

UTILIZACIÓN DE HISTOGRAMAS, FUNCION DE PROBABILIDAD ACUMULADA Y TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA EL ANÁLISIS DE FENÓMENOS DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

R. D. Vazquez¹, A. R. Wittwer², E. Perondi³

¹Laboratorio de Electrónica, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional

²Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste.

³Departamento de Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

Resumen: En este trabajo, se implementa un procedimiento basado en técnicas de edición de video para estimar el campo de concentración en un proceso de dispersión atmosférica, utilizando modelos a escala reducida en un canal de viento. Se utilizan herramientas estadísticas como los histogramas y la función probabilidad acumulada para comparar regiones de una serie de fotogramas obtenidos mediante técnicas de edición de video. Se define una posición de interés y utilizando la función correlación se trata de estimar los efectos de interferencia en el proceso de dispersión causados por obstáculos colocados en el canal de viento. Para el procesamiento de la información, se utiliza un software que permite la visualización de los resultados y su comparación con otros trabajos de investigación desarrollados en esta misma línea.

Palabras clave: modelos de dispersión, procesamiento de imagen, túnel de viento.

INTRODUCCIÓN

Los estudios de campo para la determinación de la dispersión atmosférica son difíciles de controlar y costosos, por este motivo el desarrollo de métodos de análisis de concentración en túneles de viento es una herramienta útil y puede tener una variedad de aplicaciones, que van desde la aplicación a estudios específicos, así como la verificación de modelos numéricos. El estudio de este tipo de problemas a partir de ensayos con modelos a escala reducida, requiere conocimientos de modelos de turbulencia, leyes de semejanza y teoría de dispersión. En este trabajo, se plantea la evaluación de técnicas de edición de videos para estudiar problemas de dispersión en un túnel de viento.

Para el estudio se analizan imágenes de una pluma de humo que representa el fenómeno de dispersión. El humo, según las propiedades químicas en el proceso de generación, puede tener características espectrales que permiten la transmisibilidad de luz a través de él. El fenómeno está relacionado con las características de las partículas de humo, y deben verificarse una serie de características físicas y químicas del contaminante que permitan su utilización para representar adecuadamente el proceso de dispersión.

En este sentido, existe una gran variedad de procedimientos para la observación del proceso de dispersión utilizando modelos a escala en un túnel de viento. Estos incluyen la utilización de sistemas ópticos que operan a partir de que el índice de refracción de un gas es función de la densidad del mismo. El cambio del índice de refracción, con ayuda de un sistema óptico, proporciona información relativa al campo de densidades del humo a elevada velocidad (Holder, 1980). Controlando la generación de humo, es posible establecer una relación entre la luz que atraviesa la pluma y su concentración. En un trabajo anterior, Vazquez et al. (2010) presentan un procedimiento para evaluar este tipo de proceso utilizando el procesamiento de imágenes.

En este trabajo, a diferencia del caso anterior, se utilizan técnicas de edición de video que permiten aumentar el muestreo de imágenes y, por lo tanto, mejorar la adaptación al fenómeno. En esta línea de trabajo, los estudios realizados por Huber (1988) permiten establecer una relación entre la concentración en una pluma y la imagen obtenida utilizando una filmadora de video que graba en formato VHS. La filmación se descompone en sucesivos fotogramas para extraer información del video. Los cálculos realizados para estimar el fenómeno están basados en conceptos estadísticos, tales como el promedio, la desviación estándar, el coeficiente de variación, la probabilidad acumulada y los descriptores estadísticos. Se destaca también, el trabajo de Ohba (1992) donde se describe un procedimiento que permite evaluar el proceso de dispersión mediante un sistema óptico de visualización de imagen basado en la tecnología láser. En este caso, es posible establecer una relación cuantitativa entre la intensidad de iluminación en una región de la imagen y la concentración de contaminante. Las ventajas de estos procedimientos sobre los ensayos experimentales a escala natural son la fácil implementación con bajo costo, el hecho de que no existen sensores dentro del túnel de viento, ya que la cámara de video se ubica en el exterior, y el hecho de que la obtención de los resultados es más rápida.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE VIDEO

El procesamiento digital de video permite seleccionar, ordenar, cortar y extraer imágenes. Es una herramienta que ha evolucionado recientemente debido al avance tecnológico y permite facilitar el trabajo experimental en tareas de visualización y procesamiento de información.

La cámara utilizada en el trabajo experimental se denomina comúnmente CCD. Se utiliza la norma NTSC (Bártulos, 2006) de 525 líneas. El conjunto de líneas verticales y horizontales tienen una unidad fundamental indivisible denominado píxel y es la unidad mínima que compone una imagen digital o fotograma. Toda edición de video requiere la obtención de fotogramas y la extracción de información se realiza a partir del desarrollo de algoritmos (González, 1992).

