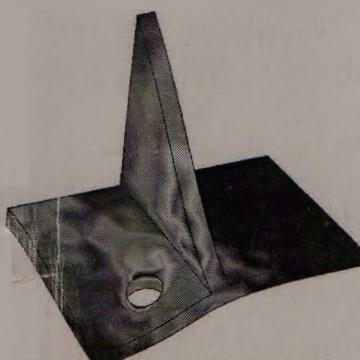
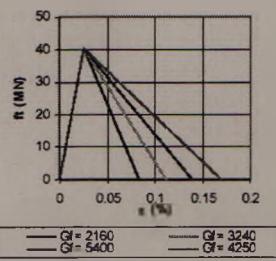
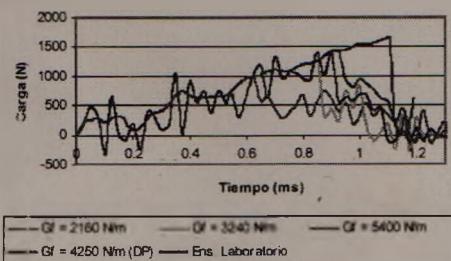
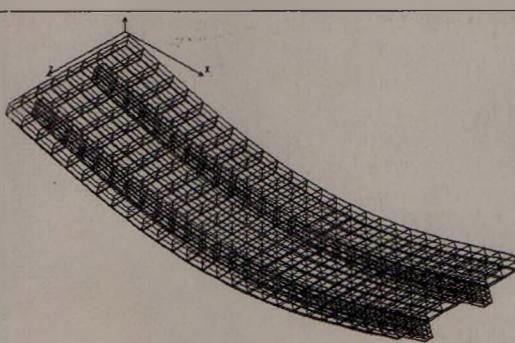




**Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004**



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



Análisis de las características turbulentas del flujo de capa límite reproducido en el Túnel de viento TV2 de la Facultad de Ingeniería

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

Los vientos naturales no poseen una distribución uniforme debido a la acción conjunta de la rugosidad superficial y el gradiente térmico originado por la energía solar. Los vientos que son motivo de estudio en la ingeniería civil son los vientos fuertes; cuando estos ocurren la rugosidad de la superficie terrestre causa una turbulencia tan intensa que provoca la mezcla de las capas de aire impidiendo la formación de procesos de convección, por lo que el gradiente térmico es adiabático y la estabilidad es neutra. Por ende, en estos casos se atribuye la turbulencia a la agitación mecánica del aire causada por la rugosidad. Von Kármán (1956) define a la turbulencia como fluctuaciones irregulares de la velocidad, gobernadas por un equilibrio estadístico. Para el caso de vientos, aplicados a la ingeniería civil, se admite que las fluctuaciones constituyen un proceso ergódico, es decir que cualquiera de sus parámetros estadísticos calculados sobre un conjunto de registros posibles, es igual al correspondiente parámetro calculado a lo largo del tiempo sobre cualquier registro representativo del proceso (Blessmann, 1995).

Para una descripción adecuada del flujo turbulento reproducido en un túnel de viento se requiere el reconocimiento de los siguientes parámetros (Armitt, J y Counihan, J: 1967):

- Distribución de la velocidad media en función de la altitud.
- Intensidad de cada componente de la turbulencia en función de la altitud.
- Escalas integrales de turbulencia.
- Microescalas de turbulencia (escalas de disipación de energía)
- Correlaciones entre las componentes de la turbulencia particularmente tensiones de Reynolds $u'w'$.
- El espectro de turbulencia.

Las escalas de turbulencia y el espectro de turbulencia son dos formas distintas de describir procesos turbulentos. En algunos problemas es más conveniente trabajar en términos de espectro de turbulencia y en otros en términos de escala de turbulencia. En general, el análisis espectral ofrece un panorama más amplio que el obtenido a través de la escala integral de turbulencia.

En este trabajo se analizarán las componentes fluctuantes de la velocidad mediante la determinación de la intensidad de turbulencia, funciones de autocorrelación y análisis

de espectros de turbulencias; para los casos de simulación de espesor parcial y total de capa límite atmosférica. Se indican además los valores de intensidad de turbulencia para el caso de la capa límite sobre superficie lisa y con el agregado de rugosidad.

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.

