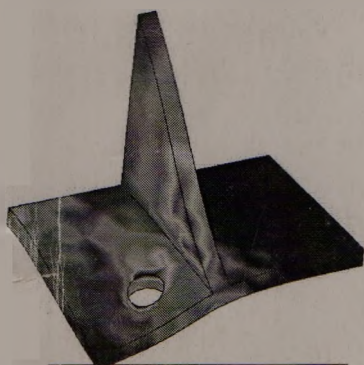


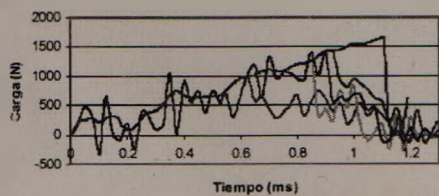
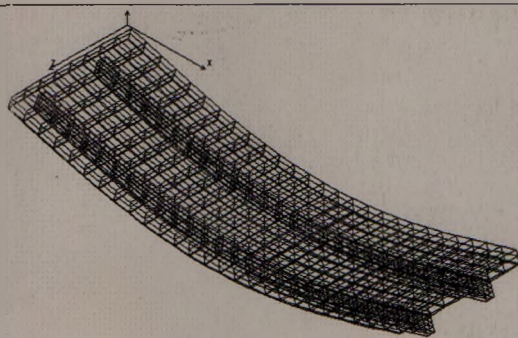


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

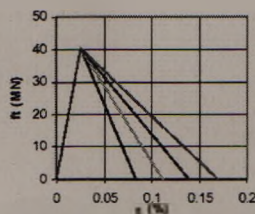


Contour Plot of NODAL V. MISES
Deformation (x100): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

2^{DA} JORNADA DE COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PARA INGENIERÍA 2004



— Gf = 2160 N/m — Gf = 3240 N/m — Gf = 5400 N/m
— Gf = 4250 N/m (DF) — Ens. Laboratorio



— Gf = 2160 — Gf = 3240
— Gf = 5400 — Gf = 4250

Reproducción de flujos de capa límite en túnel de viento TV2 de la Facultad de Ingeniería de la UNNE.

Alvarez y Alvarez, Gisela M., Wittwer, Adrián R., Natalini, Mario B.
Facultad de Ingeniería, (UNNE) C.P. 3500 – Resistencia – Chaco - Argentina
Tel. 03722 - 439039 E-mail: tunel@ing.unne.edu.ar

Antecedentes

Simular la capa límite atmosférica en un túnel de viento consiste en desarrollar un modelo físico del flujo turbulento atmosférico de manera tal que los parámetros que lo caracterizan se reproduzcan lo más fielmente posible dentro del túnel.

La simulación constituye una herramienta en la resolución de diversos problemas en la ingeniería, como los son; la determinación de la acción del viento sobre estructuras, análisis de la dispersión atmosférica, estudios de confort entre otros. Esta técnica permite representar las condiciones que se darían en la realidad empleando modelos a escala reducida.

Para realizar una adecuada simulación de la capa límite atmosférica se deben reproducir el comportamiento del flujo de los vientos naturales dentro de la misma, esto implica lograr una reproducción apropiada de la distribución de la velocidad media en función de la altura y de ciertos parámetros turbulentos.

Debido a la necesidad de obtener un viento con propiedades de la turbulencia representativas de la atmósfera real, se han desarrollado varios métodos de simulación; uno de ellos consiste en emplear túneles de viento con secciones de trabajo extremadamente largas, con un piso rugoso con bloques o grava. La capa límite resultante tiene propiedades de turbulencia muy cercanas a la de una atmósfera neutralmente estable, este método tiene la desventaja de que la sección de ensayos debe ser de casi 30 metros de longitud para generar una capa límite de 0,9 m a 1,2 m de espesor. Como lo que se necesitaba era generar una capa límite atmosférica en una sección de ensayos de menor longitud, se probaron distintos dispositivos, como barras horizontales o verticales, grillas, entre otros y si bien algunos de éstos reprodujeron exitosamente el perfil de velocidades medias, la escala de la turbulencia obtenida era muy pequeña (Campbell y Standen, 1969). Standen (1972) determinó que, en general, las agujas proveen una buena aproximación del viento atmosférico por debajo de los 450 metros de altitud, cuando se considera atmósfera neutralmente estable o velocidades del viento elevadas y establece la adición de rugosidad distribuida en el piso del túnel de viento a sotavento de las agujas con una placa separadora fina triangular del lado sotavento de la aguja. El empleo de agujas combinadas con elementos rugosos colocados en el piso del túnel es aconsejable ya que origina perfiles de velocidad adecuados y produce grandes escalas de turbulencia que coinciden con las registradas en la capa límite atmosférica.