La articulación de los conceptos mencionados, la utilización de un software de edición de video y herramientas estadísticas apropiadas, permiten realizar operaciones de segmentación de información para el procesamiento digital en la columna de humo.

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

Los videos están constituidos por una serie de fotogramas que se pueden considerar como una serie de imágenes digitales. En este trabajo las imágenes son monocromáticas y las regiones donde se estudia el proceso de dispersión se pueden dividir en cuadros más pequeños. Los píxeles contenidos en los mismos se distribuyen en forma aleatoria debido a la turbulencia, responsable del proceso de dispersión de contaminante.

En el trabajo experimental se estiman campos de concentración en regiones, para lo cual se recurre a herramientas estadísticas como histogramas y funciones de probabilidad acumulada para representar comportamientos de los niveles de grises en regiones de la imagen y estimar niveles de dispersión debido a la relación que existe entre intensidad de gris en una región de un fotograma y el contaminante emitido por una fuente.

Los procedimientos relacionados a técnicas de procesamiento de imágenes basados en histogramas descritos por Marcos (2000) y los conceptos descritos por Huber (1989), complementados con un software matemático, como el Mathcad, permiten realizar tareas de análisis cualitativo de dispersión en regiones de la columna de humo.

HISTOGRAMA Y FUNCIÓN DE PROBABILIDAD ACUMULADA

Un histograma permite describir regiones dentro de una imagen y se simboliza como H_z donde z representa la escala de gris. En algunas ocasiones es conveniente ver al histograma como un vector de 256 elementos. El valor de cada elemento z del vector H_z es la frecuencia de repetición de las escalas de grises en una región rectangular. Un software como el Mathcad, por ejemplo, permite implementar un algoritmo para obtener H_z , la función de probabilidad acumulada y el histograma normalizado h_z como se indica esquemáticamente a continuación.

Algoritmo encargado de obtener H_z

$$H(a, b, x, y, \Delta) = \begin{cases} k \leftarrow 1 \\ \text{for Imagen} \in a..b \\ \quad \begin{cases} I \leftarrow \text{RED}(\text{Imagen}) \\ C \leftarrow \text{submatrix}(I, y - \Delta, y + \Delta, x - \Delta, x + \Delta) \\ V_{k,1} \leftarrow \text{floor}(\text{mean}(C)) \\ k \leftarrow k + 1 \end{cases} \\ C \leftarrow \text{Histograma}(V) \\ C \end{cases}$$

Algoritmo encargado de obtener histogramas

$$\text{Histograma}(V) = \begin{cases} h_{255,1} \leftarrow 0 \\ \text{for } j \in 1.. \text{rows}(V) \\ \quad \begin{cases} z \leftarrow V_j \\ H_{z,1} \leftarrow H_{z,1} + 1 \end{cases} \\ H \end{cases}$$

Algoritmo encargado de obtener H_z normalizado denominado h_z

$$h = \frac{H}{\left(\sum_1^H H \right)} \quad h_z \text{ Es el histograma normalizado}$$

Otro concepto derivado del histograma es la función de probabilidad acumulada μ_z y se lo expresa en la siguiente ecuación (1).

$$\mu_z = \sum (h_z)^k \quad (1)$$

donde h_z es el histograma normalizado y k es una constante que puede estar comprendida entre valores muy cercanos a la unidad (en este trabajo se toma $k=1$).

DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

A partir de las leyes de semejanza y el análisis dimensional, es posible modelar vientos de capa límite, condiciones relativas a confort en edificios y procesos de dispersión atmosférica utilizando un túnel de viento. La aplicación de este tipo de análisis, da lugar a una serie de criterios de semejanza y parámetros adimensionales.

El trabajo propuesto es de carácter experimental, está basado en el uso de modelos a escala reducida, y se justifica a partir de las dificultades de la experimentación a escala real y la posibilidad de realizar mediciones bajo situaciones controladas. La experimentación se realizará en un túnel de viento diseñado y construido en la Universidad Nacional del Nordeste. Es un túnel de circuito abierto cuya longitud total es de 7.5 m, y su cámara de ensayos consiste en un conducto de sección cuadrada de 0.48m de lado y 4.45 m de longitud.

La simulación de la capa límite atmosférica se efectúa empleando elementos de rugosidad y dispositivos de mezcla apropiados para reproducir una capa límite en condición de estabilidad neutra, de espesor parcial. La finalidad es obtener una capa límite que corresponde a un terreno suburbano equivalente a una categoría B del reglamento argentino de vientos CIRSOC102 (Alvarez, 2004).

Los videos se obtienen mediante una cámara digital SONY de 7.2 MG píxeles. Para medir la intensidad de la iluminación se utiliza un luxómetro y para ajustar las series de velocidades en el canal de viento se dispuso de un anemómetro. La disposición de la escena al igual que los materiales e instrumentos de medida son semejante a los utilizados en un trabajo anterior por Vazquez et al. (2009).

