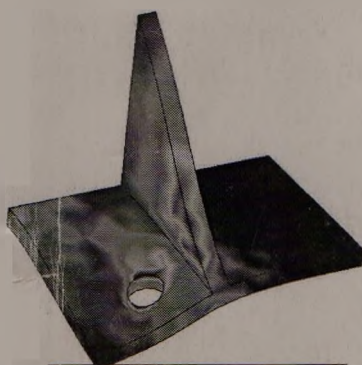


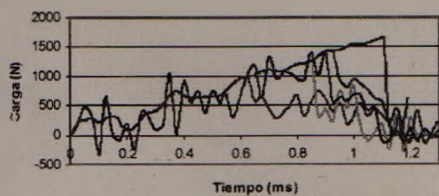
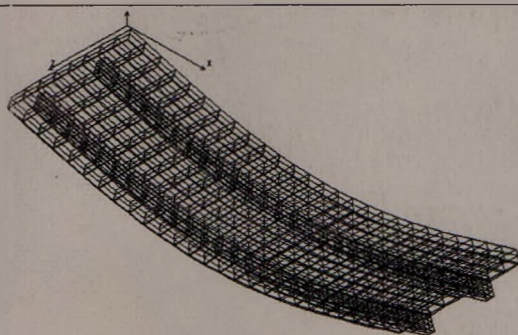


Universidad Nacional del Nordeste
Facultad de Ingeniería
U.N.N.E. – Resistencia - Chaco
10 al 12 de Noviembre de 2004

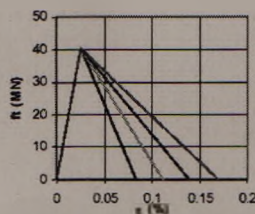


Contour Plot of NODAL V. MISES
(Deformation (M0): DISPLACEMENT of LOAD ANALYSIS, step 1.

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

Estudio de procesos de difusión de gases contaminantes en la atmósfera mediante la técnica de visualización

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

La calidad de aire en una zona, es función directa de la cuantía de emisión y de los fenómenos de transporte y dispersión que tengan lugar en la atmósfera sobre las plumas que conforman los gases y las partículas emitidas por un foco contaminante. Cuando una emisión de un gas o vapor entra en contacto con la atmósfera sufre una dispersión por dilución del gas en la misma y se extiende en ella arrastrado por el viento y las condiciones meteorológicas.

Las condiciones meteorológicas y la duración del escape tienen una gran importancia en el alcance de la dispersión de la pluma. Los factores principales son: la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica, la cual es definida en función del gradiente vertical de temperatura de las capas del aire. Diversos trabajos demuestran que la máxima concentración depende de la altura de la chimenea, pero por otra parte a la distancia a sotavento donde la concentración es máxima es fuertemente dependiente de la estabilidad. Por otro lado, emisiones producidas en la capa límite superficial, es decir, a alturas menores a 100 m, la turbulencia mecánica generada por la topografía del terreno y los obstáculos próximos tienen una incidencia primordial.

La causa de la dispersión de la pluma es la mezcla turbulenta y como los movimientos turbulentos son de naturaleza aleatoria, la pluma en un instante dado tendrá una forma ondulada. La pluma media se obtiene promediando sobre un número de plumas instantáneas, el promedio en el tiempo elimina las variaciones a corto plazo, y la pluma promedio aparece bastante uniforme y simétrica (De Nevers, 1998).

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 medición de valores instantáneos de concentración en túneles de viento es una herramienta útil que puede tener una variedad de aplicaciones. Este análisis puede realizarse efectuando una simulación de la pluma emitida, captando una serie de fotografías del proceso y realizando posteriormente un procesamiento digital de las imágenes obtenidas. Estudios de este tipo se han realizado en distintas partes del mundo con resultados satisfactorios como por los obtenidos por White y Stein (1990) que determinaron la dispersión a sotavento producida por una chimenea de altura variable en un edificio, empleando humo con trazador y grabando con una video cámara el ensayo, para luego procesar las imágenes adquiridas. Gerdes y Olivari (1999) también emplearon la técnica de

visualización del flujo, midiendo la intensidad pixel a pixel de imágenes captadas con una cámara en el análisis de fenómenos de dispersión en cañones urbanos.

