

## MODELADO DE UN RELIEVE TOPOGRÁFICO PARA ESTUDIOS DE ESCURRIMIENTO ATMOSFÉRICO EN TÚNEL DE VIENTO

Jorge O. Marighetti<sup>1</sup>, Adrián R. Wittwer<sup>1</sup>, Mario E. De Bortoli<sup>1</sup>  
Irene De Paul<sup>2</sup>, Nahuel Salvo<sup>2</sup>, Daniel Hoyos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste  
Av. Las Heras 727, (3500), Resistencia, Chaco [tunel@ing.unne.edu.ar](mailto:tunel@ing.unne.edu.ar)

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

**RESUMEN.** En este trabajo se analiza el modelado a escala reducida de un relieve topográfico y la incidencia que tiene en las características locales del viento atmosférico. En primer término se simula en túnel de viento un escurrimiento de fondo cuyas características se adecuan a las del viento atmosférico para ese tipo de terreno. El factor de escala de esta simulación define la escala geométrica del modelo topográfico, permitiendo reproducir en el túnel de viento las características que tienen relevancia aerodinámica. Finalmente se determinaron los perfiles de velocidades medias sobre una maqueta a escala del relieve a analizar, en los que se puede apreciar la influencia de la topografía en las características medias del viento. Estos resultados constituyen el primer paso de la evaluación necesaria para caracterizar al escurrimiento que se produce sobre este tipo de terrenos complejos.

**Palabras claves:** Túnel de viento, Relieve topográfico, Viento atmosférico.

### INTRODUCCIÓN

La acción del viento sobre un recinto cerrado es de sumo interés en el campo de las Energías Renovables por la incidencia que tiene en los procesos de disipación térmica y la optimización del empleo de los recursos energéticos. Desde este punto de vista interesa conocer las características de la estela producida por el viento debido a la presencia de un objeto tal como una vivienda por ejemplo y cómo se modifica dicha estela y la circulación interna del recinto debido a la energía térmica perdida por acción del viento, respecto de lo que se tiene en condiciones externas estáticas.

En trabajos anteriores se estudiaron las características de la circulación que se establece en el interior de recintos cerrados por acción de la convección natural (Hoyos y De Paul, 1994; De Paul y Vilte 1995, 1996; Vilte y otros, 1998; Vilte y De Paul, 1997, 2000) y los coeficientes de transferencia térmica hacia el exterior (De Paul, y otros 1992; De Paul, 2000), en condiciones externas estáticas. Para esto se emplearon modelos en agua a pequeña escala en los que se visualizó el flujo empleando trazadores e iluminación con láser. La siguiente etapa consiste en analizar cómo se modifican los patrones de circulación internos y los coeficientes de transferencia por acción del viento en el exterior de la estructura, para lo cual se empleará el túnel de viento de capa límite de la Facultad de Ingeniería de la UNNE en función de un convenio de cooperación firmado entre la UNSa y la UNNE.

Con el fin de contrastar los resultados que se obtengan empleando modelos a pequeña escala con lo que se observa a escala real se planteó la simulación de una vivienda de estructura simple, que posee la Universidad de Salta en la localidad de Payogasta, en los valles calchaquíes. El estudio se desarrollará en varias etapas comenzando con la determinación en túnel de viento del perfil de vientos propio de un terreno de características agrícolas; posteriormente se incorporará el relieve propio del lugar empleando una maqueta a escala, para lo cual se realizaron medidas y el relevamiento topográfico en la zona. De esta manera se puede determinar las características del viento que incide sobre la vivienda para analizar finalmente los procesos de disipación térmica.

En este trabajo se presentan los resultados de la primera etapa en la que se realizó una adecuada caracterización del escurrimiento en torno a la casa. En este caso en que la zona en la cual está emplazada la vivienda que se quiere estudiar presenta características topográficas particulares, es necesario en primer lugar simular un viento de fondo representativo del viento atmosférico sobre el terreno circundante y luego modelar la topografía que constituye el entorno al recinto.

En esta primera parte se realiza una descripción del relieve topográfico donde está emplazada la casa que se va a estudiar, se establecen las características del viento atmosférico de fondo utilizado en los ensayos y del modelo topográfico construido. Por

último se presentan los perfiles de velocidades medias medidos en torno al recinto y su comparación con el viento de fondo simulado.

