

SISTEMA DE MEDICION DE CAMPOS DE VELOCIDADES EN AIRE UTILIZANDO VISUALIZACION DE LINEAS DE HUMO Y TECNICAS DE PROCESAMIENTO DE IMAGENES

D. Hoyos, I. De Paul M. Vilde
INENCO (CONICET) CIUNSa
Tel. 0387-4255578 e-mail: hoyosd@unsa.edu.ar

RESUMEN: El presente trabajo tiene por objeto presentar un método de medida de campos de velocidades de fluidos, basado en la adquisición de imágenes a través de fotografía o filmaciones. El sistema mide el desplazamiento de masas de aire de diferente intensidad luminosa que el resto del medio y en función de las diferencias estima el campo de velocidades. Con este método se puede medir la velocidad de las nubes en el cielo o la velocidad con que se desplazan líneas de humo. Con este fin se utiliza una generalización del método PIV de velocimetría de partículas.

Palabras clave: energía solar, instrumentación, convección natural, velocimetría en aire

INTRODUCCION

Este trabajo surge de la necesidad de disponer de datos cuantitativos del campo de velocidades del aire en un medio, por ejemplo, en túneles de viento. Existen diferentes métodos para medir campos de velocidades de aire, entre los que se podrían mencionar: anemometría y PIV [Adrian, 1991]; el primer de ellos es un método perturbativo que analiza un punto del campo de velocidades; el segundo es un método que analiza un plano del campo de velocidades y necesita la inclusión de pequeños trazadores.

Para analizar el movimiento de una masa de fluido utilizando imágenes se debe incluir en el mismo un trazador o sea alguna sustancia de la misma densidad pero de diferente color que pueda ser apreciada por una foto o cámara y que se desplace con el fluido.

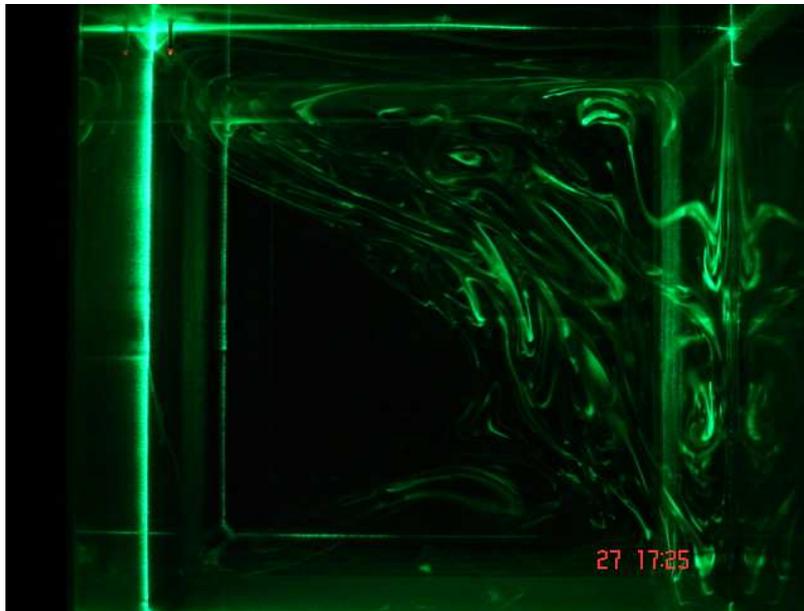


Figura 1: Experiencia de visualización de campos de velocidades utilizando humo

Se utilizó una técnica de visualización del campo de velocidades de fluido que utilizó humo como trazador. En el camino del fluido se incluyó una fuente de humo la cual participaba del movimiento general del fluido por la convección y de esa forma al desplazarse, se pudo inferir el campo de velocidades, en la figura 1 se observa una imagen de dicha experiencia de visualización aplicada a un fenómeno de convección natural donde se inyectó humo en un cubo que contenía aire, se calentó el recipiente desde la pared derecha de la figura. Un haz láser ilumina la escena en un plano en el que se observó que el humo se desplazó debido a la convección natural y adquirió la forma que se muestra en la figura 1, las distintas posiciones que adoptó el líquido permitió inferir datos acerca del campo de velocidades. Las mediciones se realizaron sacando fotografías, separadas entre sí un tiempo pequeño y del análisis de ellas se pudo inferir propiedades del campo de velocidades.

