

VELOCIMETRIA POR IMAGEN DE PARTICULAS PARA EL ESTUDIO DE UN FLUIDO EN CONVECCION NATURAL

G. Romero*, I. De Paul, E. Alanís

*Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas,
Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires 177, 4400 Salta.*

Se describe una experiencia para la determinación del campo de velocidades en un fluido en convección natural, utilizando la técnica de velocimetría por imagen de partículas (PIV). El fluido se encuentra confinado en un recinto de paredes transparentes de sección rectangular y se le transfiere energía a través de una de sus paredes. Se emplea agua sembrada con pequeñas esferitas de vidrio de densidad media similar, de modo que son arrastradas por ésta en su movimiento. Un haz plano de luz de pequeño espesor y normal a la placa calefactora, ilumina las partículas cuyas imágenes son obtenidas por registro de exposición múltiple sobre película fotográfica. Un positivo de la escena de alto contraste, es interrogado punto a punto por medio de un haz de láser. A partir de las franjas de interferencia observadas en campo lejano se calculan las partículas, según el plano de iluminación, correspondiente a la zona interrogada.

I. INTRODUCCION

La Velocimetría por Imagen de Partículas (PIV) es una técnica relativamente nueva que ha sido aplicada por varios autores¹⁻³, para el estudio de flujos de fluidos. Permite determinar en forma directa el campo de velocidades en todo el fluido en un dado instante de tiempo, en un plano elegido convenientemente, por lo que aventaja considerablemente otras técnicas conocidas (como por ejemplo, Interferometría Mach Zehender, Schlieren, velocimetría Doppler, etc.).

El objetivo del trabajo es la puesta a punto de esta técnica para obtener el campo de velocidades de un fluido en convección natural, en vista de su aplicación al estudio de la circulación de aire en viviendas que usan sistemas pasivos de climatización.

El estudio se realiza en pequeños modelos a escala reducida y se utiliza un líquido como fluido, al que se entrega calor de manera conveniente, para simular distintos sistemas de calefacción.

II. DESCRIPCION DE LA EXPERIENCIA

En la presente experiencia preliminar, se ha adoptado para el modelo una geometría simple, (prismática rectangular de 0.10 m x 0.10 m x 0.08 m de dimensiones) entregándose energía térmica a través de una resistencia eléctrica colocada en una pared vertical.

El fluido utilizado es agua desgasada "sembrada" con pequeñas esferas de vidrio (diámetro aproximado 50 μm), de densidad media igual a la del líquido, las que son arrastradas por éste en su movimiento. La Fig. 1 muestra un esquema del dispositivo experimental donde se observa la óptica que genera un haz plano de

luz, de pequeño espesor, para iluminar las partículas contenidas en un plano vertical del modelo, normal a la pared calefactora. En este caso se ha utilizado un láser por la facilidad con que se obtiene un haz plano pero no es necesario el uso de luz coherente con esta etapa.

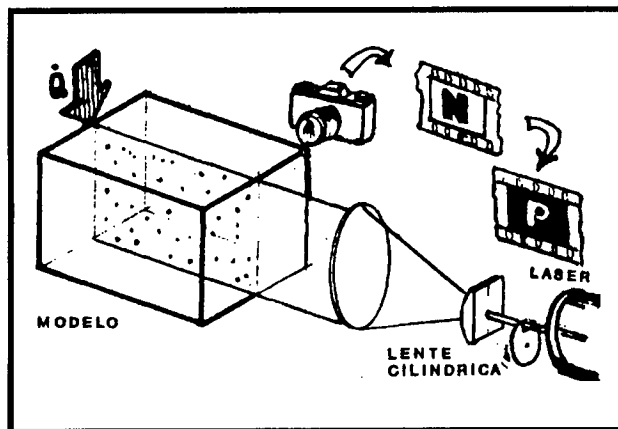


Fig.1- Ver texto

Las imágenes de las partículas se obtienen por registro fotográfico de exposición múltiple sobre película blanco y negro, utilizando una cámara fotográfica de 35 mm, objetivo normal $f = 50\text{mm}$. En este caso se han registrado diez exposiciones manteniendo abierto el obturador de la cámara durante el tiempo necesario, mientras que el haz de luz es interrumpido periódicamente interponiendo un disco giratorio opaco con una ranura transparente de ancho variable. La velocidad angular del disco determina el intervalo entre exposiciones, mientras que el ancho de la ranura permite fijar el tiempo de exposición.

A partir del negativo se realiza un positivo por

* Becaria Conicet

contacto en película gráfica (ver ampliación en papel de la Fig. 2), el que luego se coloca en un posicionador X. Y. Se hace incidir sobre la diapositiva un haz láser normal al plano de la misma, para interrogar distintos puntos de la escena. Las imágenes consecutivas (de una determinada partícula) iluminadas por el haz constituyen una alineación de fuentes puntuales coherentes equiespaciadas, que generan un patrón de franjas de interferencia (franja de Young). Las franjas se recogen sobre una pantalla alejada y se registran fotográficamente. A partir de los patrones de interferencia pueden determinarse la separación de las imágenes y su orientación en el plano, X, Y, parámetros que se correlacionan con los correspondientes a las partículas en el modelo, a través de los factores de ampliación introducidos por los sistemas ópticos en las tomas fotográficas. La Fig. 3 muestra la disposición del sistema de interrogación y registro descrito precedentemente.