### DESCRIPCIÓN DEL RELIEVE TOPOGRÁFICO

La vivienda a estudiar se encuentra emplazada en 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 se complementa con el esquema de la Figura 4. Las barrancas laterales tienen una altura que varía desde los 8m al norte hasta unos 20 m al sur, constituyendo un cañón natural de aproximadamente 90 metros de ancho y 400 metros de longitud, en cuyo extremo este está emplazada la casa, frente a la cual se extienden campos de cultivo. Los vientos predominantes en la zona son de la dirección N y NO, pero las características topográficas del cañadón modifican las condiciones del escurrimiento de manera que la dirección de incidencia del viento sobre la vivienda sea preferentemente desde el río, es decir, desde el oeste. En la región de barlovento, a partir de los vientos predominantes, existe un campo abierto que se extiende hasta el río Calchaquí. A sotavento del recinto existe otra barranca de aproximadamente 8 metros de altura.



Fig. 1: Fotografía del recinto y relieve topográfico circundante

### CARACTERÍSTICAS DEL TÚNEL DE VIENTO Y DEL VIENTO DE FONDO

Los trabajos serán desarrollados en el túnel de viento de capa límite Prof. Jacek P. Gorecki de la Universidad Nacional del Nordeste, que es de circuito abierto y tiene una cámara de ensayos de 2,40 m de ancho  $\times$  1,80 m de altura  $\times$  22,80 m de longitud. La velocidad máxima con el túnel en vacío es de 25 m/s y utiliza un ventilador axial de 2,25 m de diámetro accionado por un motor trifásico de 92 kw. y 720 rpm. La regulación de la velocidad se hace a través de un regulador de caudal mecánico (Wittwer & Möller, 2000).

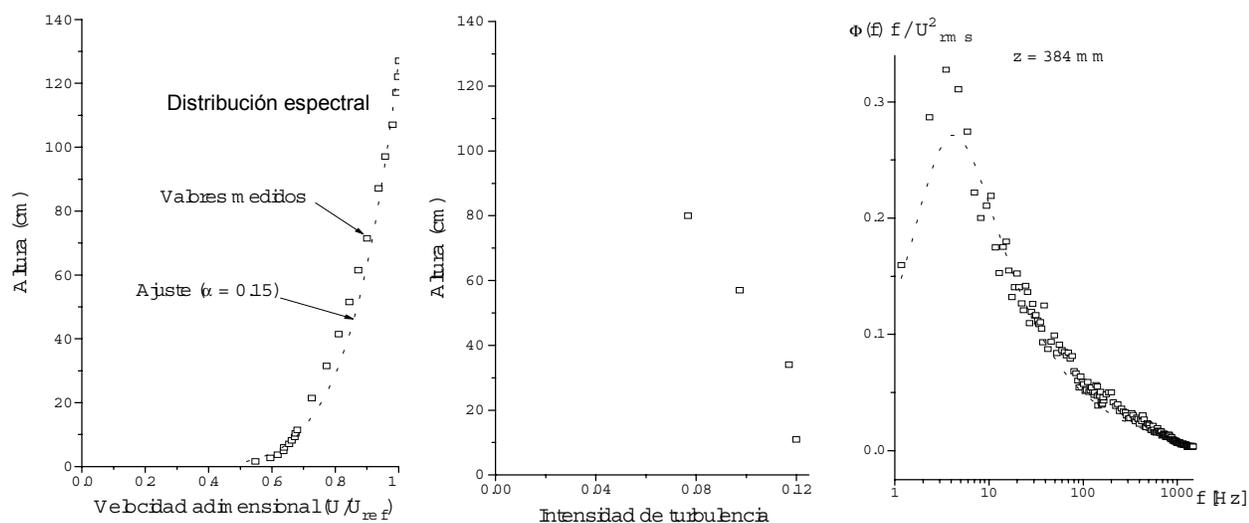


Fig. 2: Características medias y fluctuantes del viento de fondo

Para simular las características del escurrimiento en la capa límite atmosférica, que denominaremos viento de fondo, se utilizaron métodos de rugosidad superficial, barrera y dispositivos de mezcla (Standen, 1972). Los generadores de vorticidad son “aguja” de forma trapezoidal (De Bortoli et al, 2002). La distribución de las velocidades medias y de las fluctuaciones de velocidad del escurrimiento simulado se midieron utilizando un tubo de Pitot-Prandtl y un anemómetro de hilo caliente. Los resultados obtenidos de la evaluación de las características del viento de fondo son presentados en la Figura 2.