Los casos analizados para este trabajo se resumen en la Tabla 1. La primera columna identifica los casos ensayados, la siguiente especifica la velocidad del viento en el canal de viento, la tercera columna señala si existe o no interferencia del modelo a escala reducida (obstáculo) en el caso de ensayo, y la última columna representa la cantidad de fotogramas obtenidos según la norma de video. Los casos 1, 2 y 3, se refieren a la situación de dispersión de la pluma en el caso de emisión de humo aislada representativo de la distribución espacial gaussiana de la concentración, en tanto que los casos 4, 5 y 6 están referidos al proceso de dispersión de la misma emisión en presencia de un obstáculo constituido por el modelo prismático que modifica la distribución gaussiana.

Casos	Velocidad del viento medio en el túnel (m/seg)	Interferencia del obstáculo	Fotogramas (sistema NTSC)
1	2,11	No	409
2	5,11	No	319
3	10,11	No	478
4	2,11	Si	322
5	5,11	Si	322
6	10,11	Si	340

Tabla 1. Resumen de las condiciones de trabajo en el túnel de viento.

RESULTADOS

En la Figura 1 se indican, mediante cuadros, puntos arbitrarios de toma de información que, en este caso particular, son denominados humo, humo1, humo2 y fondo. Para analizar el proceso de dispersión turbulenta en el túnel de viento, se definen cuatro puntos denominados P_1 , P_2 , P_3 y P_4 , como se indica en las Figuras 2 y 3. La Figura 2 corresponde a la situación de emisión aislada, mientras que la Figura 3 está referida a la situación en que se produce interferencia del modelo prismático ubicado 200 mm a sotavento de la fuente de emisión.

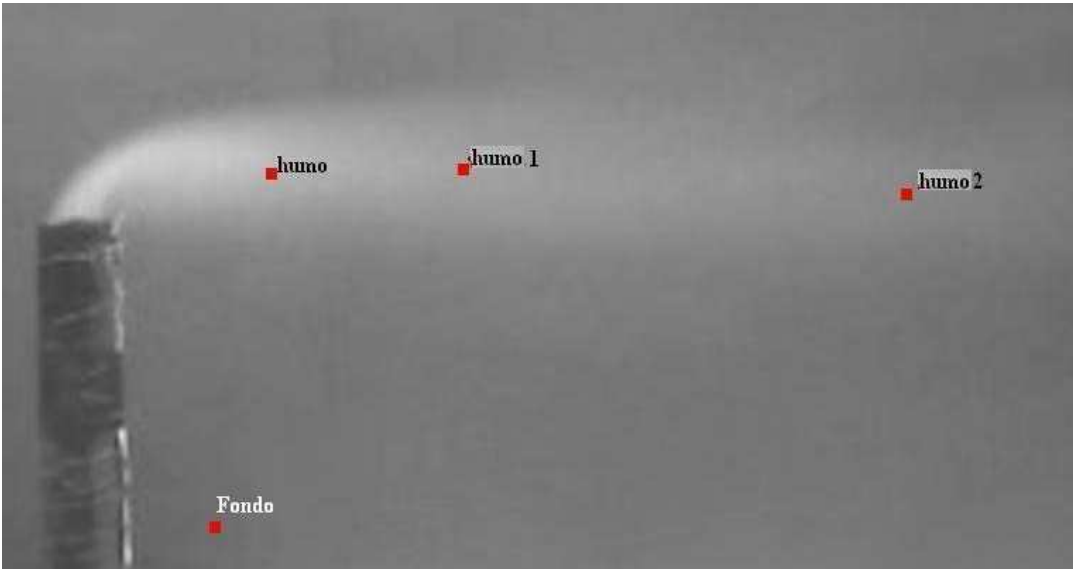


Figura 1. Esquema representativo en la toma de fotogramas en el primer ensayo destacando los cuadros humo, humo1, humo2 y fondo.

