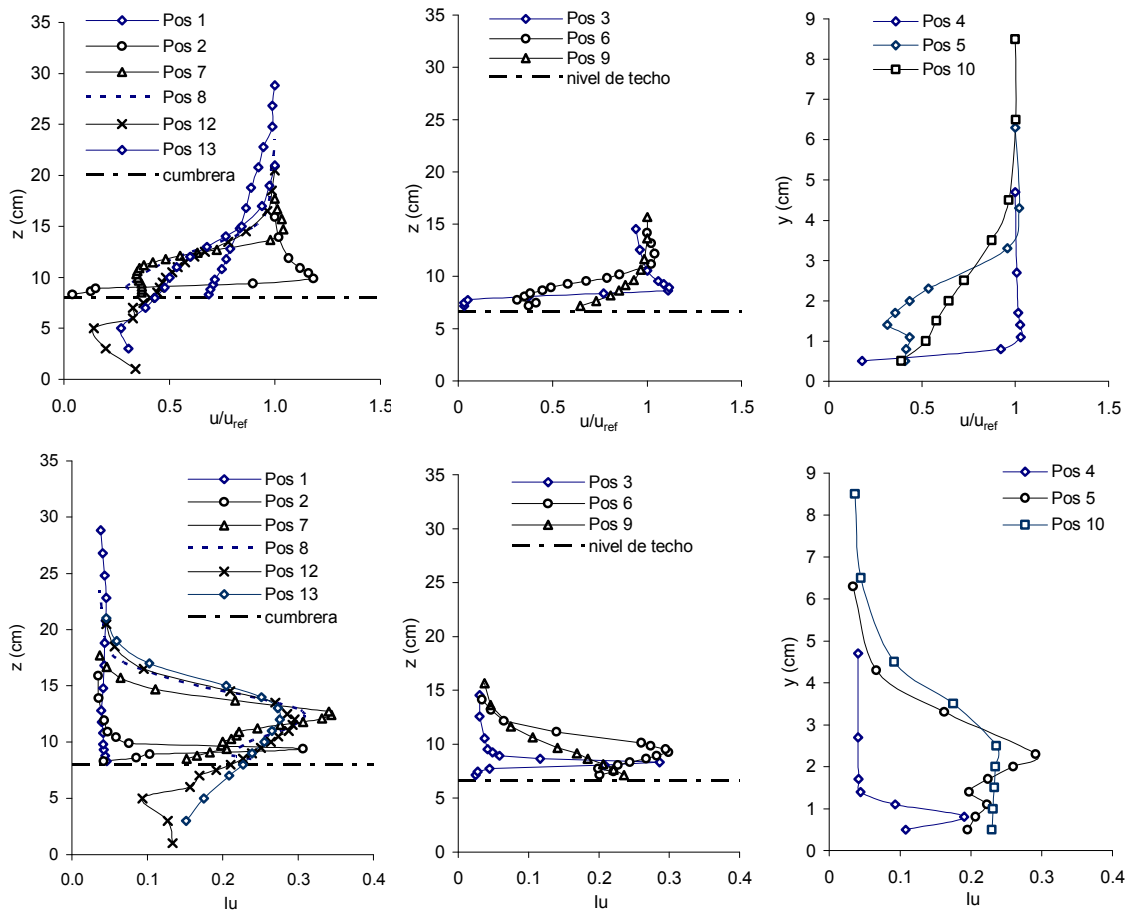


Fig. 5: Perfiles de velocidad media adimensionalizada y perfiles de intensidad normalizada de turbulencia en la dirección paralela a la línea de la cumbrera