La distribución de velocidades medias se ajusta a la ley potencial con exponente  $\alpha = 0.15$  correspondiente a un terreno campo abierto con ondulaciones leves. Los valores medidos de la intensidad de turbulencia, relativamente bajos, son acordes a este tipo de terreno. Por último, la distribución espectral de las fluctuaciones de velocidad presenta un buen ajuste a la expresión teórica del espectro atmosférico propuesta por ESDU (Blessmann, 1995). La comparación del perfil de velocidades medias, espectros y de las respectivas macroescalas, a partir del método propuesto por Cook (1978), permitió obtener un factor de escala de simulación de 1/150.

### DESCRIPCIÓN DEL MODELO DEL RELIEVE TOPOGRÁFICO

El modelo se construyó con una escala geométrica de 1/150, en correspondencia con el factor de escala de simulación del viento de fondo. En la fotografía de Figura 3 se muestra el modelo del relieve topográfico en la cámara de ensayo del túnel de viento. Al fondo se observa parte del equipamiento de simulación del viento incidente y, sobre el modelo, el dispositivo de posicionamiento del tubo de Pitot-Prandtl utilizado para medir velocidades.

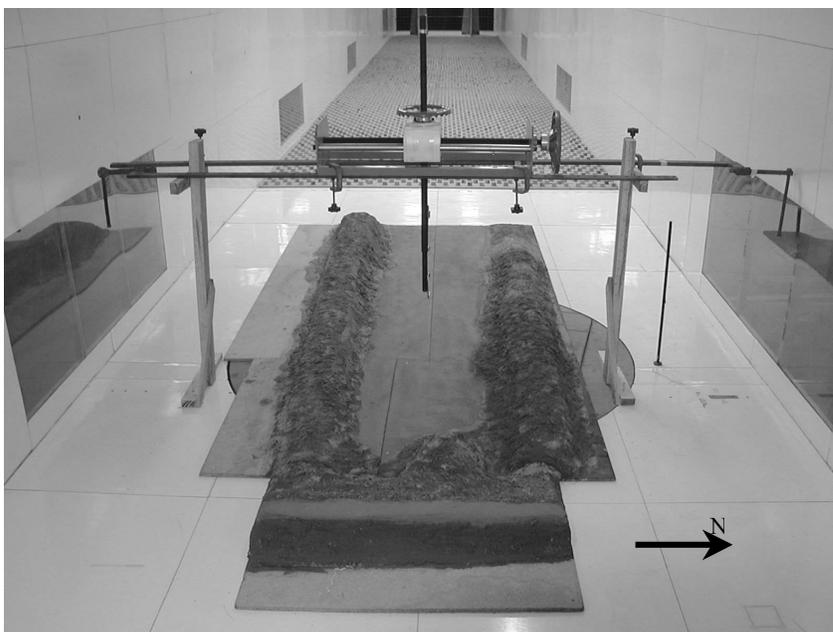


Fig. 3: Fotografía del modelo en el interior de la cámara de ensayo del túnel de viento

### RELEVAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ESCURRIMIENTO MEDIO SOBRE EL RELIEVE TOPOGRÁFICO

Para analizar las características del escurrimiento en las proximidades de la casa se midieron perfiles de velocidad media en los puntos 1 (al norte), 2 y 3 (al sur) de la Figura 4, ubicados sobre la misma línea transversal a 30 cm de distancia entre sí. Los resultados son mostrados en las Figuras 5, 6 y 7, que corresponden respectivamente a las direcciones de viento incidente de  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  y  $-15^\circ$ . En las figuras, los laterales derecho e izquierdo están referidos a la figura 3 y corresponden a los lados norte y sur respectivamente, del cañadón.

Cuando el viento incide con ángulo de  $0^\circ$  no se observan perturbaciones en los perfiles de velocidades medidos respecto del viento de fondo. Para la dirección de  $-15^\circ$  es posible apreciar una modificación del perfil correspondiente a la posición 1 ubicada a sotavento del cerro lateral derecho (Figura 4) que es el de menor altura. Hasta una altura de unos 25 m la velocidad es más alta mientras que entre 25 m y 100 m la velocidad es más baja que la correspondiente al viento de fondo. Las medidas en las posiciones 2 y 3 no se modifican apreciablemente.

