

## **APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EDICIÓN DE VIDEOS PARA EL ANÁLISIS DE LA DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EN FLUJOS TURBULENTOS**

**R. D. Vazquez<sup>1</sup>, A. R. Wittwer<sup>2</sup>, E. Perondi<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Laboratorio de Electrónica, Facultad Regional Resistencia, Universidad Tecnológica Nacional

<sup>2</sup>Laboratorio de Aerodinámica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste.

<sup>3</sup>Departamento de Mecânica, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Rio Grande do Sul.

**Resumen:** El objetivo de este trabajo es evaluar la aplicación de técnicas de edición de video para el estudio de procesos de dispersión. Para tal fin, se implementa un procedimiento 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 para comparar regiones de una serie de fotogramas mediante técnicas de edición de video. Se define una posición de interés y se calculan parámetros que permiten comparar cuadros alrededor de un modelo a escala reducida en un túnel de viento. Para el procesamiento de la información, se utiliza un software como herramienta matemática, lo cual permite visualizar resultados y compararlos con otros trabajos de investigación en la misma línea.

**Palabras clave:** modelos de dispersión, edición de video, 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. (2009) 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 la obtención de los resultados es más rápida.

## EDICIÓN DE VIDEO

La edición de video es el proceso de seleccionar, ordenar, cortar y empalmar imágenes, dándoles un sentido. Una herramienta utilizada para dichos fines es la toma y consiste en el registro de una acción sin ningún corte. Una toma es la cantidad de veces que se registra un mismo plano. En el trabajo experimental realizado se destacan tomas cuyo corte es de siete segundos.

El plano está compuesto por una imagen, es la perspectiva visualizada del modelo a escala reducida en el canal de viento destacando su tamaño, angulaciones y alturas. La cámara de un plano puede tener cuatro angulaciones distintas y se debe especificar la resolución del video haciendo referencia al número de líneas verticales y horizontales. En el trabajo realizado se utiliza la norma NTSC (Bártulos, 2006) de 525 líneas. El conjunto de líneas verticales y horizontales tienen una unidad fundamental indivisible denominado píxel. El píxel es la unidad mínima que compone una imagen digital o fotograma.

Toda edición de video necesita obtener fotogramas mediante un dispositivo de captura de imagen denominado CCD (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 y se los puede considerar como unas series de imágenes digitales (Bártulos, 2006). En el trabajo de investigación las imágenes son monocromáticas y las regiones donde se estudian el proceso de dispersión se dividen 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 estima campos de concentración en regiones y se recurre a conceptos estadísticos para obtener valores representativos de los niveles de grises en los cuadros analizados. De este modo, la estadística proporciona una herramienta de análisis de la información en un cuadro. El concepto del promedio en una región (Marcos, 2000) se lo puede articular de la siguiente manera, ver figura 1.

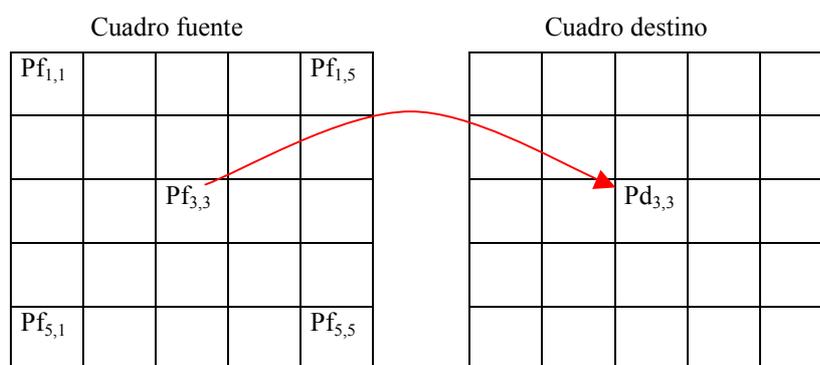


Figura 1. Cuadro Fuente representa una región rectangular donde se extrae la información. Cuadro destino se aloja el resultado de las operaciones estadísticas.