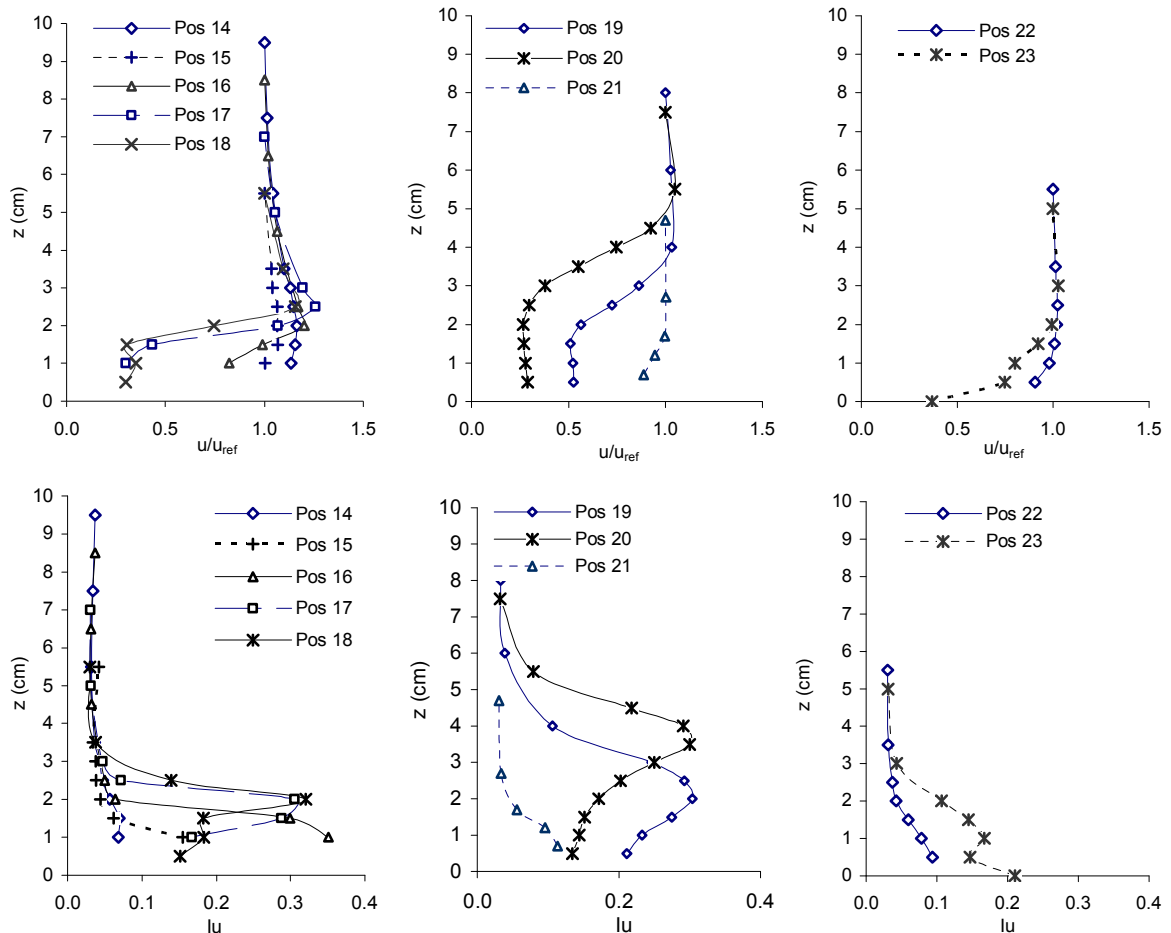


Fig. 6: Perfiles de velocidad media adimensionalizada y perfiles de intensidad normalizada de turbulencia en la dirección oblicua a  $15^\circ$ .

El análisis general de los resultados permite detectar regiones características que se producen en el escurrimiento en torno a cuerpos con aristas vivas entre los cuales se pueden mencionar los vórtices de base, punto de separación, líneas de desprendimiento de vórtices (vortex shedding) en la cubierta y paredes laterales, zonas de estelas y recirculación, vórtices de esquina (en caso de flujo incidente oblicuo), etc.

Experimentalmente es posible establecer los límites de la región de escurrimiento perturbada por el modelo analizando la ubicación de los puntos de máxima velocidad e intensidad de turbulencia, que determinan la línea de desprendimiento de vórtices, una zona de transición y la línea de separación con la zona no perturbada. Para el caso en que la dirección del viento es paralela a la línea de la cumbrera (figura 5) sobre la cubierta, la línea de desprendimiento de vórtices en la región de sotavento se ubica aproximadamente a 5 cm desde el techo mientras que la línea de máxima velocidad media se ubica aproximadamente a 7,5 cm. Con relación a las paredes laterales, la línea de desprendimiento de vórtices se ubica a 3 cm en tanto que la línea de máxima velocidad se ubica aproximadamente a 5 cm. En la zona a sotavento, posterior al modelo, se obtuvieron bajas velocidades medias y altos niveles de fluctuaciones característicos de zonas de estelas.

Cuando la dirección del viento es oblicua (figura 6), de manera general se repite el comportamiento observado en el caso anterior, a excepción de zonas muy localizadas, sensibles a los vórtices de esquinas. Las dimensiones generales de la zona perturbada son similares a las obtenidas con viento paralelo a la línea de la cumbrera. Es necesario aclarar que el análisis para esta dirección de viento se hizo solamente sobre la cubierta.

La gran alteración que provoca la presencia del modelo con relación a las características del flujo incidente se manifiesta a través de los niveles que alcanza la intensidad de turbulencia en la línea de desprendimiento de vórtices (35%) con relación al escurrimiento no perturbado (7%), y los niveles de velocidad que se reducen a valores inferiores a la mitad en las zonas perturbadas.

Es importante señalar que el análisis realizado anteriormente se apoya en dos tipos de experimentos que son complementarios. Por un lado las mediciones de velocidad e intensidad de turbulencia que permiten un análisis cuantitativo del escurrimiento, y por otro, una serie de ensayos de visualización con humo, cuyos resultados, si bien son cualitativos, facilitan la descripción y permiten diferenciar las zonas del escurrimiento. Las imágenes correspondientes a las visualizaciones no fueron incluidas en el trabajo porque su captura instantánea no es tan ilustrativa como la visualización secuencial a través de cintas de video.