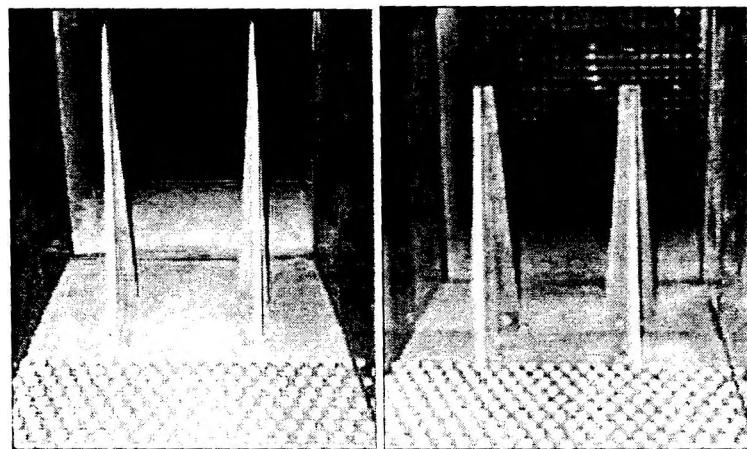


Figura 1. Vista de los elementos simuladores en el túnel.

Para simular la capa límite atmosférica se emplearon elementos de rugosidad y dispositivos de mezcla apropiados para reproducir una capa límite neutralmente estable. En las Figura 1 se pueden ver los elementos de rugosidad y las agujas que permitieron simular la capa límite superficial correspondiente a un terreno de la categoría IV de la norma NBR-6123/1988, equivalente a una categoría de exposición B del reglamento argentino CIRSOC 102.

El escurrimiento turbulento de capa límite simulado en el túnel de viento se evalúa midiendo la distribución de velocidades medias y los parámetros turbulentos. Para describir la turbulencia se utilizan espectros de potencia, funciones de correlación y distribuciones de probabilidad, y en general, en la evaluación experimental de los escurrimientos, se determinan otras características relacionadas con éstas, como son la

intensidad de turbulencia, la función de autocorrelación y la escala integral de la turbulencia.

La turbulencia es un fenómeno aleatorio, y como tal requiere un análisis estadístico de las fluctuaciones de velocidad que lo originan. La intensidad de turbulencia es una medida adimensional de la energía de las fluctuaciones de velocidad u , y está definida por el cociente entre la desviación estándar o valor rms de las fluctuaciones u y una velocidad media de referencia. La intensidad local de turbulencia se obtiene mediante la expresión:

$$I_t = \frac{\sigma_u}{U} \quad (1)$$

La función de densidad auto-espectral o espectro de potencia, representa la variación del valor cuadrático medio de una función del tiempo $x(t)$, dada por una serie continua adquirida con un intervalo de tiempo t , como una función de la frecuencia y queda expresada por:

$$F_{xx}(f) = \frac{1}{B_e \cdot T} \int_0^T x^2(f, B_e, t) dt \quad (2)$$

Donde B_e es el ancho de banda y T un tiempo de integración adecuado (Möller, 1988). Cuando se analiza espectralmente un escurrimiento turbulento se obtiene el espectro de turbulencia, y la función $x(t)$ es la fluctuación de velocidad $u(t)$. En este caso, el espectro representa la distribución en frecuencias de la energía de las fluctuaciones.

La escala integral L_t es un parámetro que está vinculado a las características turbulentas del flujo y es una dimensión promedio de los remolinos más grandes presentes en el flujo. Puede determinarse ajustando el espectro de la componente longitudinal medida al espectro de diseño representativo de los valores atmosféricos.

Para la medición de velocidades medias y fluctuantes se utilizó un anemómetro de hilo caliente Dantec, un osciloscopio digital de dos canales, un amplificador Stanford con filtros analógicos pasa-bajos y pasa-altos, una placa conversora analógico-digital Keithley Metrabyte DAS-1600 y un multímetro digital Keithley. El sistema permite la determinación de velocidades medias, intensidades de turbulencia, funciones de autocorrelación y espectros de potencia. Para el análisis espectral y de autocorrelación, se obtienen las series numéricas a partir de la digitalización de la señal de salida del anemómetro, que luego son procesadas mediante programas computacionales.

Resultados

A continuación se presentan la intensidad de turbulencia, espectros y funciones de autocorrelación medidos en el escurrimiento turbulento de la simulación parcial y total de la capa límite.

La distribución de la intensidad local de turbulencia, en el centro de la sección de ensayos se determinó en primer lugar para la superficie con los elementos rugosos y finalmente para ambas simulaciones y con el fin de poder realizar una comparación de la evolución de la misma, se agregaron los resultados de las mediciones realizadas con la superficie lisa (Castro et al, 2003). Los valores obtenidos se encuentran en la Figura 2.