Es objetivo de este trabajo desarrollar un método que permita obtener un dato cuantitativo del método descrito en el párrafo anterior. Existen publicaciones en las cuales se plantea soluciones de este tipo para analizar flujo óptico en radiografías pero no para el caso del problema planteado [R. P. Wilde, 1996].

Los métodos PIV [Adrian et al, 1998] o velocimetría de partículas se basan en suponer que existen en el fluido partículas de densidad similar al fluido arrastrada por este en su movimiento. Entre dos imágenes tomadas separadas entre sí un tiempo t las partículas en un área determinada no tienen movimiento relativo entre sí, pero se desplazan en bloque con respecto a una posición anterior. Lo que permite tomar dos fotografías separadas entre sí un tiempo t y comparar el movimiento de una con respecto a la otra. Con este fin se realiza la correlación cruzada entre pequeñas ventanas de las dos imágenes y se determina la posición del máximo de la correlación, la cual representa el vector desplazamiento.

En el caso de analizar el movimiento del humo se presenta el problema que no existen partículas pequeñas sino zonas de similar iluminación

Como herramienta computacional se utilizó el programa SCILAB [M.M. Escobar, 2002] el cual es un programa matricial para matemática. Previamente a este trabajo se elaboró un conjunto de rutinas de procesamiento digital de imágenes (SCIALBPRO) que transforma la información de la imagen en un conjunto de matrices que se pueden operar matemáticamente desde SCILAB, en trabajos anteriores se desarrollaron rutinas para aplicar el método PIV [D.Hoyos et al, 2003] y calcular correlación cruzada. La pantalla principal de Scilab corriendo el Scilabpro es la mostrada en la figura 2.



Figura 2: Pantalla principal de Scilabpro

METODO DE CORRELACION CRUZADA

En este trabajo se propone aplicar el método PIV (particle image velocimetry) de correlación cruzada [W. Weng et al, 1995] a problemas de visualización en donde no se encuentran partículas sino superficies de iluminación variable, analizar la viabilidad del método y sus posibles limitaciones.

El método operacional para calcular la correlación cruzada consiste en: calcular la transformada de Fourier de cada una de las imágenes, obtener la conjugada de la segunda imagen y multiplicar punto a punto ambas matrices (que contiene la información de las imágenes de las partículas en el fluido). Posteriormente se calcula la antitransformada de las matrices. La posición del máximo de esta función respecto del extremo superior izquierdo de la imagen determina el desplazamiento del fluido respecto de su posición inicial la cual es el centro de la ventana de interrogación.

$$f = F^{-1}(F(r) \cdot \text{conj}(F(r1)))$$

r = matriz de luminancia en el instante t_0
 $r1$ = matriz de luminancia en el instante t_1
 f = matriz de correlación
 F = transformada de Fourier
 F^{-1} Inversa de la transformada de Fourier

Si se aplica correlación cruzada a una experiencia de visualización de flujo para obtener el desplazamiento de una masa de fluido se toman dos imágenes del fluido separadas entre sí un tiempo pequeño de forma que el fluido no cambie de forma demasiado y se aplica el algoritmo descrito en el párrafo anterior de a correlación cruzada.

Con el objeto de analizar el método se tomó una porción de la imagen de la figura 1 y se la considero como original; luego se tomó la misma imagen pero trasladada con respecto de la anterior 10 píxeles en el sentido de las y , 8 píxeles en el sentido de las x esta imagen corresponde al instante t_1 . Se aplicó el método de correlación cruzada y se obtuvo lo mostrado en la figura 3. La imagen original es la denominada uno y la otra es la dos. El resultado de la correlación se muestra en el grafica de correlación, donde se puede observar el máximo de la correlación en la esquina superior izquierda. Se debe recordar que en el sistema de coordenadas de pantalla el eje y crece desde arriba hacia abajo.