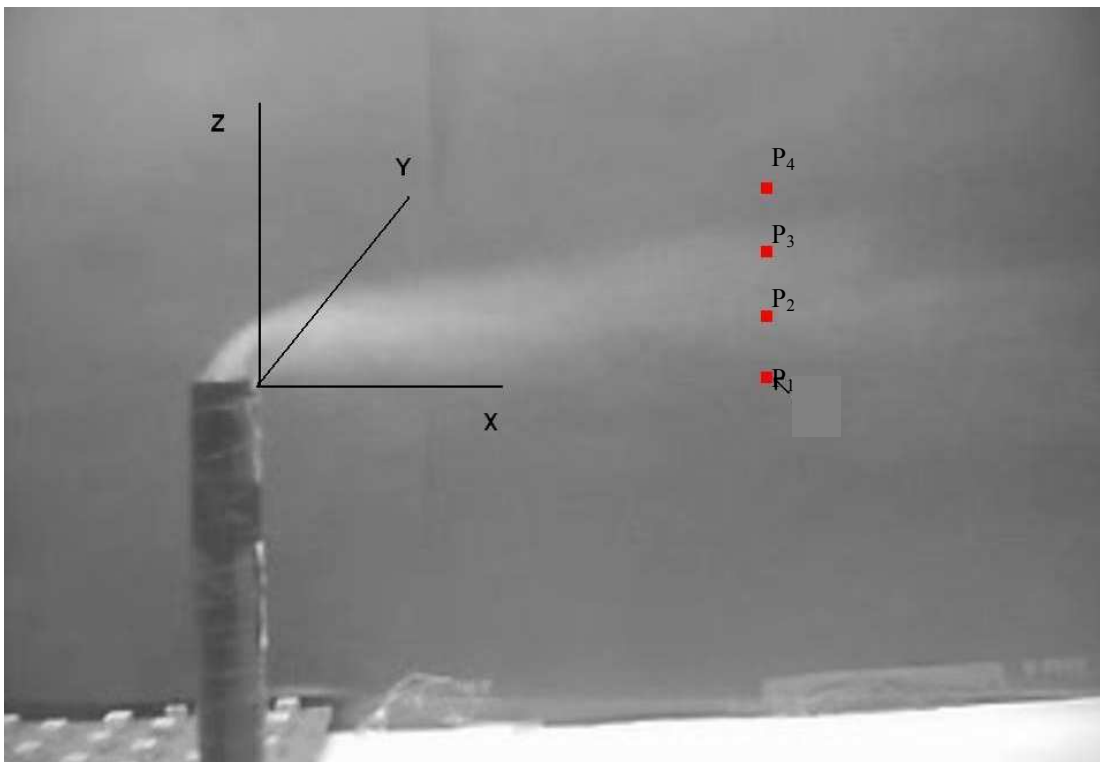


Figura 2. a) Toma de datos en la escena para los casos 1, 2 y 3.

El aumento de velocidad en el túnel de viento genera una disminución en el ancho de la columna de humo y los valores de la escala de gris en los puntos P_1 y P_4 tienden a los del fondo (Figura 2). La interferencia causada por el obstáculo (Figura 3) hace que el contaminante se desplace hacia la parte superior y los valores de gris de cada fotograma en el cuadro indicado como P_4 aumenten.

Para analizar el fenómeno de dispersión de contaminantes en los puntos P_1 , P_2 , P_3 y P_4 se utilizan los histogramas normalizados h_z , que en esta etapa del estudio, se evalúan de forma comparativa. En la Figura 4 se muestran los histogramas para el caso 3 (emisión aislada), mientras que en la Figura 5 se indican los histogramas normalizados que corresponden al caso 6, cuando existe interferencia del modelo en la pluma de dispersión. Es importante mencionar que el análisis estadístico que se realiza en este trabajo está basado en el uso directo de escalas de gris porque es netamente comparativo, en tanto que simultáneamente se ha realizado un análisis cuantitativo del campo de concentración que incluye una calibración del sistema de medición basado en el procesamiento de imágenes de video (Vázquez et al, 2011).