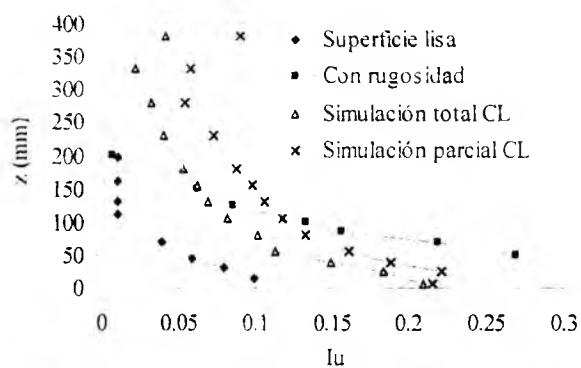


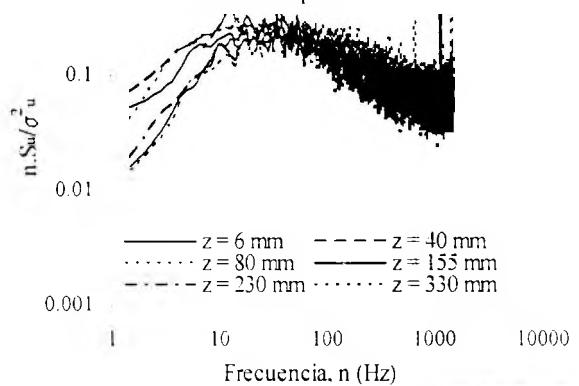
Figura 2. Perfil de Intensidad local de turbulencia

La Figura 3 muestra los espectros de potencia, o funciones de densidad espectral S_u , medidos en seis posiciones en el centro de la sección de ensayo para el caso de la capa límite de espesor total y de espesor parcial, obteniéndose una buena definición de los espectros en todas las posiciones. En ambas determinaciones el número de valores obtenidos fue de 90000, la frecuencia de adquisición de 3000 Hz, y el tiempo de registro de 30 segundos solamente que en la simulación de espesor total de capa límite no se realizó ningún tipo de filtrado, si en cambio en la simulación de espesores parciales en la cual se empleó un filtro pasa bajos a 1000 Hz. En la Figura 4 se indican las funciones de autocorrelación normalizada correspondientes a 6 posiciones, las cuales a partir de la velocidad media, permiten calcular la escala integral Lu .

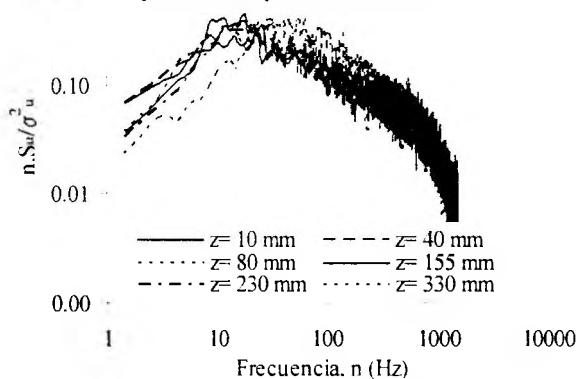
En la Figura 5 se compara uno de los espectros adimensionales medidos en el túnel de viento con los espectros atmosférico de von Kármán. La comparación con dicho espectro permite ver el grado de ajuste de los valores medidos con los valores atmosféricos. El espectro de von Kármán se obtiene mediante la Ecuación 3, en la cual $f_L = F.L_u^{5/6}/U$.

$$F.S_u(f) = \frac{4.f_L}{\sigma_u^2} \left(1 + 70.8.f_L^2\right)^{5/6} \quad (3)$$

1 Espectros Normalizados Simulación de espesor total de capa límite sin filtrado



1.00 Espectros Normalizados Simulacion de espesor parcial de capa límite con filtrado a 1000 Hz



Figuras 3 . Espectros normalizados.

Discusión de resultados y conclusiones

El trabajo apunta a la caracterización experimental de la turbulencia en los escurrimientos de capa límite en un túnel de viento. Los valores obtenidos en la simulación de la capa límite atmosférica, parcial y total, se adecuan a la distribución de velocidades medias determinadas. Se puede observar el gradual crecimiento de los valores de intensidad de turbulencia al incorporar los elementos de simulación y si bien no se realizan comparaciones con datos atmosféricos, los valores medidos para el caso de simulación de la capa límite atmosférica son adecuados para los tipos de perfiles de velocidades medias hallados.

