

## METODO DE MEDIDA DE VELOCIDAD EN FLUIDOS USANDO PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMAGENES

Daniel Hoyos e Irene De Paul  
INENCO<sup>1</sup>

Buenos Aires 177- 4400 Salta hoyosd@unsa.edu.ar

### RESUMEN

En la optimización del diseño de un sistema solar, se requiere en algunos casos, estudiar el movimiento del fluido dentro del mismo. En este trabajo, se presenta un método basado en la interferencia digital de dos patrones de trazadores, que se encuentran dentro del fluido en movimiento, los trazadores pueden ser por ejemplo: bolitas huecas de vidrio en suspensión dentro de un líquido o gotitas de agua en el aire. Se determina el desplazamiento de un patrón con respecto del otro en módulo y dirección lo que permite calcular la velocidad, iluminando con un haz de luz láser y tomando con una cámara imágenes del movimiento a intervalos de tiempo regulares. Las imágenes son ingresadas a una computadora y procesadas convenientemente. El método de medida fue desarrollado sobre la plataforma KHOROS y el programa de toma de imágenes sobre el framegrabber ITEX-MFG en C.

### DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA



Fig. 1: Sistema de medida

El sistema a medir debe ser transparente y contener algún tipo de trazador, el mismo es atravesado por un plano de luz láser que define la zona donde se realizará la medida. La luz láser es dispersada por los trazadores y la cámara obtiene una imagen de la posición de los trazadores en ese instante. Este sistema está descrito en referencia [1]. El programa de toma de imágenes puede adquirir: verdadero color, rojo, verde y azul. Al emitir el láser, luz con longitudes de onda correspondiente al verde, se utiliza el mismo para tomar las imágenes. El programa toma tres imágenes verdes desplazadas en un lapso definido de tiempo, guardando esta información como un archivo TIF para su posterior procesamiento. Un ejemplo de esta imagen es presentado en la figura 2 en que se muestra el vapor de agua en suspensión en el interior de un destilador real, las mismas están separadas en el orden que fueron tomadas.



Figura 2 :Secuencia de imágenes

<sup>1</sup> Instituto UNSA Conicet

Este programa fue desarrollado en MSC 5.00 y permite fijar el tiempo entre tomas de imágenes; el mínimo está en los 100 milisegundos. Puede realizar múltiples tomas de esta secuencia con un mínimo de un segundo entre tomas; este retardo se debe al tiempo de grabación del archivo en el disco duro, el tiempo de demora en la secuencia es debida a la comunicación de la computadora con el framegrabber y los pasos que debe realizar el programa.

### DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE MEDIDA

Para determinar el desplazamiento entre dos imágenes, formadas por la posición de trazadores, se aplica una técnica de interferometría digital, que consiste en tomar dos imágenes, sumarlas y calcular la transformada de Fourier. Si las imágenes utilizadas son similares entre sí, aparece un patrón de franjas, en donde la distancia entre las franjas es inversamente proporcional al desplazamiento de los trazadores. La figura 3 presenta una simulación del método en la que se realizó un desplazamiento de un patrón de trazas en la dirección horizontal.

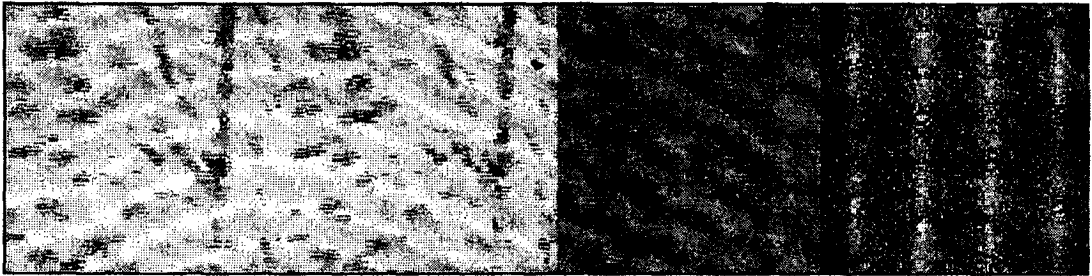


Figura 3: Simulación para comprobar el algoritmo de medida a) imagen original b) imagen desplazada, c) suma, d) transformada de Fourier

El éxito de este algoritmo depende esencialmente de que el cambio entre una imagen y otra se deba al desplazamiento de todos los trazadores en un determinado sentido, pequeñas variaciones son aceptables. En los sistemas en donde se aplica este método el movimiento de los trazadores se realiza en tres dimensiones y es distinto para cada lugar del plano de medida, lo que implica que los trazadores continuamente entran y salen del mismo, variando la dirección del movimiento continuamente, lo dicho anteriormente se puede observar en la figura 2. Por lo tanto se debe determinar un área en donde el método sea válido, la misma depende de cada aplicación y en algunos casos no se puede usar, en una misma imagen pueden existir áreas en donde el sistema no funciona.