En este trabajo se buscó aplicar en el nuevo túnel de viento, TV2, de la UNNE, una técnica de visualización para el análisis de las concentraciones en una pluma, determinando las modificaciones que se necesitan implementar para mejorar los resultados obtenidos, para ello se examinó el comportamiento y la configuración de la pluma obtenida a diferentes números de Reynolds. La concentración del contaminante fue medida empleando humo como trazador y obteniendo fotografías del proceso, seguidamente estas imágenes fueron procesadas digitalmente.

Materiales y métodos

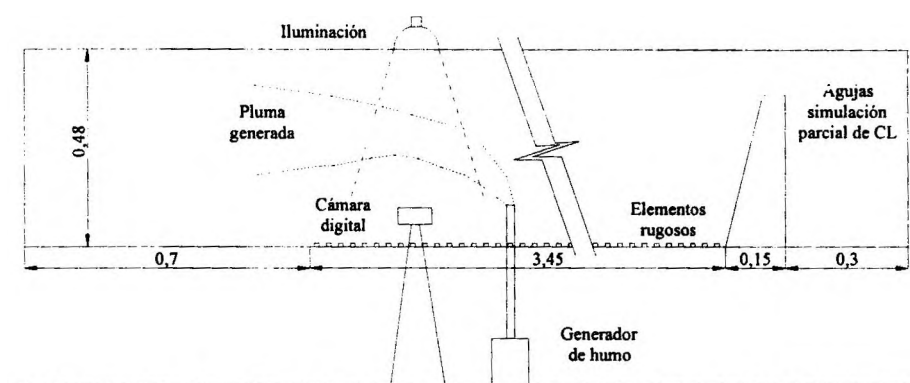


Figura 1. Disposición del instrumental durante el ensayo.

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 de 1450 rpm y 10 CV de potencia.

La simulación de la capa límite atmosférica se efectuó empleando elementos de rugosidad y dispositivos de mezcla apropiados para reproducir una capa límite neutralmente estable de espesor parcial. 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.

Una vez establecida la simulación de la capa límite atmosférica en el túnel de viento, los requerimientos de semejanza para el modelado exacto del comportamiento de la pluma de emisión pueden resumirse de la siguiente forma (Isyumov y Tanaka, 1980):

- | | |
|---|-----------------------------|
| - Semejanza geométrica de la fuente | $\lambda_L = d_{0m}/d_{0p}$ |
| - Igualdad del número de Froude | $Fr = gd_0/u(h_0)^2$ |
| - Igualdad de la relación de densidad | ρ_0/ρ_a |
| - Igualdad de la relación entre velocidades | $w_0/u(h_0)$ |
| - Igualdad del número de Reynolds | $Re_0 = w_0d_0/\nu_0$ |

Donde h_0 es la altura de la chimenea, u es la velocidad del flujo atmosférico, w_0 es la velocidad de salida de la emisión, d_0 es el diámetro de la chimenea, ρ_a y ρ_0 las densidades del aire y la emisión respectivamente. Estos requerimientos de modelado exacto, generalmente no se cumplen en ensayos en túneles de viento, además, en una etapa preliminar como la que se expone en este trabajo no son necesarias mayores consideraciones de semejanza. Como no se está reproduciendo una fuente de emisión determinada, simplemente fueron considerados el número de Reynolds y la relación de velocidades, no como parámetros a ser reproducidos sino como parámetros de comparación.

Para la realización del ensayo se empleó humo producido por un generador que utiliza un líquido a base de glicerina, la velocidad de salida del humo fue aproximadamente 14,3 m/seg. La fuente del contaminante fue representada mediante un conducto metálico de 1,02 cm de diámetro interno y 10 cm de alto, ubicado en el centro de la cámara. Se prestó especial cuidado a la iluminación de la pluma, tratando que solo un haz lineal de luz la intercepte. Las imágenes fueron captadas por una cámara digital y luego transferidas a un ordenador.

Resultados

En una primera instancia se efectuó el ensayo a la máxima velocidad posible en el canal 18 m/seg, y la pluma desarrollada puede verse en la Figura 2, en esta ocasión el número de Reynolds con respecto a la altura del canal fue de $Re = 580650$. A continuación, se redujo la velocidad alcanzando el valor de 9,82 m/seg en la mitad de la altura de la cámara de ensayo y alcanzándose un número de Reynolds de 308850, la pluma en esta situación se encuentra representada en la Figura 3. Finalmente, se obtuvo la configuración de la pluma para una velocidad de 1,83 m/seg determinada en la mitad de la altura de la cámara de ensayo con un consiguiente número de Reynolds de 58900.