Para la dirección de  $15^\circ$ , las perturbaciones que se registran en el perfil de la posición 3 son más intensas, produciendo valores más altos de velocidad hasta una altura de unos 50 m y valores más bajos entre 50 m y 175 m. Los efectos de estas perturbaciones

se extienden también a las posiciones 2 y 1 produciendo valores de velocidad ligeramente más bajos en el rango de 50-100 m de altura. Estos resultados son acordes a la diferencia de alturas entre los cerros laterales.

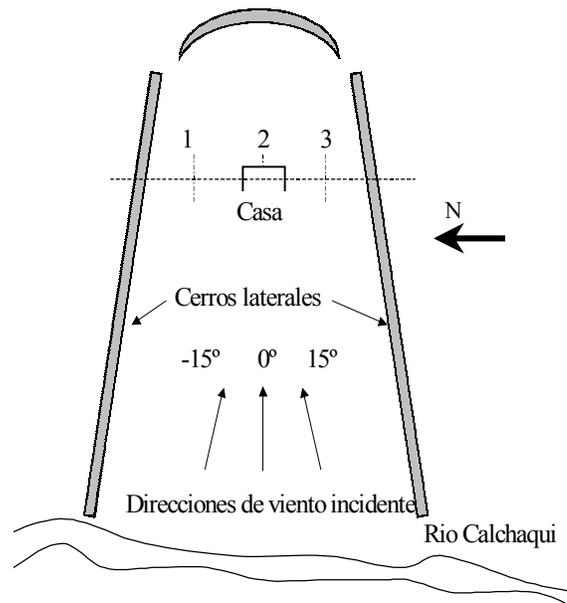


Fig. 4: Esquema del relieve topográfico, dirección del viento incidente y ubicación de los puntos de medición

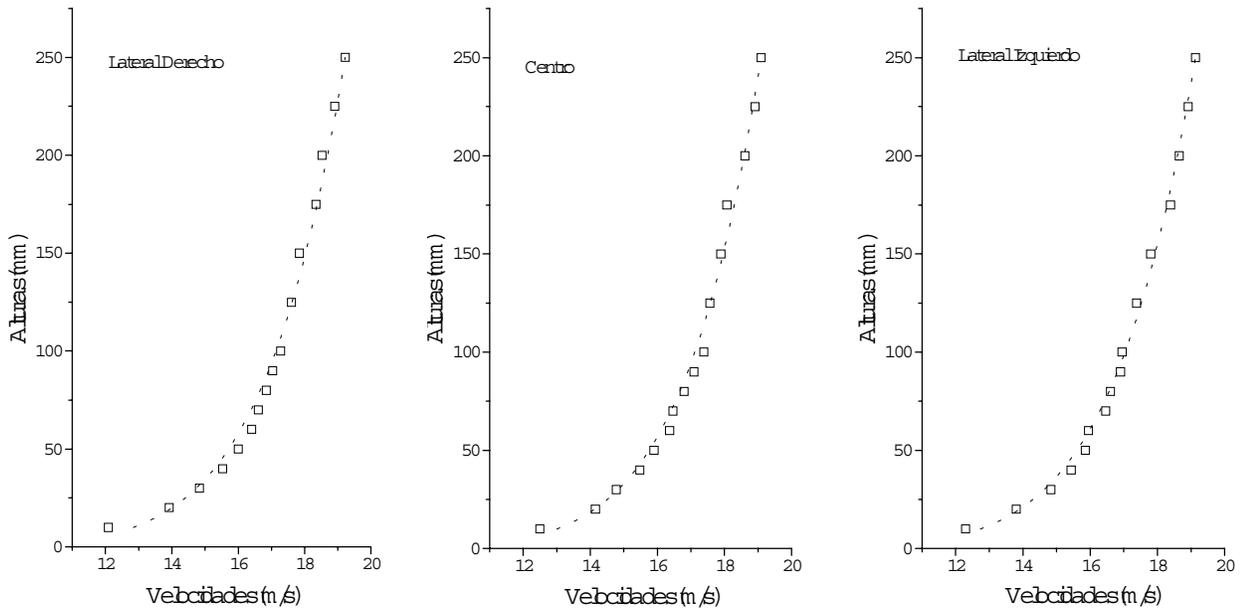


Fig. 5: Perfiles de velocidad media en los puntos 1, 2 y 3 con viento incidente a 0°