El cuadro fuente tiene una distribución aleatoria de las escalas de grises y Pf<sub>n,m</sub> representa la posición de los píxeles según la fila n o columna m. Pd<sub>3,3</sub> define la tercera fila y tercer columna del cuadro destino y su valor se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$Pd_{3,3} = \frac{\sum_{n=1}^{n=5} \sum_{m=1}^{m=5} Pf_{n,m}}{n.m} \quad (1)$$

El modelo de la pluma de Gauss de dispersión asume que las concentraciones en la pluma (vertical y lateralmente) pueden representarse por curvas basadas en funciones estadísticas de distribución estándar normal. En este sentido, la curtosis representa la distribución de la población (escalas de grises) respecto de la media. La skewness (Murray, 1970) se relaciona con la simetría de la distribución en relación a la media. Interferencias en la trayectoria de la pluma en el proceso de dispersión de contaminante afecta la simetría de la distribución normal. Dichos conceptos fueron utilizados por Huber (1989) para realizar estimaciones de campos de concentración en un proceso de dispersión de contaminante.

En el presente trabajo se utiliza el Matcad para realizar el algoritmo necesario para la segmentación de la columna de humo en los fotogramas y la implementación de la fórmula (1) seguido del cálculo de la desviación estándar, coeficiente de variación, curtosis y skewness. Los fotogramas tienen una resolución de 8 bits asignando 0 al negro y 255 al blanco. De esta manera, la mayor concentración de humo se ve en la imagen como una zona más blanca y por lo tanto el valor del nivel de gris correspondiente es mayor.

## 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 y basado en el uso de modelos a escala reducida, 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 Mpíxeles. 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 lo utilizado por Vazquez et al. (2009). La cantidad de fotogramas obtenidos se resume en la Tabla 1. La primera columna enumera las series de ensayos, la siguiente especifica la velocidad del viento en el canal de viento, la tercera columna identifica la existencia o ausencia del modelo a escala reducida en la escena en cada ensayo y la última columna representa la cantidad de fotogramas obtenidos según la norma de video.

Casos	Velocidad del viento medio en el canal (m/seg)	Modelo a escala	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 canal de viento.

En la Figura 2 se representa la ubicación de la toma de información en un ensayo experimental representado por cuadros denominada humo, humo1, humo2 y fondo. El resultado de la variación de las escalas de grises en el tiempo se visualiza en la Figura 5. Para analizar en forma estadística el campo de dispersión del flujo turbulento en el canal de viento, se definen cuatro puntos denominados P1, P2, P3 y P4.

En la Figura 3 se representan la ubicación de los puntos mencionados para configurar la escena y facilitar la toma de los datos en el canal de viento según las series de ensayos denominados casos 1, 2 y 3. El origen de coordenadas de los píxeles se sitúa en la esquina superior izquierda y eje de referencia se encuentra en la posición P(220,359).

En la Figura 4 se introduce en la escena el modelo a escala reducida a una distancia de 200 mm de la chimenea y el eje de referencia se ubica ahora en P(54,400).