El objetivo del presente trabajo es la implementación y el análisis de dos simulaciones de capa límite atmosférica neutralmente estable; una de espesor total y una

de espesor parcial, para un terreno de la categoría IV de la norma NBR-6123/1988, correspondiente a una categoría de exposición B del Reglamento argentino CIRSOC 102, utilizando las expresiones de Irwin para el diseño de los simuladores. Se presentan a demás los resultados obtenidos en los escurrimientos de capa límite que se generan a partir de la superficie lisa del túnel y con el simple agregado de rugosidad. Los resultados obtenidos describen la mejora en el desarrollo del flujo de aire obtenida al emplear la última técnica de simulación.

Materiales y métodos

Los experimentos se realizaron en un segundo túnel de viento (TV2) recientemente diseñado 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 1450 rpm y 10 CV de potencia.

Para la reproducción de la capa límite atmosférica se optó por la combinación de elementos de rugosidad con el modelo de aguja sugerido por Irwin (1981). La aguja empleada consiste en una placa triangular muy esbelta, normal al flujo; la cual tiene adherida en la cara a sotavento una placa triangular de refuerzo, tal como se observa en la Figura 3.

Para el dimensionamiento de la rugosidad se partió de expresiones que Counihan (1969) determinó experimentalmente.

Para el dimensionado de las agujas se utilizaron las expresiones propuestas por Irwin (1981), quien llegó a ellas planteando un balance de momento en la sección de ensayos asumiendo que a barlovento de las agujas existe un flujo uniforme y que en algún punto a sotavento de las agujas se determina una capa límite de espesor δ con un perfil de velocidad que cumple con la ley potencial. La ley potencial se define como:

$$\frac{U}{U_{\delta}} = \left(\frac{z}{\delta} \right)^{\alpha} \quad (1)$$

Donde, U es la velocidad a la altura z , U_{δ} la velocidad para $z \geq \delta$, y α es el exponente de la ley potencial. El déficit de flujo de momento en la capa límite y la caída de presión a lo largo de la cámara de ensayo se balancean con el arrastre de las agujas, incluyendo el efecto de bloqueo y el arrastre de la rugosidad del suelo. El resultado es una expresión que permite determinar el área de un conjunto de agujas necesarias para producir una capa límite con los valores de α y de δ requeridos.

Con información empírica adicional, como el coeficiente de arrastre de las agujas y la relación entre la altura de la aguja y la profundidad de la capa límite, se obtuvieron expresiones que relacionan la altura h de la aguja con el ancho b de la base de la misma. Estas dimensiones posibilitarán el desarrollo de la capa límite requerida a una distancia

de 6 h a partir del conjunto de agujas. La distancia de 6h se encontró que es suficiente para asegurar la uniformidad lateral del flujo cuando las agujas están distanciadas, de eje a eje, a intervalos de h^2 (Standen).