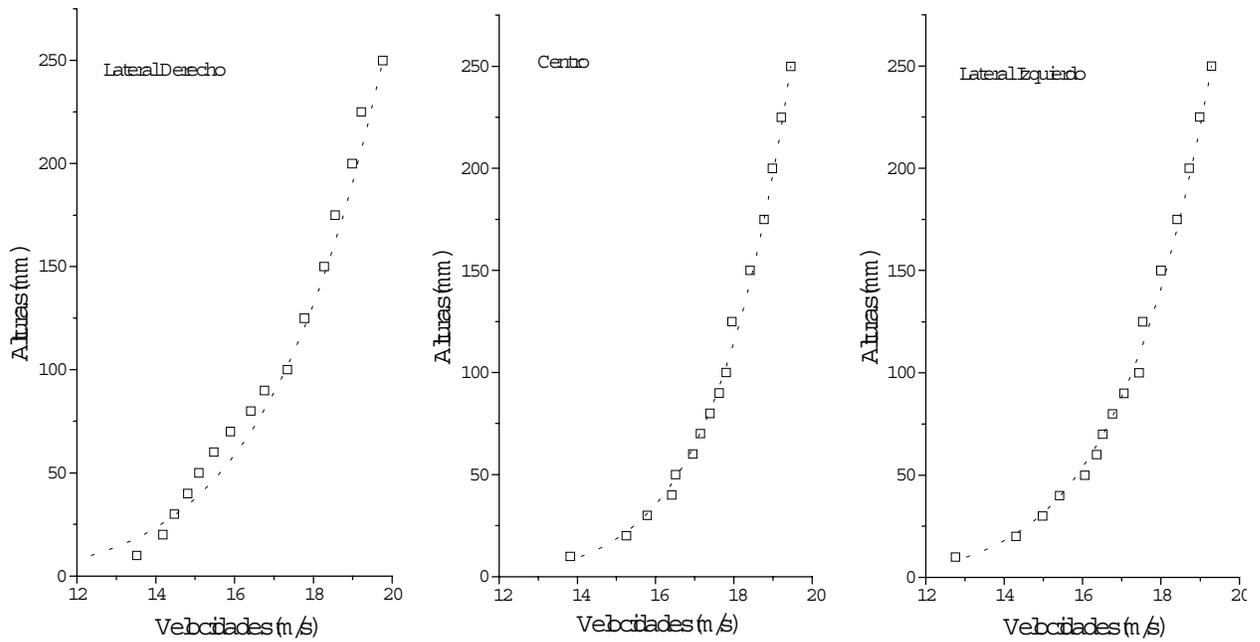


Fig. 6: Perfiles de velocidad media en los puntos 1, 2 y 3 con viento incidente a  $-15^\circ$

