

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROCESOS TEMPORALES PROVENIENTES DE ENSAYOS CON MODELOS A ESCALA REDUCIDA

Julián Medina ^{*1}, Alexis Berezowski ¹, Adrián Wittwer ¹, Jorge Marighetti ¹, Mario De Bortoli ¹,
Gisela Avarez y Alvarez ¹

¹Laboratorio de Aerodinámica – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste
Av. Las Heras 727 Resistencia Chaco Argentina
correo-e: a_wittwer@yahoo.es

RESUMEN

Los ensayos con modelos a escala reducida realizados en túneles de viento requieren la evaluación de los parámetros característicos de la turbulencia del viento incidente. Actualmente, además del análisis de la turbulencia del escurrimiento, estudios específicos de cargas de viento y de procesos de difusión turbulenta, se realizan a partir de las mediciones de presiones y concentraciones fluctuantes. Es decir, además de los valores medios se requiere medir valores fluctuantes (instantáneos) de las variables de interés de acuerdo al tipo de estudio.

En este trabajo se evalúan las series numéricas representativas de procesos temporales que corresponden a velocidades, presiones y concentraciones fluctuantes obtenidas de ensayos realizados en el Túnel de Viento “Jacek Gorecki” de la UNNE. El tiempo de muestreo y la frecuencia de adquisición de las series fueron determinados en función de las características particulares de cada fenómeno a analizar. El análisis estadístico se realiza mediante la evaluación comparativa de las correspondientes funciones de distribución de probabilidad.

El comportamiento probabilístico de las fluctuaciones de velocidad, básicamente, es de tipo Gaussiano. Para las presiones instantáneas, obtenidas para un análisis de cargas fluctuantes, también se determina una distribución normal. Finalmente, para las fluctuaciones de concentración, asociadas a un proceso de dispersión, diferentes comportamientos son determinados, conforme la región o zona de la pluma de emisión analizada.

Palabras Claves: Distribución de probabilidad, túnel de viento, valores fluctuantes.

1. INTRODUCCIÓN

A partir del desarrollo de la Ingeniería de Viento que comienza en la década del '60, se verifica una evolución en lo que refiere a los trabajos experimentales que sustentan las diferentes actividades relacionadas a esta disciplina. Esta evolución se ve reflejada en los avances del instrumental de medición y las posibilidades que brindan las nuevas técnicas para la adquisición y tratamiento de datos. Tratándose de experimentos que se realizan, en su mayoría, en túneles de viento, y en casos muy puntuales a escala real, pero siempre involucrando escurrimientos turbulentos, la medición y el tratamiento de datos adquiere una relevancia.

En el caso de ensayos en túneles de viento, en una primera etapa, adquirió una gran importancia la caracterización del viento incidente, través de mediciones de perfiles de velocidad media, intensidad de turbulencia y análisis espectral, y la correspondiente comparación con datos atmosféricos.

En cuanto a la medición de presiones, en un primer momento, se medían valores medios con manómetros piezométricos. Luego aparecen los transductores eléctricos que han venido evolucionando en términos de la velocidad de respuesta en frecuencia. Actualmente, se han desarrollado sistemas de presiones simultáneos (cuasi-instantáneas) que permiten caracterizar las frecuencias de interés en túneles de viento y la correlación de distintos puntos.

Finalmente, en lo que respecta a la caracterización de procesos de dispersión de contaminantes, se comenzaron a utilizar sistemas que permiten medir valores fluctuantes, permitiendo caracterizar distintas zonas de una pluma de emisión y los niveles de intermitencia.

Con respecto al procesamiento de los registros, en el Laboratorio de Aerodinámica de la UNNE se vienen utilizando técnicas que incluyen placas de adquisición de datos, obtención de valores medios, desviación estándar, funciones de auto-correlación y análisis espectral vía transformada rápida de Fourier (FFT). No obstante, todavía no se ha realizado un análisis sistemático que incluya aproximaciones probabilísticas para verificar los tipos de distribución de densidad que caracterizan los distintos procesos. Este trabajo intenta ser un primer paso en este sentido, a partir del análisis de muestras características de turbulencia de viento incidente, presiones actuantes y concentración asociada a una pluma de emisión.

2. METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

En primer lugar, se eligieron registros representativos de las velocidades de viento, de las presiones que se generan en un modelo producto de la acción del viento, y de las concentraciones de un gas dispersándose en una capa límite atmosférica simulada en el túnel de viento de la UNNE. Es importante señalar que este túnel es de capa límite, es decir, sus características constructivas permiten la simulación de flujos de capa límite atmosférica. La longitud total del túnel es de 39,65 m y la cámara de ensayos tiene 2,4 m de ancho $\times$ 1,8 m de alto $\times$ 22,8 m de largo (Figura 1). Posee dos mesas de ensayos giratorias de 1,2 m de diámetro, una al inicio de la cámara de ensayos y la otra al final. El accionamiento es producido por un ventilador axial de 2,25 m de diámetro accionado por un motor trifásico inductivo de 92 kW. La velocidad máxima en vacío dentro de la cámara de ensayos es de 25 m/s [1].



Figura 1 Túnel de viento "Jacek P. Gorecki" de la UNNE.

2.1. Análisis de velocidades de viento

En lo que se refiere al análisis de velocidades de viento fueron utilizados dos registros; uno proveniente del viento atmosférico y otro obtenido a partir de la simulación de la capa límite atmosférica en el túnel de viento. Esto permite comparar los resultados obtenidos en cada caso teniendo en cuenta las diferencias de escala entre ambos fenómenos. Si bien no se brindan detalles de los criterios considerados, resulta importante mencionar que para simular el flujo atmosférico en el túnel de viento se respetaron las condiciones de semejanza que se tienen en cuenta para este tipo de trabajo con modelos a escala reducida.

El registro correspondiente al viento en la atmósfera fue obtenido con anemómetro sónico para la componente longitudinal u . Corresponde a una serie temporal de una hora, representativa de un viento fuerte estacionario de 7 m/s promedio aproximadamente, y fue obtenido en una torre meteorológica situada en el municipio de Paraíso do Sul, RS, Brasil. La altura de medición es de 10 m y se utilizó una tasa de muestreo de 16 Hz. El terreno en la zona de medición puede ser considerado plano y homogéneo [2].

Con respecto al viento incidente en túnel de viento de la UNNE, el registro utilizado para el análisis fue obtenido con anemómetro de hilo caliente (temperatura constante) para la componente longitudinal u . Corresponde a una simulación de espesor total de la capa límite atmosférica que se obtuvo empleando el método de Standen [3]. La velocidad se midió a una altura de 16,60 cm desde el piso del túnel, su valor medio fue 15 m/s aproximadamente y la frecuencia de adquisición de datos de 300 Hz.

2.2. Análisis de presiones actuantes

Este análisis se realizó para un punto ubicado en la cara a sotavento del modelo de un edificio en el túnel de viento de la UNNE, lo cual indica que corresponde a un registro en la zona de succión. El viento incidente, en este caso, corresponde a una simulación de espesor total de la capa límite atmosférica obtenida a partir del método de Counihan [4], similar al de Standen, pero que hace uso de generadores elípticos. El registro fue obtenido con un sistema de presiones simultáneas de tipo *Scanivalve*. La presión media es de -20 mm columna de H_2O aproximadamente y la frecuencia de muestreo de 512 Hz.

2.3. Análisis de concentración en procesos de dispersión

Las mediciones de las concentraciones para analizar el proceso de dispersión fueron realizadas en el túnel de viento "Prof. Joaquim Blessmann" de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). El modelo de la fuente de emisión tiene una altura de 250 mm y 20 mm de diámetro, habiéndose emitido helio en cantidades tales que se obtienen las condiciones y parámetros descriptos en el estudio de Wittwer et al. [5]. Las muestras de 60 segundos de duración obtenidas con una frecuencia de adquisición de 1024 Hz. fueron medidas con un anemómetro de hilo caliente y una sonda aspirante. La concentración media y el valor RMS de las fluctuaciones son muy variables en función de la posición dentro de la pluma.