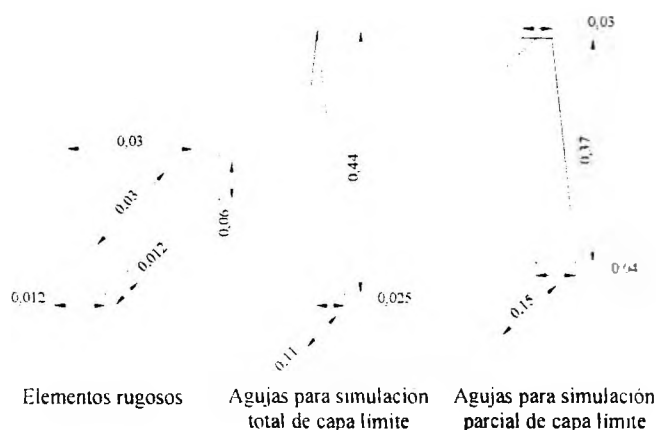


Figura 1. Dimensiones de los simuladores

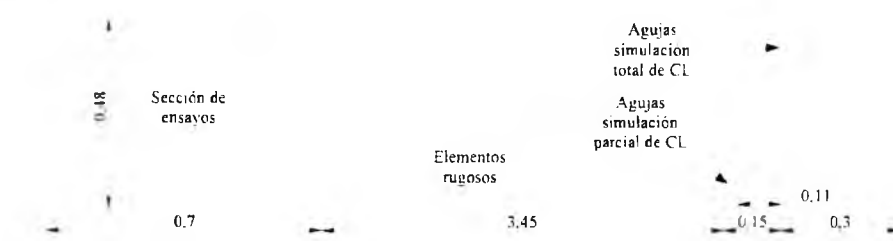


Figura 2. Disposición de los elementos simuladores de la capa límite atmosférica y desarrollo del perfil de velocidades en el túnel

El tipo de viento que se desea reproducir corresponde a un terreno de categoría IV, conforme a la definición de la norma NBR- 6123/1988, correspondiente a una categoría de exposición B del Reglamento argentino CIRSOC 102: terreno cubierto por numerosos obstáculos y poco espaciados en zona forestal, industrial o urbanizada. En esta categoría se encuentran ciudades pequeñas y sus alrededores, áreas industriales, etc. La cota media de los obstáculos es igual a 10 m. Esta categoría también incluye obstáculos mayores y que aún no puedan ser considerados en la categoría V. De acuerdo a la tabla 3.1 de la citada Norma y para la categoría analizada resultan $\alpha = 0.25$, $Z_0 = 0.7$

a 1 m y $Z_g = 420$ m. Se tuvo en cuenta también que según Counihan (1969), $Z_g = 600$ m. A su vez se adoptó como intervalo de validez para α : 0,23 a 0,28. El espesor de capa límite $\delta = 6h = 0,36$ m, a una distancia $6h$ a sotavento de las agujas, se estableció luego del análisis de los resultados obtenidos del relevamiento del túnel en vacío (Castro et al, 2003), de manera tal que no se vea influenciada por la capa límite natural que se genera en el techo del canal.

La diferencia entre las agujas empleadas en la simulación de espesor total y parcial de capa límite radica en que estas últimas fueron calculadas de manera tal de obtener el máximo espesor de capa límite en el canal y se encuentran truncadas a una altura tal que no interfiera con la capa límite natural generada en el techo del túnel. Las dimensiones de las agujas, generadoras de turbulencia, se determinaron empleando las expresiones citadas por Irwin (1989), resultando los valores indicados en las Figuras 1 y 3.

Siguiendo el procedimiento sugerido por Counihan (1969), se adoptaron como elementos rugosos, prismas de base cuadrada de 0,012 m de lado y de 0,009 m de altura, distribuidos al tresbolillo como se ve en las Figura 1 y 3. La disposición de los elementos rugosos y de los simuladores en el canal se indica en la Figura 3.

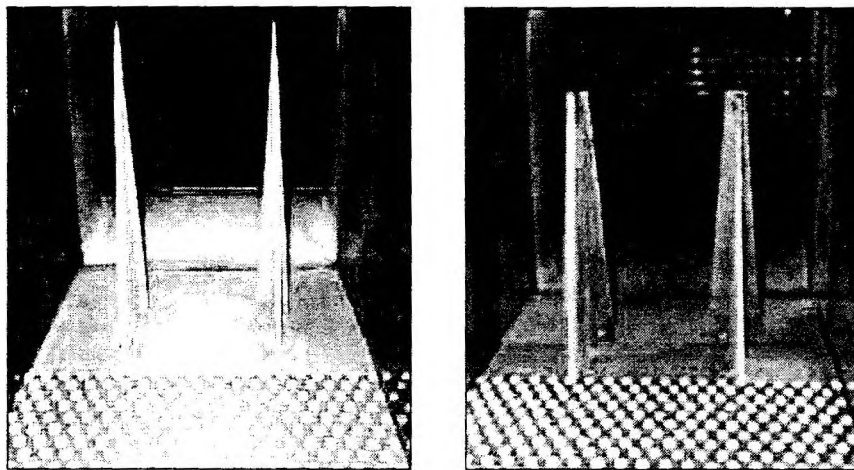


Figura 3. Vista de los elementos simuladores en el túnel, a la izquierda se aprecian las agujas de Standen que en conjunto con los elementos rugosos reproducen una capa límite atmosférica de espesor total, y a la derecha se ven las agujas truncadas que permiten junto con la rugosidad una simulación parcial de la capa límite atmosférica.