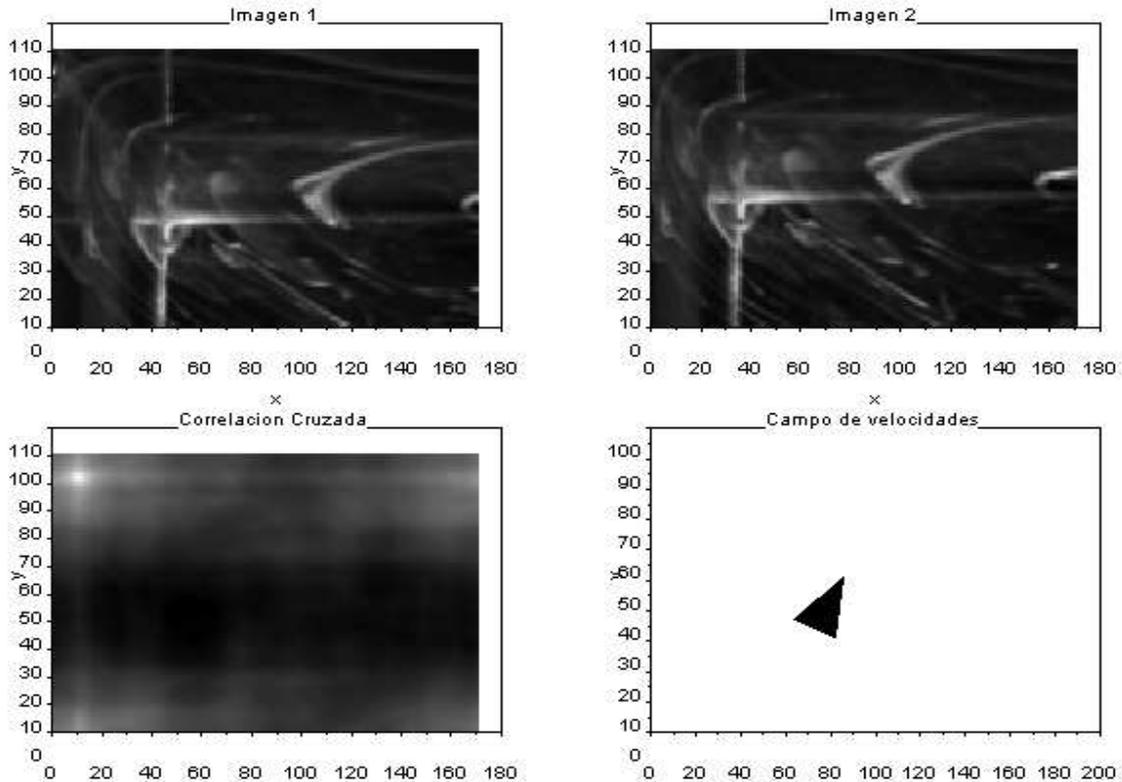


Figura 3: Medición del desplazamiento de una voluta de humo utilizando correlación cruzada

Para poder analizar la viabilidad del método se propusieron diversas experiencias, Sensibilidad del método: a la dirección y a la distancia desplazada, al ruido, al tamaño de la ventana.

Sensibilidad del método a la distancia y a la dirección desplazada

Se desplazó la imagen dos en distintas direcciones y distancias y se aplicó el algoritmo de medida, el método encontró el mismo resultado que el desplazamiento propuesto en todos los casos hasta un desplazamiento de 30 píxeles.

Sensibilidad del método al ruido

El siguiente paso consiste en agregar a la segunda imagen una componente de ruido gaussiano para analizar la respuesta del sistema al mismo. Al aplicar la correlación cruzada sobre una ventana tan grande se está promediando sobre una zona muy grande lo que permite eliminar casi completamente el ruido. Entonces no se observan variaciones de la medida. En la figura 4 se muestra la imagen original junto con la imagen de la figura 3 con ruido.