En una medida real el algoritmo descrito no se puede usar directamente. Se divide el mismo en tres algoritmos a saber: preprocesado de la imagen; suma y transformada de Fourier; medición. A modo de ejemplo se procesó la imagen que se muestra en la figura 4, esta presenta un disco girando a una velocidad definida y tiene adherido un diodo led. Se tomaron las imágenes en secuencia.

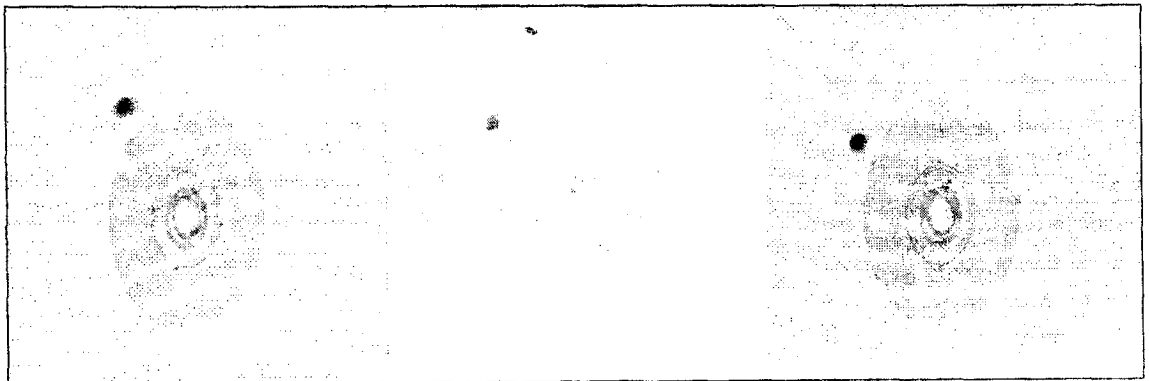


Figura 4: Secuencia de imágenes de un diodo led en rotación a)  $t=0$  ms, b)  $t=100$  ms, c)  $t=200$  ms

### PREPROCESADO DE LA IMAGEN

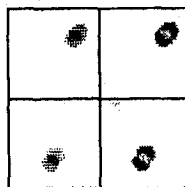


Figura 5: Detalle imagen 4a y 4b, mitad superior primera imagen y bordes de la misma, mitad inferior ídem

El objetivo de este algoritmo es filtrar de ruido la imagen y definir de la mejor manera la forma de las trazas. Con este fin se realizaron las siguientes operaciones sobre un área de 64x64 píxeles en donde se encuentra la mancha que se mueve en la imagen (figura 4). El histograma presenta dos máximos el primero corresponde al nivel de gris asociado al ruido de fondo; el segundo corresponde a la traza. Se toma como criterio de discretización, el nivel de gris medio entre ambos máximos; el resultado de esta operación es una máscara de ceros y unos, la cual al ser multiplicada por la imagen original elimina gran parte del ruido de fondo. Para definir la forma se aplica un filtro detector de bordes, del tipo gradiente. En la figura 5 se muestra el proceso realizado

### RESTA Y TRANSFORMADA DE FOURIER

Para eliminar imágenes fijas producidas por bordes o fondos, en el proceso de realizar la interferencia digital de dos imágenes usando transformada de Fourier, se realiza la resta de ambas imágenes y posteriormente se toma el valor absoluto. De esta manera se obtiene la superposición de las manchas asociadas al desplazamiento y se elimina el fondo fijo. A esta imagen se le aplica la transformada de Fourier y se forma una imagen con el módulo de la transformada, a esta imagen se le filtra para suavizar máximos calculando el logaritmo natural y el resultado de la operación es un patrón de franjas como se muestra en la figura 6

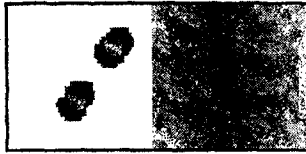


Figura 6: Imagen a) resta entre las imágenes 5, b) transformada de Fourier de (a)

### MEDICIÓN

Como se muestra en la figura 6 el desplazamiento se puede medir determinando la distancia entre franjas. El algoritmo que se utilizó consiste en: obtener la transformada de Fourier, eliminar las componentes de frecuencia más bajas y encontrar el máximo. Se calculó la transformada de la transformada de Fourier; entonces la distancia del máximo al centro de la imagen es directamente el desplazamiento de un grupo de partículas con respecto al otro grupo como se encuentra detallado en la figura 7

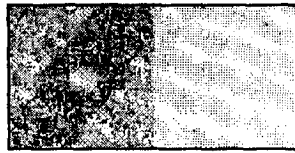


Figura 7: a) módulo de la transformada de (6 b) sin el centro, b) valores máximos de desplazamiento en (7 a)

### APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MEDIDA

Debido a que el sistema óptico usado para cada experiencia es distinto, en este trabajo se utiliza como unidad de medida el píxel. Las entradas y salidas de partículas en el plano de medición es la principal limitación del método y depende: del ancho del haz láser; del diámetro medio de los trazadores y la velocidad transversal de los mismos. El último parámetro es importante en flujos turbulentos y no puede ser medido de antemano, por lo tanto se tomó como criterio lo siguiente: proponer un área, realizar el histograma de dos imágenes en secuencia y si los histogramas son similares, aceptar esa área como la óptima. El tamaño del área por definición de la transformada rápida de Fourier debe ser una potencia de dos. Experimentalmente y para el sistema que se usó de ejemplo se determinó un área de 64x64 píxeles. La figura 8 muestra la secuencia de imágenes tomadas por la cámara a un sistema experimental que simula el desplazamiento de aire en una habitación, la misma es una caja de acrílico, el fluido es agua y los trazadores son bolitas de vidrio huecas.

Para probar el algoritmo de medida se eligieron distintas áreas con situaciones típicas, sobre la figura 8 se observan las distintas áreas analizadas. El área 1 presenta varias partículas que se desplazan en una dirección, el área 2 presenta el caso simple de una sola partícula en movimiento y finalmente el caso 3 presenta una partícula que se mueve sobre una pared. La figura 9 presenta una de las medidas realizadas y la tabla 1 los resultados de estas medidas

Nº Área	Máximo		Desplazamiento		Comparación	
	x	y	x	y	x	y
1	42	25	-10	7	x	
2	32	25	0	7	0	6
3	32	26	0	6	0	7

Tabla 1

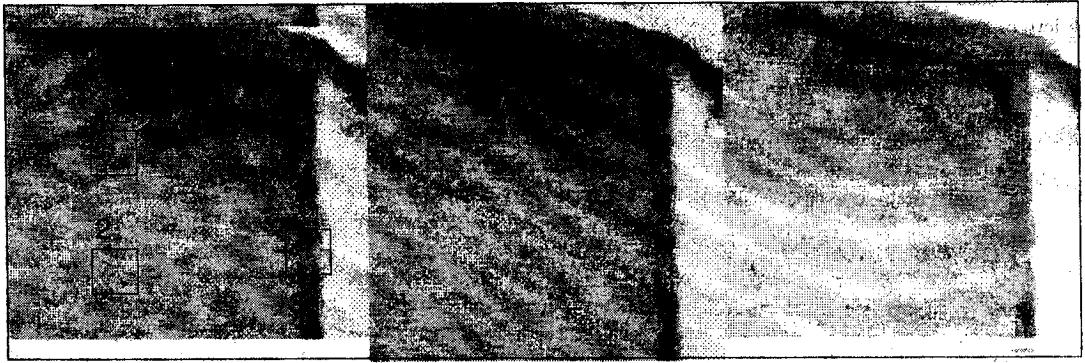


Figura 8: Ejemplo

El algoritmo utilizado para determinar la velocidad en el ítem comparación presentado en De Paul 1996 y Hoyos 1994, solo permite medir la distancia recorrida por un trazador, los resultados medidos en el área 2 están en el promedio de las distancias medidas sobre cada partícula y se puede observar en la figura 9.

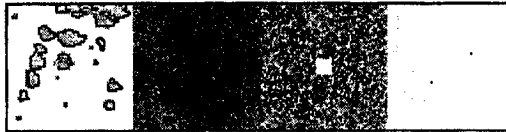


Figura 9: Imágenes de área 1

## CONCLUSIONES

El método enunciado tiene un comportamiento óptimo para medir desplazamiento de fluidos siempre y cuando las imágenes tomadas no sean muy diferentes entre sí. Por lo tanto tiene problemas para medir fluido en estado turbulento en el que los trazadores se desplacen a una velocidad muy grande comparada con la velocidad de toma de imágenes de la cámara CCD. Tiene como ventaja fundamental que mide promedios espaciales de desplazamiento de partículas en zonas relativamente extensas. Una sencilla extensión del método permite medir módulo y dirección de la aceleración de los trazadores. La principal desventaja del método es que no mide el sentido del desplazamiento del fluido.

## REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- De Paul I, Hoyos D, Saravia L Medida de velocidad del vapor de agua en el interior de un destilador solar tipo batea 19<sup>a</sup> *Actas de Asades* (1996)
- Hoyos D, DePaul I. Programa de captura de imágenes procesamiento y calculo para medición de velocidades en líquidos 17<sup>a</sup> *Actas de Asades* (1994)
- Alanis E, Romero G, Javi V, De Paul I, Técnicas ópticas aplicadas al estudio de la convección natural en modelos de viviendas 15<sup>a</sup> *Actas de Asades* (1992)
- Bjornkquist, D Particle image velocimetry analysis system Inform TSI INC (1991)
- Parker J.R Algorithms for image processing and computer vision *Wiley Computer Publishing* (1997)
- Brigham E. Oran The fast fourier transform and its applications *Pretince Hall* (1988)