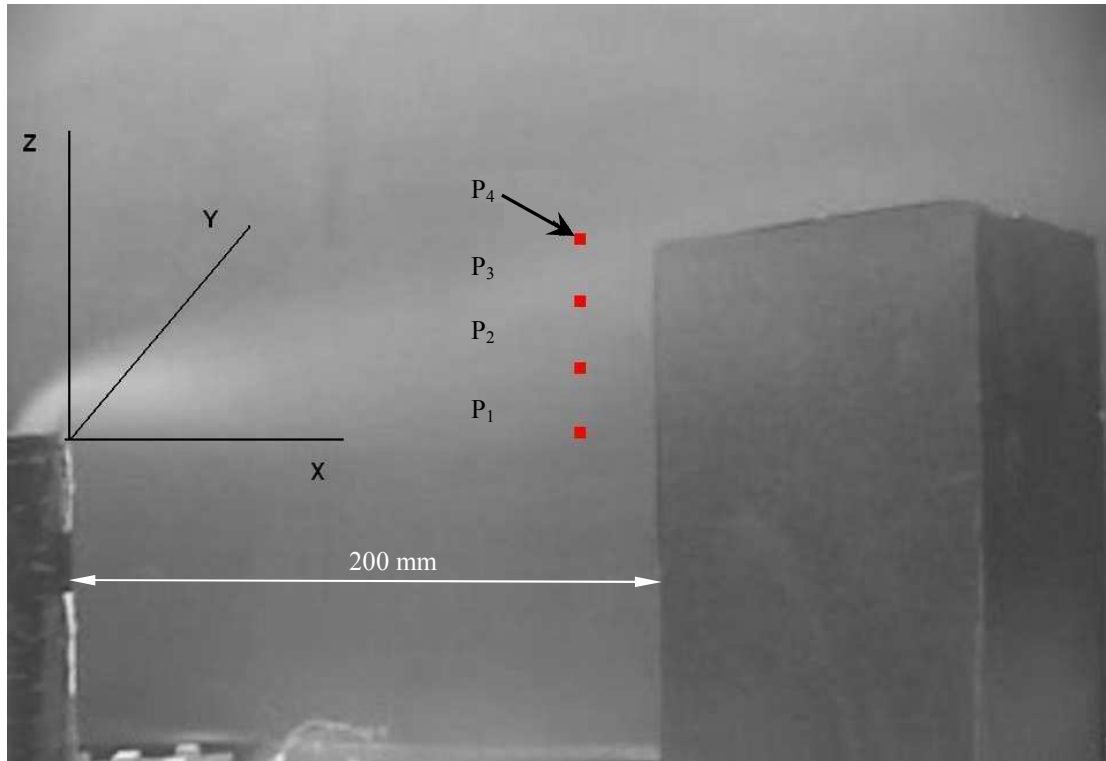


Figura 3. Interferencia del obstáculo en la pluma para los casos 4, 5 y 6.

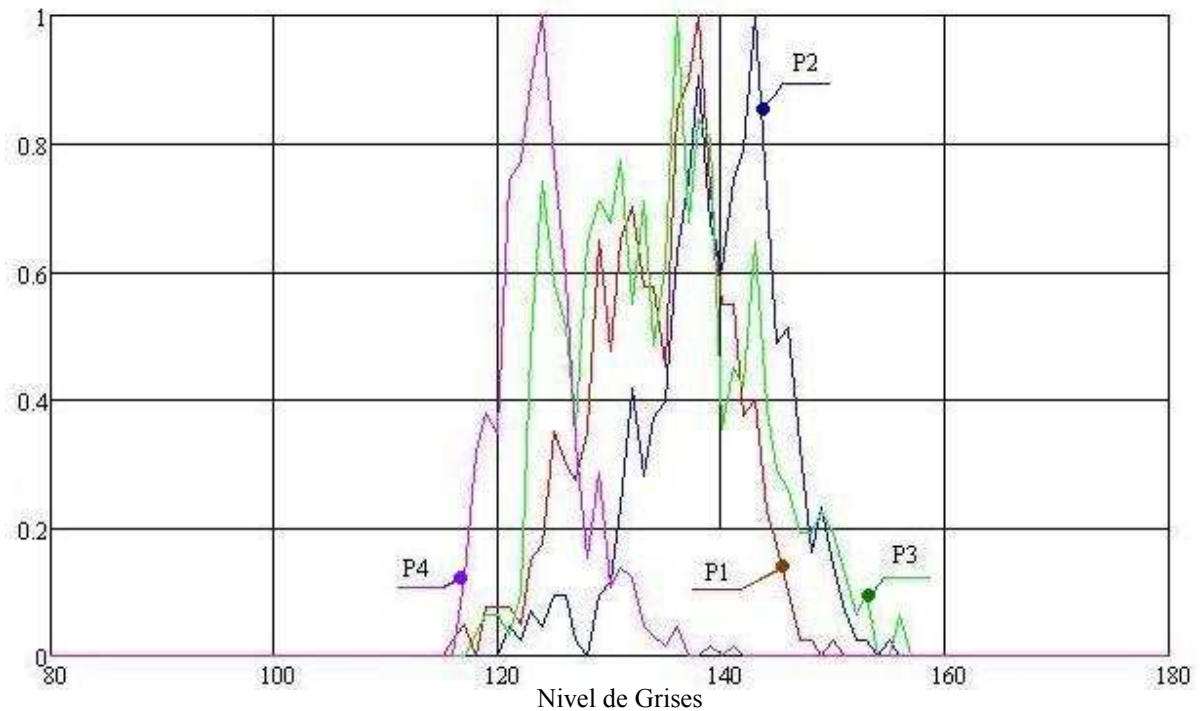


Figura 4. Histogramas h_z obtenidos en los puntos P_1 , P_2 , P_3 y P_4 para el caso 3.