3. RESULTADOS

A partir de las mediciones descriptas en el párrafo anterior, fueron obtenidas las distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de velocidad (Figuras 2 y 3), presión (Figura 4) e concentración (Figuras 5 a 10). En el caso de las fluctuaciones de velocidad, con fines comparativos, se utilizó un registro atmosférico (Figura 2). En este caso, por razones de escala, las fluctuaciones de velocidad se expresan en función del tiempo en minutos. Es decir, la escala de tiempo túnel/atmósfera para estudios con flujos de capa límite de este tipo es del orden de 1: 90, lo que implica que 60 s en el túnel son equivalentes a 1 h 30 m aproximadamente en la atmósfera. Se muestran 10 s de cada registro de velocidad y concentración obtenida en el túnel de viento y la correspondiente distribución de probabilidad normalizada. Dadas las características de la muestra de presiones, en la Figura 3 se indican solamente 5 s, mientras que para el registro atmosférico se muestran 10 minutos por lo mencionado anteriormente respecto a la escala del fenómeno.

Es posible observar un comportamiento claramente Gaussiano para las velocidades en las Figuras 2 y 3, y para las presiones en la Figura 4, como fuera observado en otros trabajos. Las velocidades muestran una asimetría que es similar en ambos casos. Esta asimetría indica que el rango de valores menores al valor medio, o negativos si la media es cero, tiene una mayor extensión que el de valores mayores al valor medio. En el caso específico de flujos turbulentos, este comportamiento es característico de las fluctuaciones longitudinales de velocidad para flujos de capa límite.

En la evaluación de las fluctuaciones de concentración en la pluma de dispersión, es posible percibir diferentes comportamientos conforme la región y que pueden ser asociados a diferentes tipos de funciones de distribución. Las Figuras 5, 6 y 7 muestran las distribuciones de probabilidad de la fluctuación de concentración ($C-C_m$) normalizada con la desviación estándar de las fluctuaciones c' en la región próxima a la emisión $x/H = 0,66$, siendo x la distancia a sotavento de la emisión y H la altura de la fuente. Las distribuciones aparecen mostrando comportamientos diferentes, de tipo normal truncado en el centro de la pluma ($z/H = 1,16$) y log-normal en el extremo inferior de la pluma ($z/H = 0,94$). De acuerdo con los resultados de Fackrell & Robins [6], la distribución en el extremo superior ($z/H = 1,34$) puede considerarse cuasi-exponencial. En las Figuras 8, 9 y 10 se indican los resultados en la zona más apartada de la emisión con $x/H = 3,80$. En las tres alturas evaluadas ($z/H = 1,96, 1,60$ y $1,24$), el comportamiento se aproxima al normal, aunque con una distribución bastante más discreta que en los casos anteriores, semejante al comportamiento obtenido por Cheung & Melbourne [7].

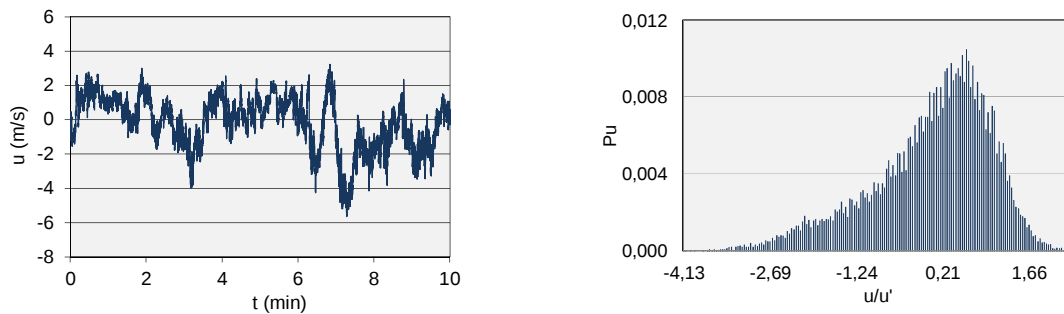


Figura 1 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de velocidad en la atmósfera