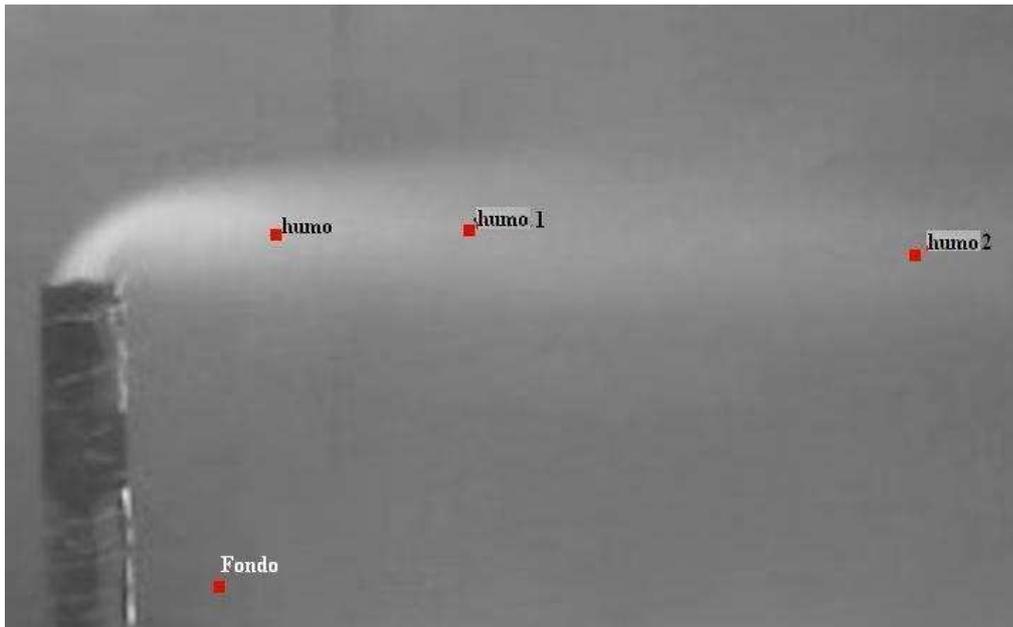


Figura 2. Esquema representativo en la toma de fotogramas en el primer ensayo destacando los cuadros humo, humo1, humo2 y fondo.

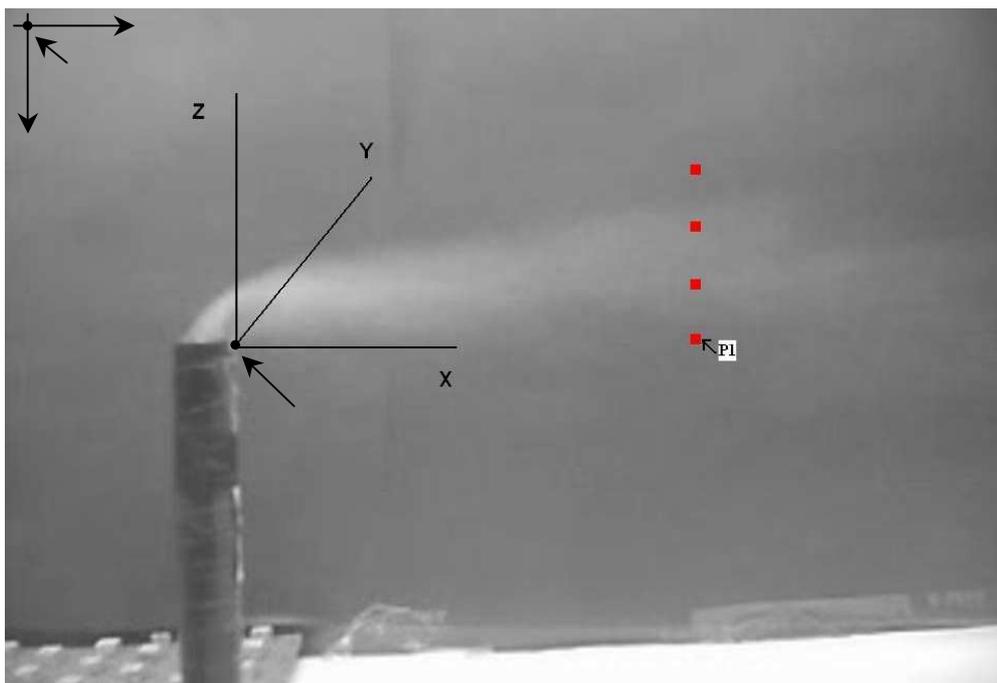


Figura 3. Características de la toma de datos en la escena para los casos 1, 2 y 3.