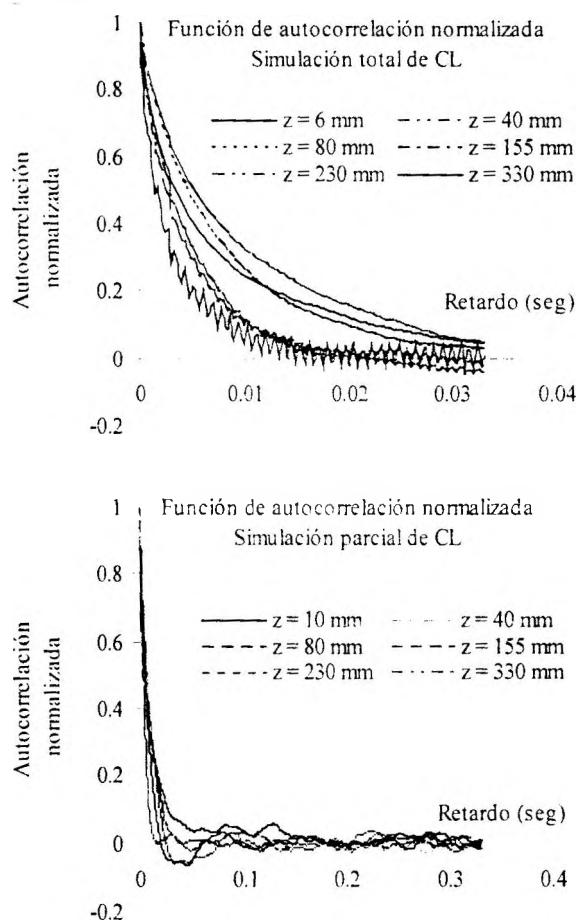
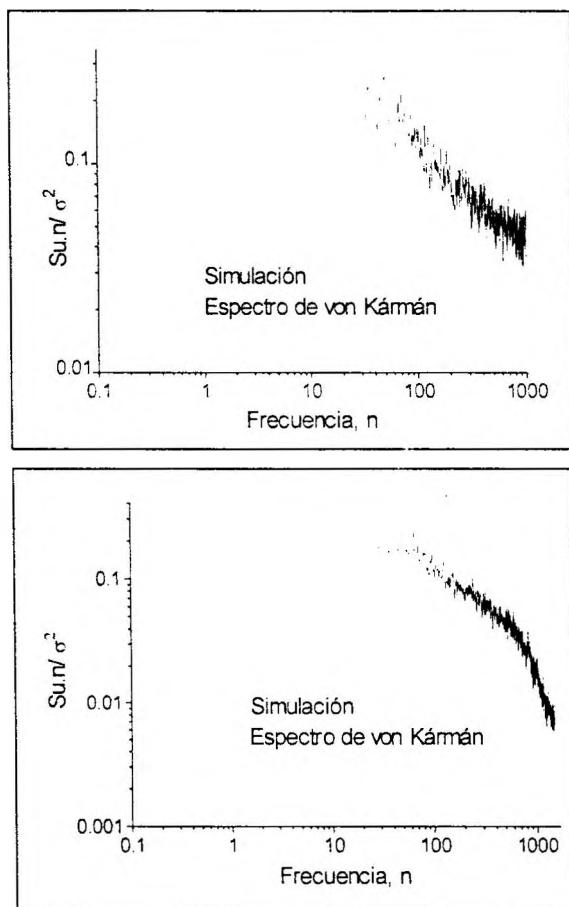


Figura 4. Función de autocorrelación normalizada para reproducción total y parcial de capa límite.

La determinación de la Función de densidad espectral S_u para los casos de simulación de capa límite atmosférica se realizó para seis posiciones, también medidas en el centro de la sección de ensayos. La representación de la función de densidad espectral normalizada de los valores medidos, permite apreciar una buena definición de los espectros en todas las posiciones. Se puede observar además el efecto de "aliasing" (Wittwer & Möller, 2000) en las frecuencias más altas del espectro correspondiente a la simulación de espesor total de capa límite, pero no ocurre lo mismo en la simulación parcial porque en ésta se efectuó un filtrado de la señal con un filtro pasa bajos a 1000 Hz.



Figuras 5. Comparación de espectros adimensionales con el espectro atmosféricos de von Kármán, correspondiente a simulación de espesor total, arriba, y espesor parcial, abajo.

La comparación de los espectros adimensionales con el espectro de von Kármán, en el caso de la simulación de la capa límite atmosférica parcial, indica una mejor concordancia que para el caso de simulación total, al menos para la posición en que fue realizada la comparación. Las funciones de autocorrelación indican el valor de la macroescala en forma indirecta, y además muestran el efecto de aliasing en el dominio del tiempo, aunque debería realizarse un análisis complementario para determinar mejor las diferencias entre los valores obtenidos para los casos de simulación total y parcial.

En principio, los resultados obtenidos permiten concluir que el túnel de viento (TV2) de la Universidad Nacional del Nordeste es adecuado para estudios de escurrimientos de capa límite turbulenta en general, y para la simulación de capa límite atmosférica correspondiente a la condición de estabilidad neutra.

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.

Armitt, J. and Counihan, J. Simulación de la capa límite atmosférica en un túnel de viento.

Associação Brasileira de Normas Técnicas "Forças devidas ao vento em edificações NBR 6123", ed. 1988.

Blessmann, Joaquim, 1995, "O vento na engenharia estrutural", Ed. Universidade UFRGS.

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.

Kármán, T. von, 1956, "Aerodynamic". Genebra, Interavia.