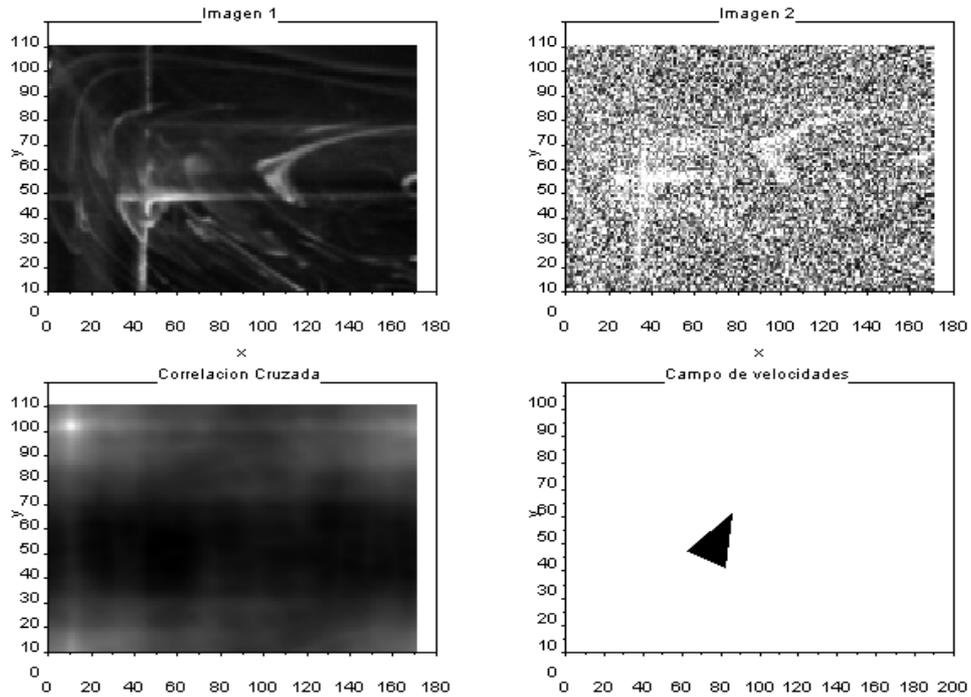


Figura 4: Medición del campo de velocidades en presencia de ruido

Sensibilidad del método al tamaño de la ventana

Utilizando las imágenes obtenidas se aplicó el algoritmo variando el tamaño de la ventana y el desplazamiento entre las dos imágenes, se calculo la desviación Standard con respecto del resultado esperado. Las curvas obtenidas se muestran en la figura 5 en la que se representa el alto de la ventana en el eje horizontal, la desviación de la medida en el eje vertical y las distintas curvas representan distintos desplazamientos, las curvas más altas corresponden a desplazamientos más altos.

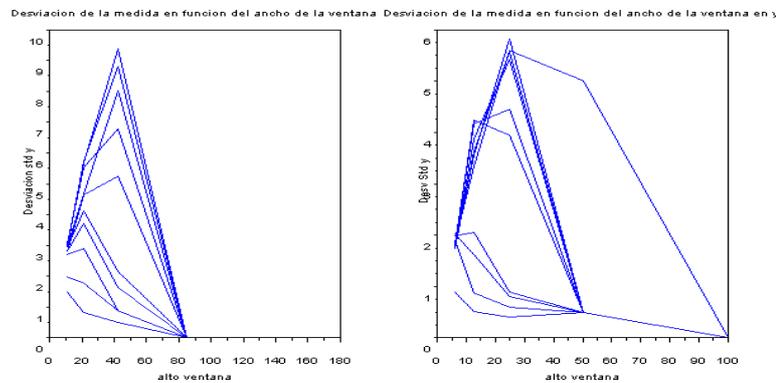


Figura 5: Desviación de la medida en función del ancho de la ventana

Del análisis del grafico surge que el tamaño de la ventana no depende demasiado del desplazamiento si no de las dimensiones de la estructura que se esta estudiando y que a partir de una ventana de 100x 100 el sistema casi no comete error..