El perfil de velocidades medias, determinado por la variación de la velocidad con la altura, permite caracterizar la capa límite atmosférica en función del tipo de terreno sobre el cual se desarrolla el flujo. Las ecuaciones de cantidad de movimiento en fluidos permiten obtener la ley de defecto de velocidades y la ley de la pared, y ambas definen un perfil logarítmico para el viento atmosférico, similar al que tenemos en

superficies rugosas pero aplicado al problema meteorológico, el cual queda definido mediante la Ecuación 2.

$$\frac{U}{u^*} = \frac{1}{k} \ln \frac{z - z_d}{z_0} \quad (2)$$

Donde, U es la velocidad media, u^* es la velocidad de fricción, k es la constante de von Kármán la cual se considera igual a 0,4; z_0 es la altura de rugosidad y z_d el desplazamiento del plano de referencia; z_0 y z_d se determinan realizando un ajuste de la función definida por la Ecuación 2.

Resultados

Se realizó un relevamiento del perfil vertical de velocidades en el centro de la sección transversal en la mesa de ensayos ubicada a 2,57 m del inicio de la cámara, empleando en primer lugar, solo elementos rugosos, a continuación elementos rugosos y agujas de simulación total de capa límite atmosférica y finalmente elementos rugosos en combinación de agujas de simulación parcial de capa límite atmosférica. Para ello se utilizó un tubo de Pitot – Prandtl y un micromanómetro tipo Betz. Los resultados obtenidos se detallan en la Figura 4.

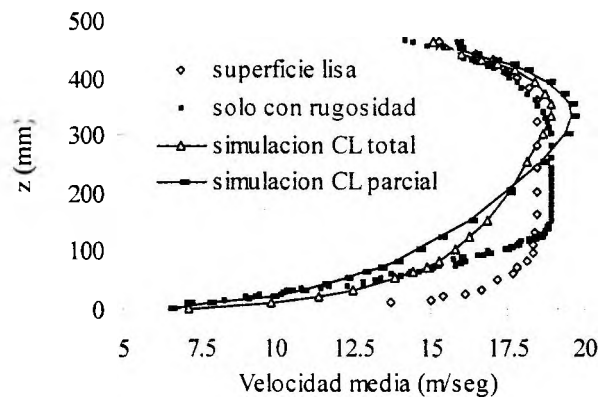


Figura 4. Comparación de los perfiles de velocidades medias obtenidos.

A continuación se realizó el ajuste de los perfiles de velocidades medias obtenidos, en la simulación parcial y total de capa límite, a las leyes potencial y logarítmica, definidas por las Ecuaciones 1 y 2, determinándose en cada caso los parámetros de

ajuste, lo cual permitió verificar la hipótesis planteadas al diseñar los simuladores. Los resultados obtenidos se indican en la Figura 5.