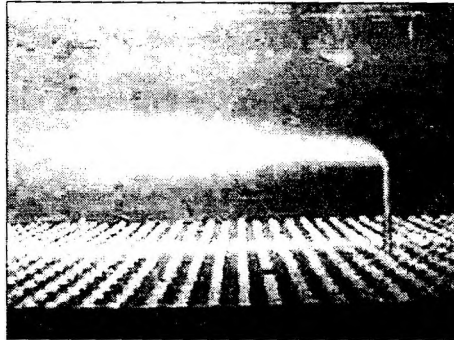


Figura 2. Pluma de dispersión en la cámara del túnel de viento, correspondiente al $Re=580650$.

Las imágenes captadas con la cámara fueron de alta resolución, para que permitieran su posterior procesamiento. El mismo consistió en superponer a la fotografía una malla, y realizar una valoración en función de la intensidad del color que tuviese cada cuadro, comparando con un patrón realizado. El patrón empleado en la comparación, se determinó asignando el menor y mayor valor, a la menor y mayor intensidad encontrada en la imagen, respectivamente. A continuación, se procedió al trazado, cada 0.1 m, de los perfiles longitudinales de concentración, en función de los valores asignados a cada cuadro de la malla. En la Figura 5 se aprecia el resultado del procesamiento correspondiente al ensayo realizado a una velocidad de 1,83 m/seg. Únicamente fueron procesados los resultados correspondientes a la menor velocidad y No. de Reynolds, porque es la situación en que mejor se puede visualizar el proceso de difusión.

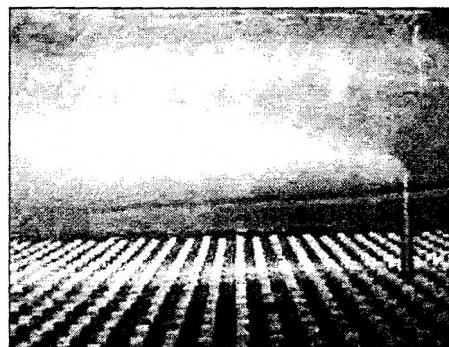


Figura 3. Pluma de dispersión en la cámara del túnel de viento, correspondiente al $Re=308850$.

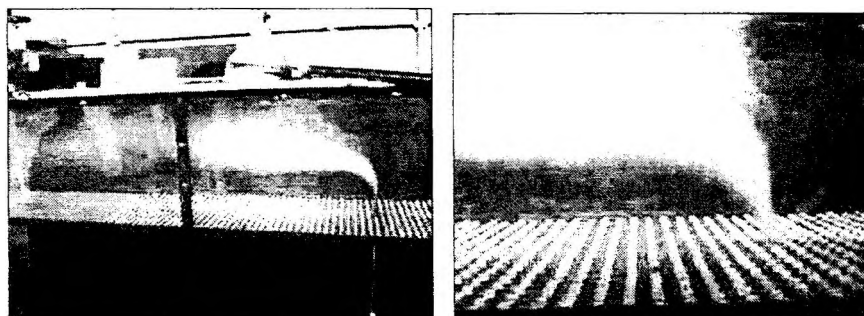


Figura 4. Pluma de dispersión en la cámara del túnel de viento, correspondiente al $Re=58900$.



Figura 5. Desarrollo de la pluma en túnel, correspondiente una velocidad de 1.83 m/seg.

En la discusión cualitativa del comportamiento de la pluma y su dependencia de la estabilidad atmosférica, frecuentemente se mencionan tres modelos básicos; ondulado, el que ocurre cuando la temperatura disminuye rápidamente con la altura (gradiente es inestable); cónico, si disminuye poco o es constante con la altura (en condiciones aproximadamente neutrales) y abanico, si aumenta con la altura (inversión). También se mencionan tres modelos intermedios; el de elevación que ocurre cuando la chimenea se extiende a través de la inversión de superficie con una capa inestable arriba; y fumigación y confinado que ocurren cuando una capa de superficie inestable o neutral está limitada por una inversión arriba de la altura de la chimenea.

El levantamiento de la pluma por encima de la altura de la chimenea depende de factores meteorológicos y de emisión; entre los meteorológicos se tiene a la velocidad del viento u , la temperatura del aire T_a , el gradiente vertical de la velocidad, la presión atmosférica p y la estabilidad atmosférica. Y los factores de emisión que influyen son la velocidad del efluente al salir de la chimenea v_s , su temperatura T_s y el diámetro interior de la chimenea d . La mayoría de las fórmulas para determinar el levantamiento de la

pluma Δh , son empíricas debido a la complejidad de las relaciones entre las variables, como por ejemplo la ecuación de Holland (1) la cual fue desarrollada a partir de datos experimentales.

$$\Delta h (m) = \frac{v_s \cdot d}{u} \left(1,5 + 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot p \cdot d \cdot \frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (1)$$

Esta expresión como muchas expresiones de origen empírico requiere del empleo de determinadas unidades.