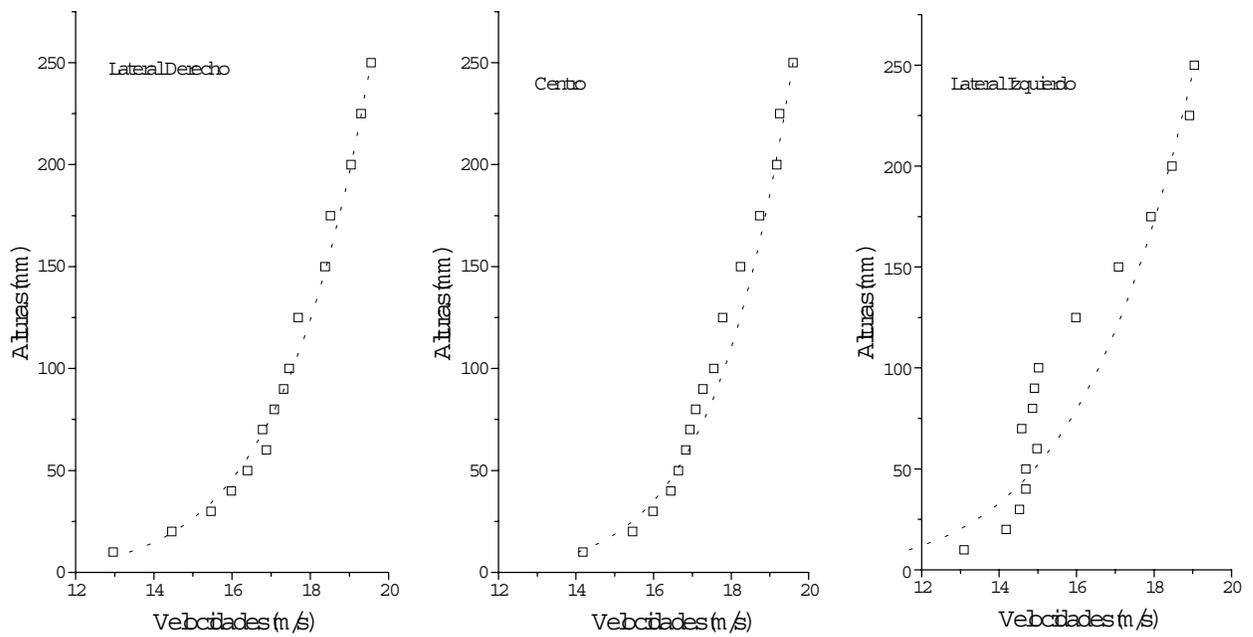


Fig. 7: Perfiles de velocidad media en los puntos 1, 2 y 3 con viento incidente a  $15^\circ$

## CONCLUSIONES

El objetivo de esta primera etapa del trabajo fue determinar la distribución de velocidades medias en la zona donde se ubicaría la casa que se pretende estudiar, considerando las perturbaciones introducidas por el relieve topográfico. Para tal fin fue necesario determinar cuidadosamente la escala del modelo del relieve, y a partir de ello, caracterizar el viento atmosférico de fondo, a partir de un modelo físico cuyo factor de escala sea acorde a la escala del modelo.

Este análisis permitió determinar una simulación del viento de fondo cuya escala es 1/150 y las características obtenidas se adecuan a los datos atmosféricos. El modelo del relieve topográfico fue construido con la misma escala y, sobre ese modelo, fueron relevados los perfiles de velocidad media en correspondencia con la posición de la casa.

Los resultados obtenidos para tres direcciones de viento incidente, en correspondencia con la dirección preponderante de los vientos en la zona, permiten determinar en qué medida se altera el viento de fondo ante la presencia de los obstáculos topográficos relevantes. Para completar este análisis deben ser relevados los parámetros que describen la turbulencia del escurrimiento en esta zona.

El relevamiento completo permitirá definir las características del viento incidente que deberán ser reproducidos en un nuevo modelo con una escala mayor a la anterior, destinado al análisis específico de la disipación térmica producido en la vivienda por acción del viento atmosférico. Este nuevo modelo no incluirá la reproducción física del relieve topográfico, pero su influencia estará contemplada por las características del nuevo escurrimiento generado. La mayor escala del nuevo modelo permitirá reproducir con mayor nivel de detalle la geometría de la casa y todos los procesos físicos que se ven afectados por ella.

**ABSTRACT.** The small scale modeling of a topographic relief and the incidence it has on the local characteristics of the atmospheric wind is analyzed. An airflow is simulated whose characteristics fit those of the atmospheric wind for that kind of terrain. The scale factor of the simulation defines the geometric scale of the topographic model, allowing to reproduce the relevant aerodynamic characteristics inside the wind tunnel. Mean velocities profiles over a small scale model of the relief to be analyzed were determined that show the influence of the topography on the mean values of the wind. These results are the first steps toward the characterization of the flow that set up on these complex terrains.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Hoyos, D., I. De Paul. (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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Blessmann, J. (1995), "O Vento na Engenharia Estrutural", Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, Brasil.
- Cook, N. J. (1978), "Determination of the Model Scale Factor in Wind-Tunnel Simulations of the Adiabatic Atmospheric Boundary Layer", Journal of Industrial Aerodynamics, vol. 2, pp. 311-321.
- De Bortoli, M., Natalini, B., Paluch, M. J., Natalini, M. B. (2002), "Part-Depth Wind Tunnel Simulations of the Atmospheric Boundary Layer", Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, vol. 90, pp.281-291.
- Standen, N. M. (1972), "A Spire Array for Generating Thick Turbulent Shear Layers for Natural Wind Simulation in Wind Tunnels", National Research Council of Canada, NAE, Report LTR-LA-94.
- Wittwer, A. R., Möller, S. V. (2000), "Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE", Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 84, pp. 307-320.