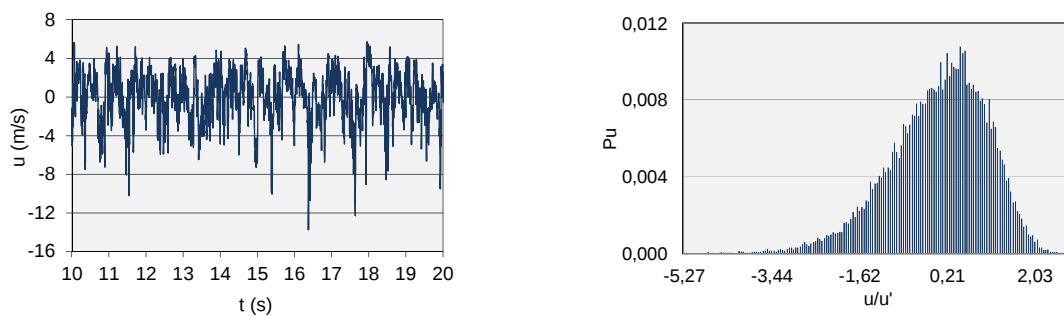


Figura 2 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de velocidad en el túnel de viento

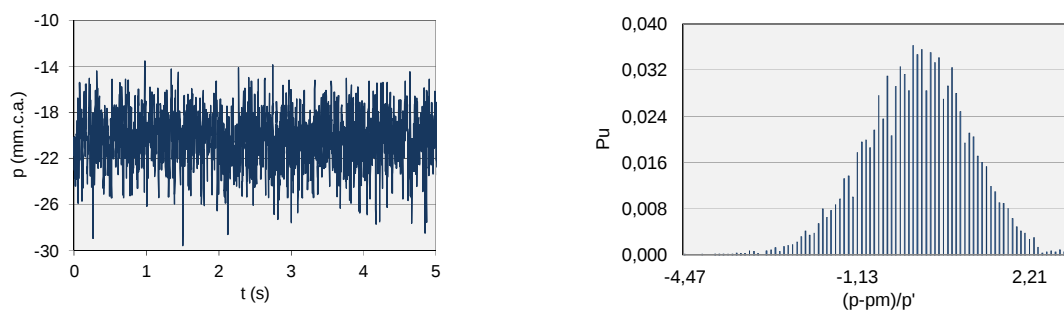


Figura 3 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de presión en el túnel de viento

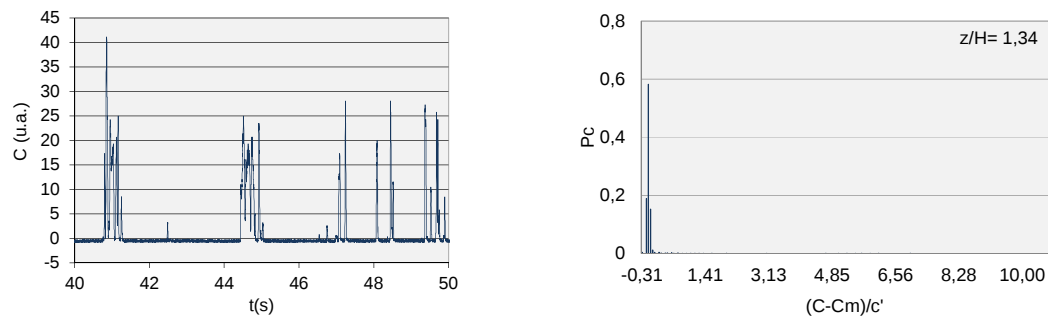


Figura 4 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración próximas a la emisión
($z/H = 1,34$)