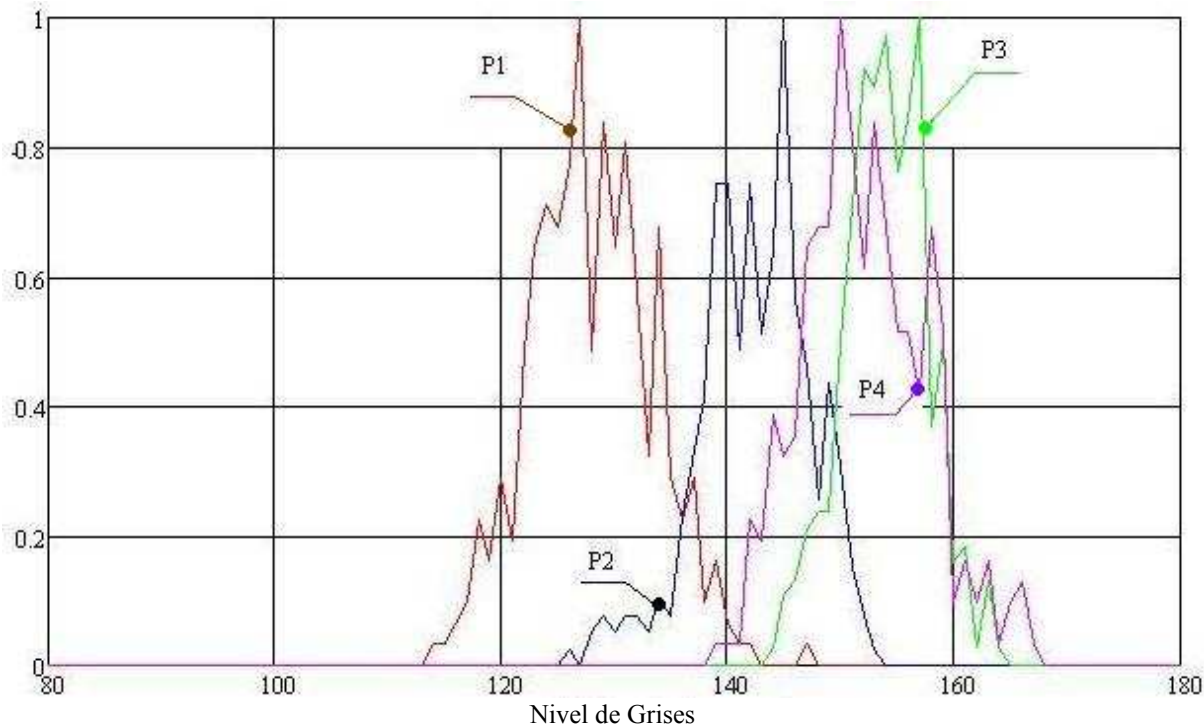


Figura 5. Histogramas h_z obtenidos en los puntos P_1 , P_2 , P_3 y P_4 para el caso 6 (con interferencia del modelo prismático).

Los histogramas h_z son representados mediante vectores de 256 elementos. Esta representación posibilita evaluar la correlación entre ubicaciones diferentes para un mismo caso y para distintos casos en una misma ubicación. A través del coeficiente de correlación, es posible cuantificar el efecto causado por la interferencia del objeto. A modo de ejemplo, en la tabla 2, se indican los valores de correlación en el punto P_4 para los casos indicados. Es importante mencionar que en esta evaluación, el análisis de correlación se restringe a la obtención del coeficiente de correlación espacial. No obstante, siendo que el fenómeno analizado está asociado a la turbulencia, es posible realizar un análisis de correlación (o auto-correlación) temporal.

Casos	Coefficiente de correlación
Caso 1 y Caso 2	0.889
Caso 2 y Caso 3	0.875
Caso 1 y Caso 3	0.835
Caso 3 y Caso 6	0.347

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre casos para el punto P_4 .

En la Figura 6 se representa la función probabilidad acumulada para el caso 3 donde en los puntos P_1 y P_4 se percibe una disminución de la escala de gris hasta valores próximos a los valores del fondo. Esto se debe al aumento de velocidad en el túnel de viento que ocasiona una disminución en el ancho de la pluma de dispersión, por consiguiente las escalas de grises en los puntos 1 y 4 tienden a los valores del fondo. En términos comparativos, también la pendiente de la función de probabilidad acumulada tiende a ser mayor en los puntos extremos 1 y 4, aunque se perciben diferencias clara entre ambos puntos.