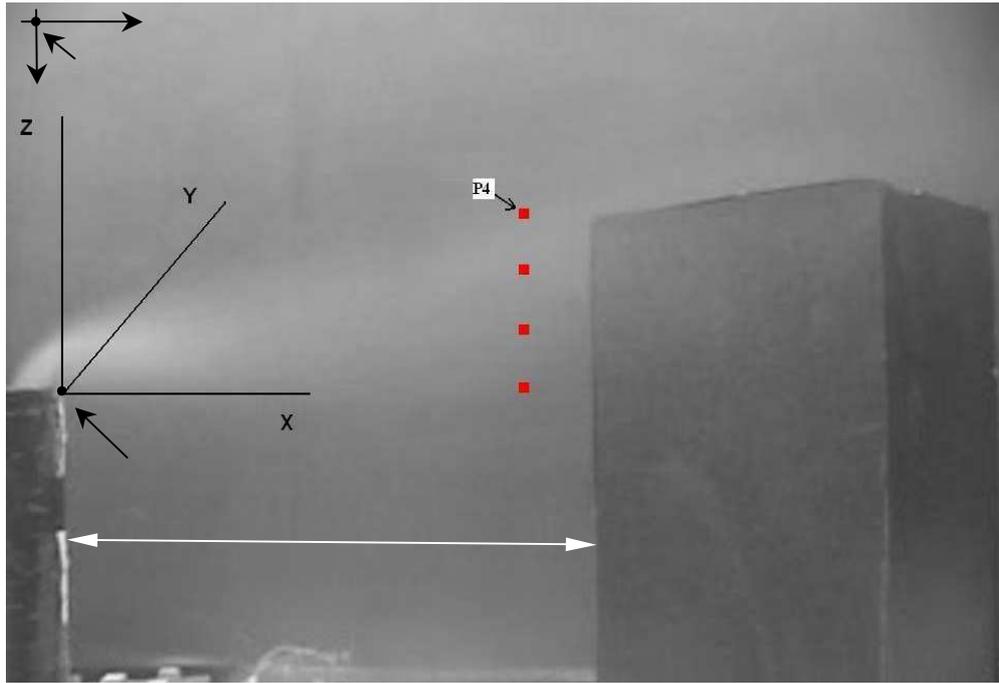


Figura 4. Características de la toma de datos en la escena para los casos 4, 5 y 6.

#### PROCESO DE DISPERSIÓN Y ESTADÍSTICA

El fenómeno del proceso de dispersión de contaminante en un régimen turbulento es de carácter aleatorio y debido a que existe una relación entre las escalas de grises tomada en una región de la pluma y la concentración de humo se puede estimar el campo de concentración en una región en función del comportamiento de las escalas de grises. Dicho fenómeno se visualiza en las fluctuaciones aleatorias de los cuadros denominados humo, humo 1, humo 2 y fondo ver Figura 5.

Se aplica a la señal aleatoria visualizada en cada cuadro conceptos estadísticos mencionados anteriormente, permitiendo obtener valores representativos del cuadro analizado y utilizarlos para realizar estimaciones sobre el campo de concentración.

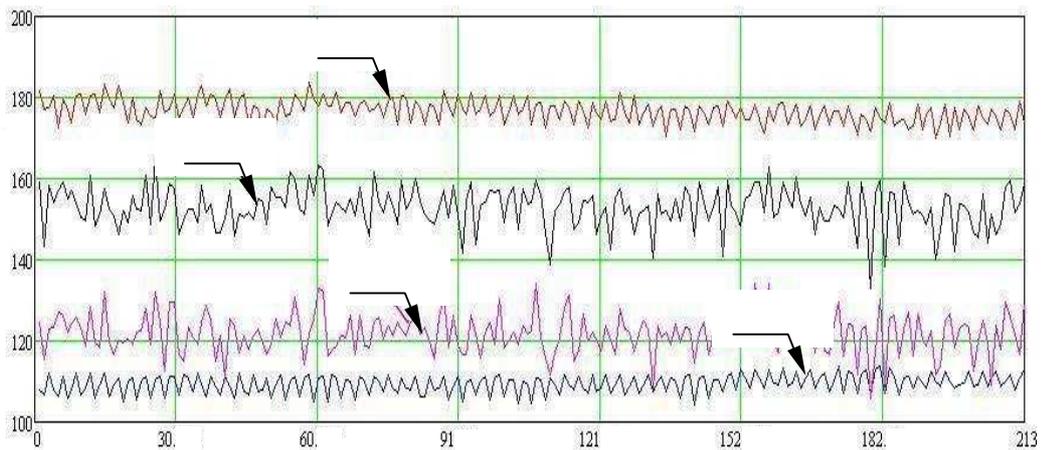


Figura 5. Variación de la escala de gris referidos a la etiqueta humo, humo 1, humo 2 y fondo.

Los resultados obtenidos son semejantes al trabajo experimental realizado por (Ohba, 1992) en relación a la variación temporal de la escala de gris en puntos en una región temporal de la imagen digital en diferentes fotogramas.

La Figura 5 puede ser representada en la Tabla 2. En ella, se observa a la columna denominada chimenea y expresa el valor medio de la escala de gris en una región muy próxima a la misma. STD representa la desviación standard y CV es el coeficiente de variación. La columna denominada fondo muestra la media de las escalas de grises en lugares donde no se encuentra la pluma.