DETECCIÓN DE FALLAS

La exactitud del método fue exhaustivamente estudiada en caso de partículas por [Westerweel J., 2000] y para iluminación no homogénea este método se encuentra en una situación similar por [R P. Wilde, 1997]. Al ser la correlación cruzada una medida de la semejanza entre dos señales o imágenes, en caso de ser exactamente iguales daría un valor máximo. Como una forma de normalizar este resultado se sugiere utilizar la relación entre el máximo de la correlación cruzada de las dos imágenes y el máximo de la autocorrelacion de la primer imagen. Si el resultado obtenido es muy cercano a 1 las imágenes son semejantes y el algoritmo fue exitoso en el calculo en caso contrario el algoritmo puede haber fallado. Esta relación tiene el problema que el resultado puede ser mayor que 1

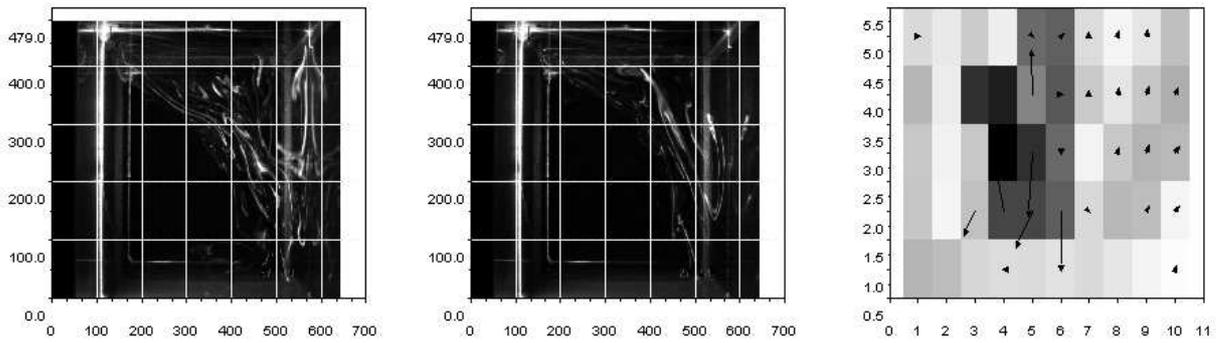


Figura 6: Detección de Fallas

Se aplico el algoritmo a dos imágenes bastantes diferentes, en la imagen 1 de la figura 6 se observa la primera fotografía y en la dos la siguiente. En el siguiente grafico se muestra el campo de velocidades y dependiendo del color en el grafico la posibilidad que el cálculo sea acertado o no si es blanco es acertado si es gris no.

Luego de algunas experiencias se determino que el calculo de velocidad es acertado, cuando el coeficiente se encuentra entre 0,85 y 1,15 en caso contrario se hace igual a cero el valor del campo vectorial.

Del análisis anterior surge que si el campo de velocidades presenta un vértice dentro de esa región se puede aumentar la resolución para encontrar el vértice.

APLICACIÓN DEL METODO

En la figura 5 se puede observar una fotografía del satélite GOES en el rango visible correspondiente al día 1 de junio del 2006 a horas 14:39. Para calcular el campo de velocidades que se muestra en la figura se empleo una segunda imagen tomada por el mismo satélite a horas 14:45 El campo de velocidades obtenido es el mostrado en la figura 5

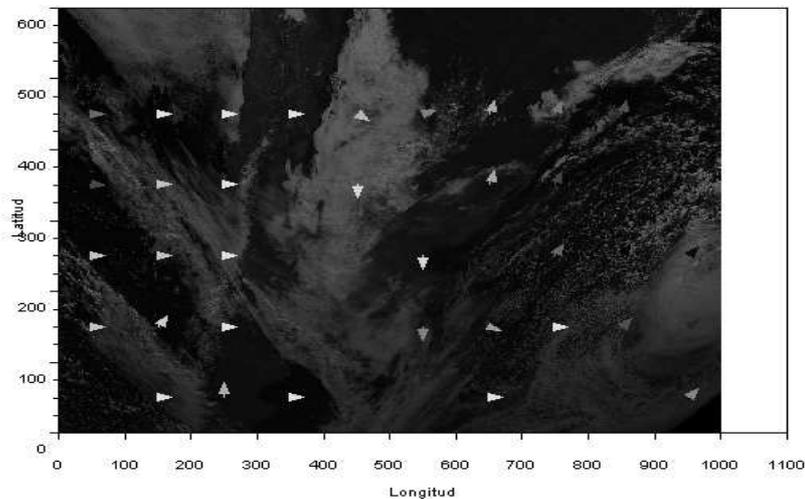


Figura 5: Foto del satélite GOES 8 correspondiente al DIA 1 de junio del 2006 a horas 14:39 y el correspondiente campo de velocidades obtenido de comparar con la foto satelital de horas 14:45

Se presenta la matriz de resultados de la componente x en la primera matriz e y en la segunda matriz del desplazamiento de la masa de aire en píxeles.