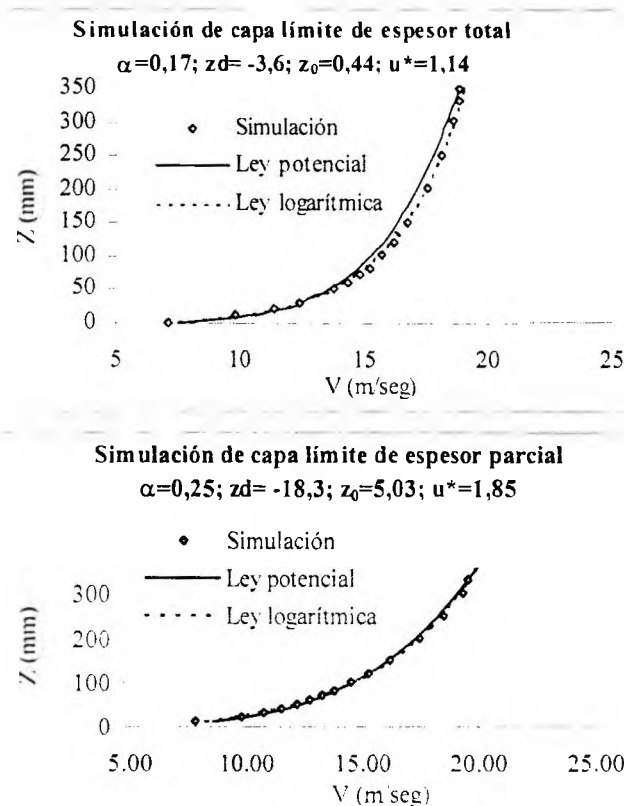


Figura 5. Ajuste a las leyes potencial y logarítmica de los perfiles de velocidad media generados en la simulación total y parcial de capa límite.

Discusión de resultados

En la Figura 4 se ve el gradual crecimiento que experimenta la capa límite al incorporar los elementos simuladores, llegando a una altura de aproximadamente 0.33 m; en los casos de simulación de capa límite, la cual representa un aprovechamiento del 69 % de la sección de ensayos. En esta Figura se observa también que la velocidad máxima, igual a 19.6 m/seg, se alcanza para el caso de simulación de espesor parcial de

capa límite. Por otra parte, de acuerdo a lo indicado en la Figura 5 el ajuste a la ley potencial de ambos perfiles es acertado, sin embargo no sucede lo mismo con el ajuste a la ley logarítmica en el cual se logra una mejor aproximación en el caso de simulación parcial de capa límite.

Conclusiones

El trabajo apunta a la caracterización experimental de los escurrimientos de capa límite turbulenta en un túnel de viento. Los perfiles de velocidad media obtenidos en la capa límite sobre superficie lisa y rugosa, permiten apreciar la diferencia de espesor de capa límite generado de esta forma y cuando se agregan generadores de vorticidad tipo aguja. En el caso de la simulación total de la capa límite atmosférica, el ajuste a la ley potencial determina un exponente de 0.17, correspondiente a un terreno suburbano, mientras que en la simulación parcial el exponente es de 0.25, correspondiente a un terreno categoría B (Cirsoc 102).

En cuanto a la verificación de las hipótesis planteadas, es posible ver que solamente la simulación parcial las cumple ya que el valor del exponente α está dentro del rango establecido al momento del diseño de las agujas. Bajo estas condiciones se estaría simulando un viento correspondiente a un terreno cubierto por numerosos obstáculos y poco espaciados en zona forestal, industrial o urbanizada.

El análisis experimental hasta aquí realizado, contempla solamente la determinación de valores medios en los escurrimientos. En un trabajo complementario, se analizan los valores fluctuantes que permiten caracterizar la turbulencia de los escurrimientos y permite establecer comparaciones de escalas de turbulencia y espectros atmosféricos.

Referencias

Alvarez y Alvarez, Gisela M.; Castro, Hugo G.; Wittwer, Adrián R.; Marighetti, Jorge O.; De Bortoli, Mario E.; Natalini, Mario B. (2003) "Diseño y construcción de un canal de aire en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste" Jornadas de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Castro, Hugo G.; Alvarez y Alvarez, Gisela M.; Wittwer, Adrián R.; Marighetti, Jorge O.; De Bortoli, Mario E.; Natalini, Mario B. (2003) "Relevamiento en vacío del nuevo canal de aire de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Nordeste" Jornadas de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Castro, Hugo G.; Marighetti, Jorge O.; De Bortoli, Mario E.; Natalini, Mario B. (2003) "Relevamiento en vacío del nuevo canal de aire de la Facultad de Ingeniería de

la Universidad Nacional del Nordeste” Jornadas de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional del Nordeste, Argentina.

Campbell, G. S. y Standen, N.M. Progress report ii on simulation of earth's surface winds by artificially thickened wind tunnel boundary layers, 1969.

Counihan, J. “A method of simulating a neutral atmospheric boundary layer in a wind tunnel”, central electricity research laboratories, Surrey. N° 48, 1969.

Irwin, H.P.A.H. “The design of spires for wind simulation”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, (1981) 361-366.

Standen, N. M. "A spire array for generating thick turbulent shear layers for natural wind simulation in wind tunnels"; Report of National Aeronautical Establishment; Canada;LTR-LA-94; ma