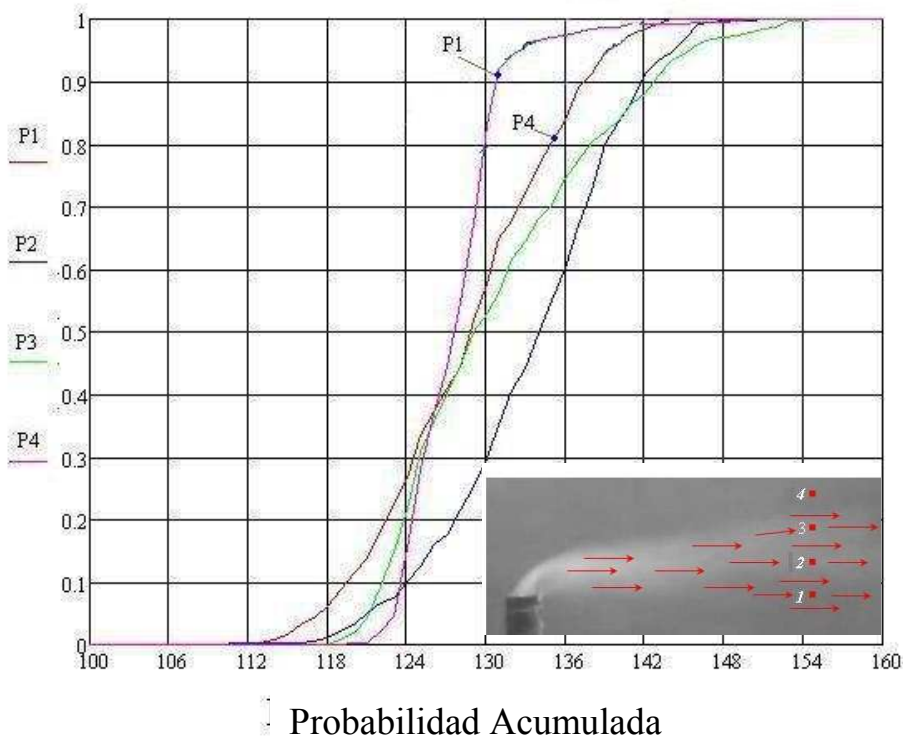


Figura 6. Funciones de probabilidad acumulada μ_z para el caso 3.

En la Figura 7 se representa la función de probabilidad acumulada para el caso 6, donde se observa una configuración similar para todos los puntos, aunque se percibe un mayor desplazamiento relativo de las curvas entre si. Sobre todo se observa un gran desplazamiento de la curva correspondiente al punto P4. Esto se puede asociar al desplazamiento de la pluma hacia la zona superior debido a la presencia del objeto, provocando además un aumento de concentración que se evidencia por el mayor valor de la escala de gris en relación al fondo. La escala de gris en el punto P1 se mantiene que valores pequeños porque la pluma se desvía en mayor proporción hacia la zona superior.

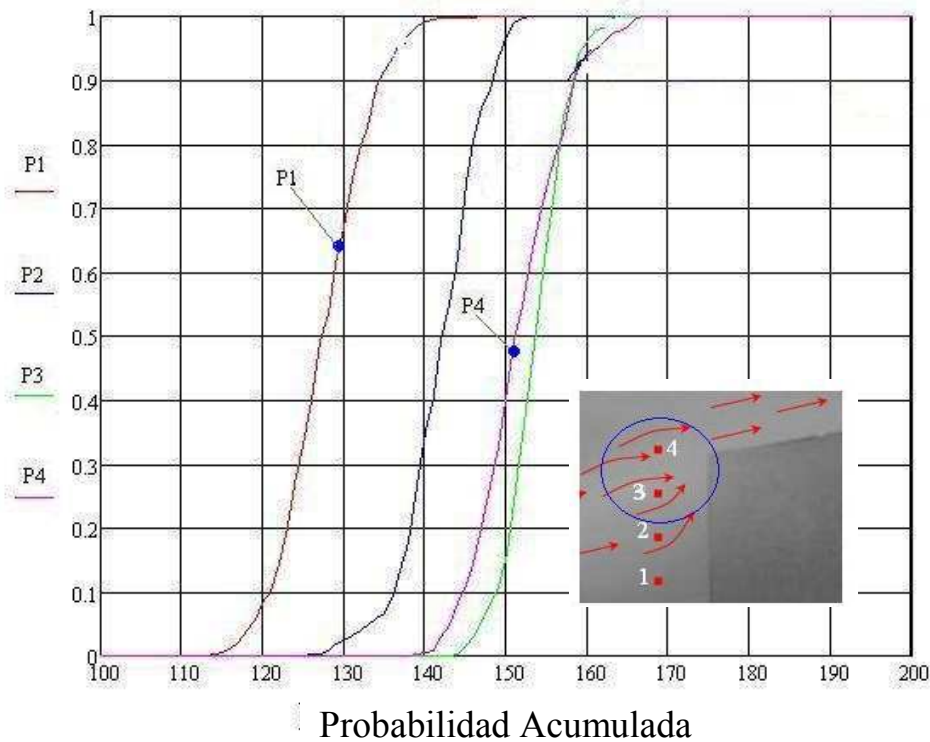


Figura 7. Funciones de probabilidad acumulada μ_z para el caso 6.