0.	1.	0.	1.	0.	0.	1.	0.	0.	3.	0.	0.	-2.	0.	0.	0.	0.	0.	-2.	
2.	1.	1.	0.	0.	0.	3.	1.	4.	6.	0.	-1.	0.	0.	0.	3.	1.	0.	-3.	-3.
2.	2.	1.	0.	0.	0.	0.	3.	5.	6.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	0.	-3.	-5.	-4.
6.	2.	1.	0.	0.	0.	1.	3.	4.	5.	1.	0.	0.	0.	1.	0.	-2.	-4.	-5.	-4.
5.	1.	1.	1.	2.	4.	1.	2.	2.	0.	0.	0.	0.	0.	1.	-1.	-2.	-3.	-4.	0.

CALIBRACION DE LAS IMAGENES

Este proceso consiste en transformar las coordenadas en píxeles de la imagen en coordenadas reales para poder realizar mediciones ciertas. En el caso de las imágenes de la figura 1 se debe conocer al menos cuatro puntos de la imagen y aplicando un algoritmo basado en geometría descriptiva se obtiene la matriz de calibración de la cámara a partir de la cual se puede determinar la posición de un punto dentro de la imagen y aplicando esa transformación obtener la velocidad real del campo en ese punto.

El caso de las fotos satelitales es más complejo GOES suministra un archivo en donde se encuentra documentado cada uno de los puntos de la imagen con su correspondiente latitud y longitud, aplicando lo anteriormente dicho se obtiene la latitud y longitud del punto, que proyectado a la altura donde se encuentran las nubes daría la velocidad de las mismas.

CONCLUSIONES.

El método de correlación cruzada se puede aplicar a la medición de experiencias de visualización de humo u otra experiencia en la cual una zona de la imagen se traslade siguiendo el campo de velocidades. Tiene una respuesta muy buena al ruido y puede medir velocidades relativamente altas sin errores apreciables, pero no opera satisfactoriamente sobre regiones pequeñas, no detectaría un vértice pequeño de una imagen, con el fin de tratar estos problemas se probaron distintos algoritmos basados en Wavelets y análisis de multiresolución, pero no se obtuvieron resultados mejores que los expuestos.

REFERENCIAS

- Adrian R, J Particle -Imaging Techniques for Experimental Fluid Mechanics Ann Rev Fluid Mech Vol 23(1991) pp 261-304
W. Weng G. Liao W. Fan (1995). An improved cross-correlation method for (digital) particle image velocimetry.
R P. Wilde, A M Lanzilloto, Michel J. Amabile T. S Leu Experiment with an algorithm for recovering Fluid from video imagery Proc DARPAIU workshop(1997)
R P. Wilde, A M Lanzilloto, Michel J. Amabile T. S Leu Physically based fluid recovery from image sequences David Sarnoff research Center (1998)
Westerweel J. (2000) Analysis of PIV interrogation for inhomogeneous image fields Laboratory for Aero and Hydrodynamics Delft University of Technology Mekelweg 2, 2628 CD Delft, The Netherlands
Westerweel, J. (1999) "Theoretical analysis of the measurement precision in PIV." In: *Proc. 3rd Int. Workshop on PIV* (Santa Barbara, CA), Sept. 16-18, 1999.
Manuel Mora Escobar (2002) **Introducción a SCILAB** Héctor Departamento de Matemáticas Universidad Nacional de Colombia
D. Hoyos E. Hoyos I. De Paul (2003) PROGRAMA PARA MEDICIÓN DE CAMPOS DE VELOCIDADES EN FLUIDOS UTILIZANDO VELOCIMETRÍA DE PARTÍCULAS AVERMA

ABSTRACT

In this paper we present a generalizable method to measure field of velocity in fluid using image processing of photographs. The system measure the move of air mass who have different luminance, It use particle image velocimetry and cross correlation method.

Keywords: solar energy, instrumentation, natural convection, air velocimetry