## CONCLUSIONES

El objetivo del trabajo es la caracterización del escurrimiento turbulento en torno al modelo de la vivienda. Los resultados obtenidos permiten una adecuada descripción de los fenómenos característicos de este tipo de configuración aerodinámica y la disponibilidad de datos cuantitativos de los parámetros estadísticos de la turbulencia. De acuerdo a lo señalado en la introducción, estos resultados, a priori no pueden ser comparados a los que se obtuvieron en las mediciones in-situ dada la condición de estacionariedad y no estacionariedad con que fueron obtenidos. No obstante son resultados complementarios que permiten el enriquecimiento del análisis global del escurrimiento. Finalmente, es importante resaltar que estos resultados permiten ver la complejidad de la configuración de los escurrimientos turbulentos en torno a obstáculos con aristas vivas, aún en el caso del modelo de una construcción de forma geométrica simple y baja altura. De allí, la dificultad de implementar modelos numéricos que permitan una descripción fehaciente de este tipo de fenómenos aerodinámicos.

## REFERENCIAS

- Alvarez y Alvarez G., Castro H., Marighetti J., Wittwer A., De Bortoli M., Natalini M. B., "Canal de Aire de la Facultad de Ingeniería de la U.N.N.E.", Comunicación en la Revista de la Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente, (AVERMA), Vol. 8, Nº 2, 2004. Editado en CD-ROM.
- Alvarez y Alvarez G. M.; Castro H. G.; Wittwer A. R., Marighetti J. O., De Bortoli M. E.; Natalini M. B., Diseño y construcción de un canal de aire en la facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste, Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste, Octubre 2003.
- Castro H. G., Marighetti J. O., De Bortoli M. E., Natalini M. B., Modificación de la intensidad de turbulencia en el canal de aire de la U.N.N.E., Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Nacional del Nordeste, Octubre 2003.
- De Bortoli M. E., Marighetti J. O., Wittwer A. R., De Paul I. (2004). "Estudio experimental de las características del flujo turbulento correspondiente a un relieve topográfico en la provincia de Salta". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 8, Nº 2, pp 85-90.
- De Paul I. (2004). "Disipación térmica convectiva por acción del viento sobre una vivienda" Reunión de ASADES 2004.
- De Paul, I., V. Javi, G. Lesino. (1992). "The use of water models in the determination of convective heat transfer coefficients". Workshop on Material Science and Physics of Non Conventional Energy Sources. pp: 445-451. Buenos Aires.
- De Paul, I., M. Vilte. (1995). "Análisis de algunos factores que modifican la circulación en un recinto cerrado". Actas de 18a. Reunión de ASADES. San Luis.
- De Paul, I., M. Vilte. (1996). "Influencia de la pendiente del techo en la convección entre dos locales". Actas de 19a. Reunión de ASADES. Mar del Plata.
- De Paul, I. (2000). "Coeficiente de transferencia convectiva h en el interior de un destilador tipo batea". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 4, Tomo 1, pp.03.27-03.32.
- Hoyos, D., De Paul I. (1994). "Programa de captura de imágenes, procesamiento y cálculo para medición de velocidades en líquidos." Actas de la 17a. Reunión de ASADES. Tomo II pp: 683-688. Rosario. Octubre.
- Marighetti J. O., Wittwer A. R., De Bortoli M. E., De Paul I., Salvo N., Hoyos D., " Modelado de un relieve topográfico para estudios de escurrimiento atmosférico en túnel de viento", Revista de la Asociación Argentina de Energía Renovables y Ambiente, (AVERMA), Vol. 6, pp. 06.17-06.22, 2003.
- Meseguer J., Sanz A., Perales J. M. y Pindado (2001). Aerodinámica Civil, 1ª edición, pp. 208-210. McGraw-Hill, Madrid.
- Vilte, M., I. De Paul. (1997). "Análisis de la interacción térmica e hidrodinámica en un recinto cerrado producida por convección natural". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.1, Tomo 2, pp : 69-72.
- Vilte, M., I. De Paul, F. J. Fernández Mesa. (1998). "Transferencia térmica en un recinto cerrado producida por convección natural". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol.2, Tomo 1, pp :02.49.
- Vilte, M., I. De Paul. (2000). "Transferencia térmica por convección natural en un recinto cerrado en condiciones de equilibrio térmico y dinámico". Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 4, Tomo 1, pp.02.87-02.92.

**ABSTRACT:** This work is about the experimental measurement of the velocities field of the flow surrounding an isolated, cladding low-rise house. The analysis is performed on a reduced model built in a scale of 1/40 in regard with the house using a small wind tunnel. A turbulent flow with uniform mean velocity distribution, which was in an order of 16 m/s, was used in the test section. The obtained results allow characterizing the velocities field and the turbulence for stationary conditions, allowing the identification of areas with characteristic aerodynamic phenomena that are generated in the neighbourhood of this kind of structures (low-rise building with sharp edges). Therefore, it was characterized in each area the high frequency component of the velocity fluctuations (micrometeorology spectrum), though it must be noted that these results do not consider the low frequency variations (hourly means, etc.)

**Key words:** wind tunnel, turbulence, reduced model.