En la Tabla 1, se expresan los valores de levantamiento de pluma hallados en los ensayos, en función de las distintas velocidades, junto con los determinados empleando la expresión de Holland (1).

u (m/seg)	u/v _s	Δh teórica (m)	Δh real (m)
18,00	1,26	0,012	0,012
9,57	0,67	0,023	0,021
1,83	0,13	0,121	0,188

Tabla 1. Comparación de los valores de levantamiento de pluma en función de la velocidad determinados experimentalmente y teóricamente con la expresión (1).

La determinación del levantamiento de la pluma es necesaria para el cálculo de la altura efectiva de la chimenea, que se obtiene de la suma de la altura real de la chimenea más el levantamiento Δh de la pluma, la altura efectiva interviene en las expresiones de los modelos matemáticos de difusión, como es el caso del modelo de Gauss.

Discusión de resultados y conclusiones

El propósito de las mediciones realizadas con la cámara es la investigación de la dispersión de la pluma haciendo un análisis cualitativo y cuantitativo de imágenes fotográficas. En las Figuras 2, 3 y 4, se aprecian las modificaciones generadas en la pluma simulada al variar el número de Reynolds. Se ve que únicamente para números de Reynolds bajos se produce un levantamiento significativo de la pluma.

Como el ensayo fue realizado en condiciones de estabilidad neutra la pluma debería adaptarse al modelo cónico, si se analizan las Figuras se puede apreciar que la adaptación de la pluma a este modelo es correcta, cabe destacar que en el último caso y tal como lo indica la Figura 5 se produce en primer lugar un levantamiento de la pluma, pero a continuación, ésta tiende rápidamente a adoptar una forma cónica. En cuanto a la comparación efectuada en la Tabla 1 del levantamiento de las plumas generadas a

distintas velocidades, se aprecia claramente que este será mayor cuanto menor sea la velocidad y se ve que en los dos primeros casos la situación simulada concuerda con los valores calculados con la expresión (1). La disparidad que se presenta en el tercer caso entre el valor teórico y el simulado de Δh puede atribuirse a las condiciones de realización del ensayo. Es necesario señalar que la técnica empleada tiene sus limitaciones, ya que la iluminación y adquisición de imágenes, en principio, deben mejorarse. Debe apuntarse a generar un haz de luz uniforme que intercepte a la pluma linealmente, y esta no debe provenir de una fuente de luz puntual como la empleada en el ensayo que puede verse en la Figura 1 y en la Figura 4. También se puede mejorar la toma de las fotografías si estas se hacen de acuerdo a una secuencia y siempre desde la misma posición, cuidando que sombras o luces exteriores alteren la imagen, como sucede en la Figura 4.

Este tipo de experiencia se realiza por primera vez en la región y los resultados obtenidos en este trabajo contribuirán en gran medida al perfeccionamiento de técnicas de visualización, que como se describió tienen la ventaja de ser más sencillas económicas de realizar que los estudios de campo. Por otro lado, en estudios de este tipo, un primer análisis cualitativo significa una optimización de los posteriores ensayos de medición puntual de concentraciones.

Referencias

Alvarez y Alvarez, G. M., Castro, H. G., Wittwer, A. R., Marighetti, J. O., De Bortoli, M. E.; Natalini, M. 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.

Davis, M., Cornwell, D., 1998, "Introduction to Environmental Engineering", Third Edition, Mc Graw-Hill.

De Nevers, N., 1998, "Air pollution control engineering", McGraw-Hill.

Gerdes, F., Olivari, D., 1999, "Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 82, pp. 105-125.

Isymov, N., Tanaka, H., 1980, "Wind tunnel modelling of stack gas dispersion – Difficulties and approximations", *Wind Engineering, Proceedings of the fifth International Conference, Fort Collins, Colorado, USA*, Ed. by J. E. Cermak, Pergamon Press Ltd.

Stull, R. B., 1998, "An introduction to boundary layer meteorology", Kluwer Academic Publishers.

White, B. y Stein, W., 1990, "Wind tunnel studies of variable stack heights for a low – profile building", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 36, pp. 675-687.