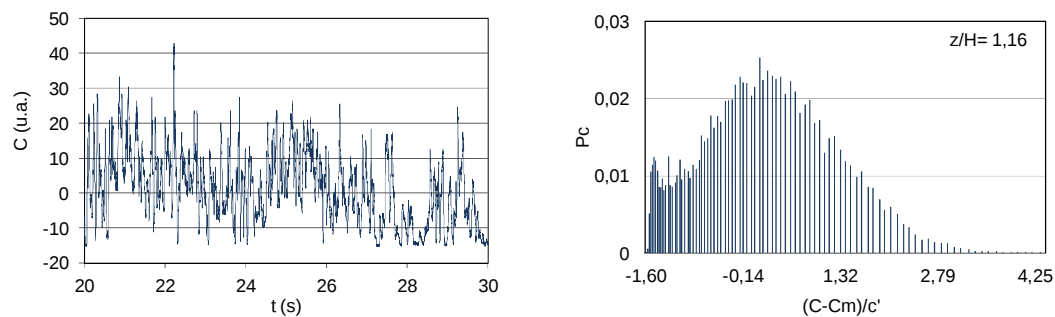


Figura 5 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración próximas a la emisión
($z/H = 1,16$)

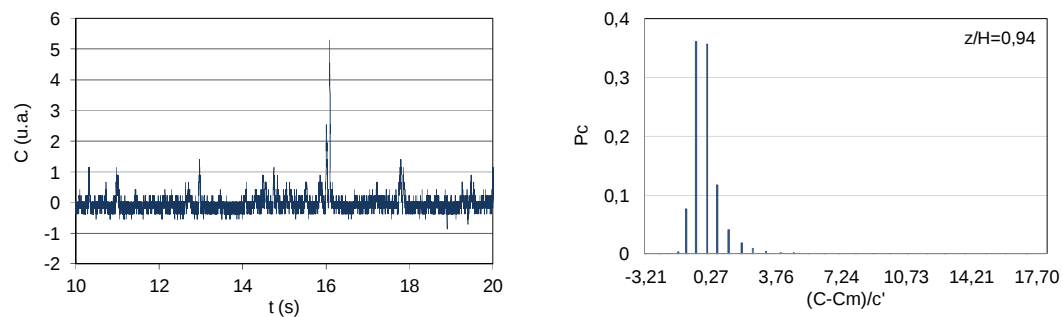


Figura 6 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración próximas a la emisión
($z/H = 0,94$)

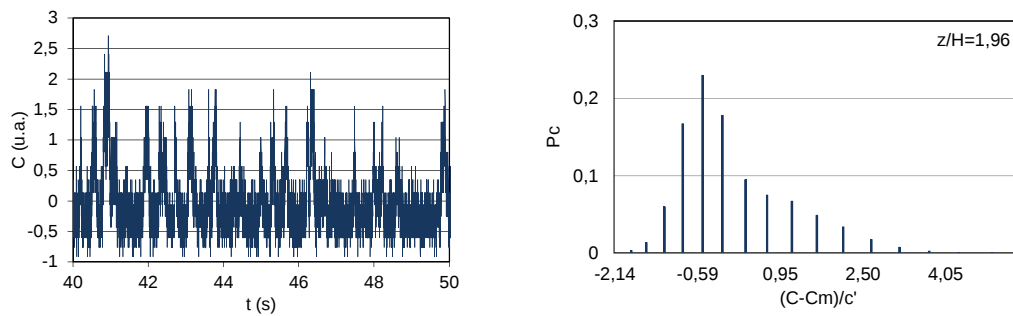


Figura 7 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración apartadas de la emisión
($z/H = 1,96$)

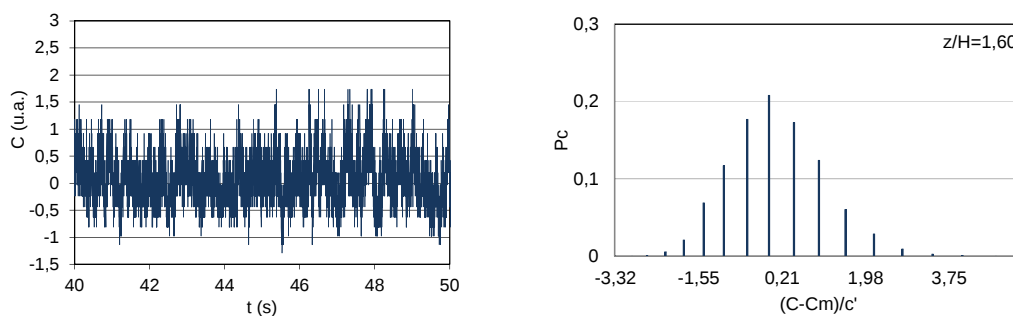


Figura 8 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración apartadas de la emisión
($z/H = 1,60$)