Dadas las condiciones de trabajo y la iluminación, es posible determinar presencia o ausencia de humo mediante el cálculo del coeficiente de variación CV. El estudio del proceso de dispersión en una región de los fotogramas se puede realizar analizando los valores de las tablas 3 y 4.

Casos	P(x,z)	Chimenea	STD	CV	P(x,z)	Fondo	STD	CV
1	200,340	181	9.77	5.40	600,100	114	2.36	2.05
2	200,340	182	6.34	3.47	600,100	114	2.48	2.17
3	200,340	175	7.55	4.31	600,100	112	2.58	2.30
4	25,390	193	13.49	6.98	400,530	117	2.64	2.25
5	25,390	196	7.96	4.05	400,530	113	2.61	2.30
6	25,390	182	5.81	3.18	400,530	113	2.51	2.21

Tabla 2. Se representa los resultados estadísticos en regiones rectangulares cercanas a la chimenea y fondo.

Un software como por ejemplo el MathCad se utiliza para tener accesos a las escalas de gris en una región rectangular de la imagen en cada fotograma. Mediante operaciones matemáticas se calculan los descriptores que representan las características del proceso de dispersión y cuyos rangos de variación están comprendidos entre los obtenidos previamente en la tabla 2.

En tablas 3 y 4 el primer elemento de la primera columna representa el ensayo y P1, P2, P3 y P4 hace referencia a los puntos de la imagen donde se tomaron los valores de las escalas de grises de una región rectangular de 7x7 píxeles en una serie de fotogramas. La siguiente columna denominada P(x,z), se refiere a la posición del punto en el fotograma donde se procesa la información, la columna denominada región rectangular representa los valores medios de la escala de grises correspondiente a todos los píxeles del rectángulo centrado en P(x,z) y la columna curtosis y skewness visualiza el comportamiento de las escalas de grises en dicha región.

Caso 1	P(x,z)	Región rectangular	STD	CV	curtosis	Skewness
P1	622,356	129	6.73	5.22	12.90	3.57
P2	622,303	133	6.76	5.05	12.60	3.56
P3	622,247	131	7.90	6.01	20.85	4.22
P4	622,192	128	3.62	2.83	35.23	5.83

Tabla 3. Se representa los resultados estadísticos en regiones según los puntos P1, P2, P3 y P4 para el caso 1.

En el caso 1 P1 y P4 están alejados de la columna de humo y la media de la escala de gris es menor que el centro de la pluma, ver figura 6. En especial P4 se encuentra en los límites de la pluma (más que P1) por ese motivo la media es la menor de la tabla 3 al igual que el CV, su curtosis tiende a valores del fondo y van en aumento a medida que la velocidad del canal de viento se incrementa. Este comportamiento es debido a que la columna de humo se estrecha y los valores de la población de las escalas de grises de P4 tienden al fondo.

La tabla 4 representa el caso 6 y los valores estadísticos son influenciados por la interferencia causada por el objeto en el camino de la columna de humo.

Caso 6	P(x,z)	Región rectangular	STD	CV	curtosis	Skewness
P1	497,399	128	5.38	4.20	18.15	4.23
P2	497,343	142	4.86	3.41	23.84	4.73
P3	497,287	154	3.73	2.42	24.82	4.98
P4	497,231	152	5.41	3.56	17.23	4.11

Tabla 4. Se representa los resultados estadísticos en regiones según los puntos P1, P2, P3 y P4 para el caso 6.

Debido a la obstrucción que ejerce el modelo a escala reducida en el canal de viento en la trayectoria de la pluma el humo se desplaza a través de P4 ver Figura 7. Dicho fenómeno es evidenciado por el aumento de la media de la escala de gris en el punto y la disminución relativa de la curtosis.