CONCLUSIONES

Los histogramas representan la distribución de la densidad de probabilidad asociada al proceso de dispersión, en este caso, a través de la frecuencia de repetición de la escala de gris de los fotogramas obtenidos en una región rectangular de la pluma en el canal de viento. Esta herramienta permite profundizar aún más el análisis del campo de concentraciones en la pluma de dispersión. El estudio permite establecer que plumas semejantes en modelos reducidos con flujos incidentes y configuraciones similares dan como resultado distribuciones de probabilidad semejantes. En este caso, además de las comparaciones entre las diferentes situaciones, los resultados se comparan con los obtenidos por (Huber, 1989) en situaciones similares. Los histogramas permiten también visualizar influencias producidas por objetos que interfieren en la trayectoria de la columna de humo. Mediante el análisis de correlación entre histogramas se obtiene un indicador complementario que mide el efecto causados en el penacho.

La función de probabilidad acumulada, obtenida a partir de distribución de la densidad de probabilidad, constituye también una herramienta estadística complementaria para el análisis. En este caso permite analizar la influencia de la velocidad del viento en las características de la pluma, como así también los efectos causados por la interferencia de un obstáculo en el proceso de dispersión de contaminante. Eligiendo convenientemente una serie de puntos dentro de la pluma, es posible establecer una relación entre el ancho de la pluma y la velocidad del viento incidente. Las diferentes regiones de la curva representativa de la función de probabilidad acumulada presentan comportamientos distintivos de las diferentes regiones y situaciones. En este caso solamente se hace un análisis visual de las gráficas y de comparación cualitativa, pero se prevé realizar un análisis cuantitativo del comportamiento con representaciones gráficas de probabilidad más elaboradas.

El cálculo de los parámetros mencionados permite establecer comparaciones con resultados obtenidos en otros trabajos de investigación. Los valores experimentales, además, sirven como herramienta de calibración y permitirán acondicionar futuras escenas en el canal de viento, teniendo en cuenta la alta sensibilidad a la iluminación en este tipo de estudio. Para establecer la continuidad del trabajo desarrollado hasta aquí, se está evaluando el uso de dispositivos láser conectados a fotocélulas, con la intención de mejorar los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- Alvarez y Alvarez G., Wittwer A. R., Natalini M. B. (2004), "Estudio de escurrimientos turbulentos de capa limite en un túnel de viento de circuito abierto", IV Escola de Primavera em Transição e Turbulência, Pontificia Universidade Católica Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 27 de Setembro à 1º de Outubro de 2004.
- Bártulos D. (2006). Edición de Video. Cap.1 pp.28-29. Editorial Users.
- Gonzales. C. (1992). Tratamiento Digital de Imagen. Cap.1 pp.14. Editorial Addison – Wesley / Diaz de Santos.
- Holder, D. W. North, R. J. North, G. P. (1970) Optical Methods for Examining the in High speed wind tunnels, Aagaardograph 23, Nato advisory Group Aeronautical Research and Development.
- Huber H.A., (1988) Video Image of Dispersion in the near Wake of a Model Building. Part I. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 31 pp.189-223 Elsevier Science Publishers. B.V. Amsterdam-Printed in the Netherlands.
- Huber H.A., (1989). Video images of smoke dispersion in the near wake of a model building. Part II. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics Vol. 32. pp.263-284.
- Ohba M. (1992). Studies on Measurement Techniques of Video Images for Gaseous Diffuion Around a Building. Journal of wind Engineering and Industrial Aerodynamics Vol. 41-44. pp.2761-2772.
- Marray R. (1961). Estadística. Editorial McGraw-Hill. Cap.5 pp.91
- Marcos F. (2000). Tratamiento Digital de Voz e Imagen. Editorial Marcombo. Cap 3. pp.118-226.
- Vazquez R. Wittwer R. Perondi E. (2009). Evaluación de la Dispersión de Contaminantes en Flujos Turbulentos Mediante el Procesamiento de Imágenes. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, pp.51.
- Vazquez R. Wittwer R. Perondi. (2010), Aplicación de Técnicas de Edición de Videos para el Análisis de la Dispersión de Contaminantes en Flujos Turbulentos. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 14. pp. 127.
- Vazquez R., Wittwer R., Perondi E. (2011). Análisis del campo de concentración en un proceso de dispersión turbulento aplicando técnicas de procesamiento de video. (Enviado a ASADES 2011 – en proceso de evaluación).

Abstract: A procedure to estimate the concentration field in an atmospheric dispersion process based on video image edition is developing by using wind tunnel reduced scale models. Histograms, cumulative probability functions and other statistical tools are applied on stills from video edition to compare different plume regions. A reference position is defined and the comparative parameters around a scale reduced model are calculated. To process the information, software is used like a mathematical tool allowing to visualize and to compare results with other investigation works.

Keywords: dispersion models, video edition, wind tunnel.