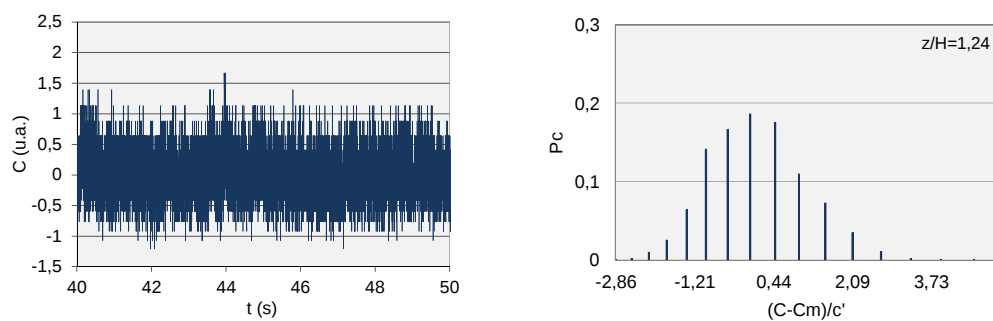


Figura 9 Distribuciones de probabilidad de las fluctuaciones de concentración apartadas de la emisión
($z/H = 1,24$)

4. CONCLUSIONES

El trabajo tiene la finalidad de evaluar el comportamiento probabilístico de las fluctuaciones de velocidad, presión y concentración asociadas a distintos fenómenos modelados en un túnel de viento, tales como flujo de capa límite, cargas localizadas sobre un edificio y el proceso de dispersión atmosférica en condición de estabilidad neutra. El análisis realizado permite corroborar el comportamiento Gaussiano de las fluctuaciones de velocidad en la atmósfera y en el túnel de viento, como así también para las fluctuaciones de presión. En la evaluación de las fluctuaciones de concentración en la pluma de dispersión es posible percibir diferentes comportamientos de acuerdo a la región y que pueden asociarse a distribuciones de tipo exponencial, normal, log-normal y normal truncada. Con respecto a la intermitencia del proceso de dispersión, si bien una distribución de probabilidad más discreta puede indicar un comportamiento más intermitente, el grado de intermitencia debería ser analizado utilizando herramientas adicionales a esta simple representación probabilística.

5. REFERENCIAS

- [1] Wittwer, A. R., Möller, S. V., "Characteristics of the low speed wind tunnel of the UNNE", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 84 (3), pp. 307-320, 2000.
- [2] Wittwer, A. R., Welter, G. S., Degrazia, G. A., "Características espectrales de la turbulencia en vientos de capa superficial", 10. Congreso Latinoamericano de Ingeniería del Viento, Montevideo, Uruguay, 2008.
- [3] Standen, N. M., "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, 1972.
- [4] Counihan, J., "An improved method of simulating an atmospheric boundary layer in a wind tunnel", Atmospheric Environment, 3, 197-214, 1969.
- [5] Wittwer, A. R., De Paoli, F., Loredou-Souza, A. M., Camaño S., E. B., "Estudo em túnel de vento do campo de concentrações próximo a uma fonte de emissão", Ciência & Natura, V. Esp., 433-436, 2005.



[6] Fackrell, J. E, Robins, A. G., "Concentration fluctuations and fluxes in plumes from point sources in a turbulent boundary layer", J. Fluid Mech., vol. 17, pp. 1-26, 1982.

[7] Cheung, J. C. K., Melbourne, W. H., "Probability distribution of dispersion from a model plume in turbulent wind", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 87, 271-285, 2000.