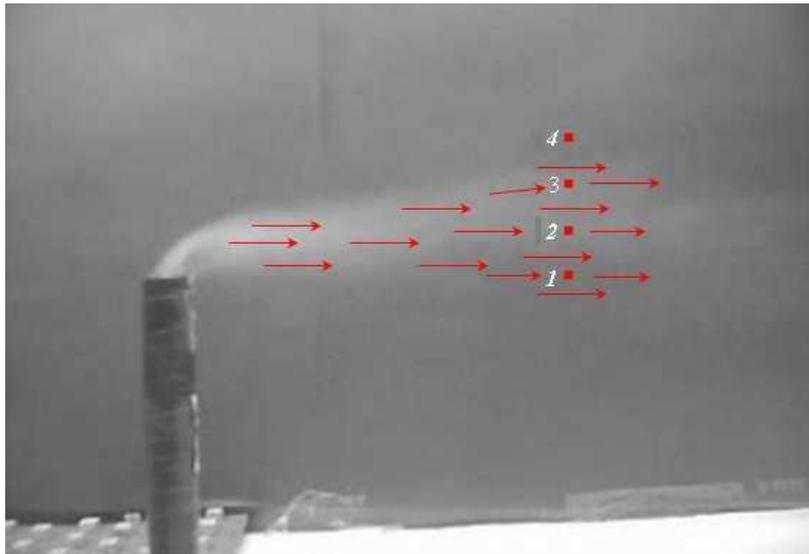


Figura 6. La columna de humo se desplaza sin interferencia y la concentración de humo es leve en los puntos P4 y P1.

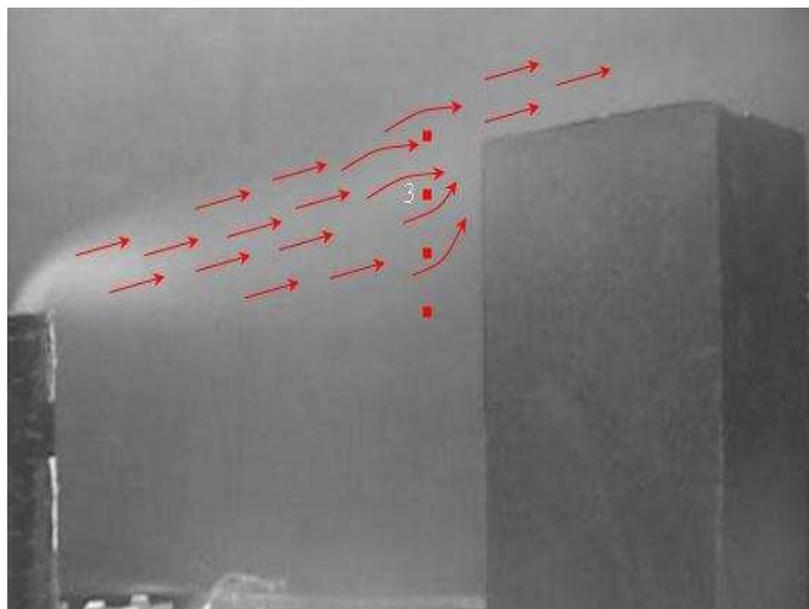


Figura 7. La columna de humo se desplaza por encima del modelo a escala reducida y la concentración aumenta en P4.

## CONCLUSIONES

El trabajo presenta un procedimiento para calcular el campo de concentración en procesos de dispersión atmosférica, utilizando modelos a escala reducida en un túnel de viento. Para obtener el campo de concentraciones, se recurrió a la edición de video y técnicas de procesamiento de imágenes. A través de la toma de la edición de videos, se generaron fotogramas de la pluma de emisión simulada con humo. Técnicas de procesamiento digital de imágenes permitieron la segmentación del humo en los fotogramas y el cálculo del promedio aritmético de las imágenes.

Para analizar más detalladamente el proceso, se realizaron comparaciones de cuadros en diferentes regiones de la imagen digital, empleando herramientas estadísticas, tales como la curtosis y skewness. Para ello se definió una posición de interés y se generaron los descriptores que se utilizan en la comparación de los cuadros en torno al modelo de la obstrucción. Los cuadros están representados por las escalas de grises, que se relacionan con la concentración en la columna de humo. Los descriptores representan estados de concentración en una región. En el caso de comparar comportamientos de la población correspondiente a una región rectangular, en una posición determinada, es posible, utilizar adicionalmente los histogramas de las escalas de grises.

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, Agaardograph 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
- Vazquez R. Wittwer R. Perondi E. (2009). Evaluación de la Dispersión de Contaminantes en Flujos Turbulentos Mediante el Procesamiento de Imágenes. Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, pp.51.

**Abstract:** The objective of this work is the evaluation of video image edition to study dispersion process. A procedure to estimate the concentration field in an atmospheric dispersion process is developed by using wind tunnel scale models. To compare different plume regions by stills from video edition, statistical tools are applied. 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.