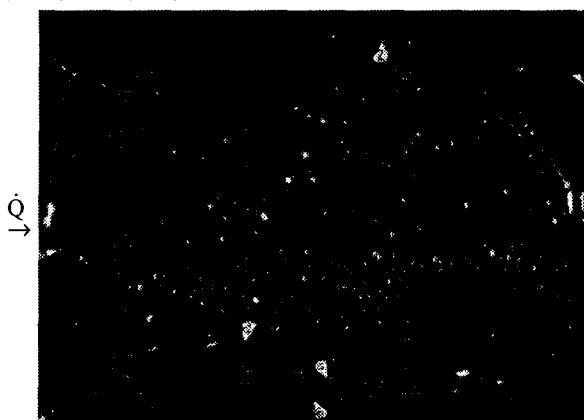


Fig.2: Ver texto

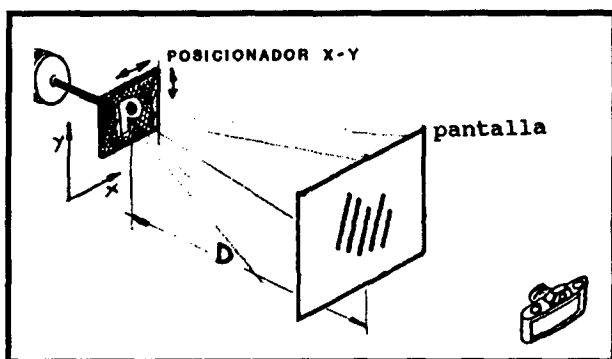


Fig.3: Ver texto

III RESULTADOS OBTENIDOS

La separación entre las franjas y su orientación fueron medidas directamente del negativo por medio de un microscopio dotado de micrómetro y goniómetro ocular. La ventaja de realizar exposiciones múltiples,

es que se obtienen franjas más brillantes y estrechas que en el caso de doble exposición, lo que permite medir con mayor exactitud su separación al quedar mejor definidos los máximos de intensidad.

El módulo de la velocidad de las partículas (v_i) resulta inversamente proporcional al intervalo de tiempo entre exposiciones y a la separación entre las franjas y está dado por la siguiente expresión:

$$v_i = \frac{K}{\delta T \epsilon_i} \quad \text{con } K = \lambda D / m M$$

Donde:

m: aumento fotograma partículas.

M: aumento fotograma franjas.

D: distancia positivo pantalla (Fig. 3) sistema de interrogación.

δT : intervalo entre exposiciones.

ϵ_i : distancia entre franjas generadas por las imágenes de la partícula i.

λ : longitud de onda del haz de interrogación (632.8 nm).

En la presente experiencia $K = 0.54 \text{ mm}^2$ y $\delta T = 1 \text{ s}$.

La dirección de la velocidad es normal a la orientación de las franjas que se determina a partir de los negativos correspondientes.

Para el conjunto de franjas de las fotografías de la 4 se obtienen los resultados consignados en la Tabla 1, donde el ángulo α_i es el que forma el vector velocidad respecto del eje vertical (placa calefactora).

Nº	ϵ_i (mm)	v_i (mm/s)	α_i
1	0.50	1.08	29°
2	1.08	0.30	97° 24'
3	1.66	0.32	6° 30'
4	2.13	0.25	104° 36'
5	1.39	0.39	98°
6	1.26	0.43	95° 30'

Tabla 1: Módulo y dirección de la velocidad, obtenidos a partir de los patrones de interferencia.

A modo de comparación se determina el módulo y la dirección de la velocidad de las partículas, a partir de mediciones de la separación y orientación de sus imágenes en el negativo de la escena, utilizando el microscopio mencionado anteriormente

En la Tabla 2 se consignan los valores obtenidos, para los puntos indicados en la fotografía de la Fig. 2, que se corresponden con los de la Tabla 1, donde $V_i = x_i / \delta T$ m, siendo la distancia promedio entre las

imágenes de las partículas, y el ángulo β_i se mide

Nº	respecto de la vertical. x_i (mm)	V_i (mm/s)	β_i
1	0.216	1.08	30° 05'
2	0.057	0.29	95° 35'
3	0.070	0.30	7° 17'
4	0.052	0.26	104° 20'
5	0.080	0.39	98° 47'
6	0.087	0.43	95° 05'

TABLA 2: Módulo y dirección de la velocidad, medidos en el negativo de la escena.

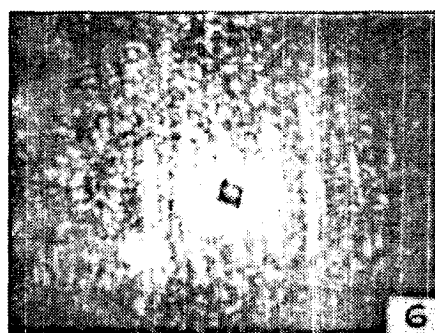
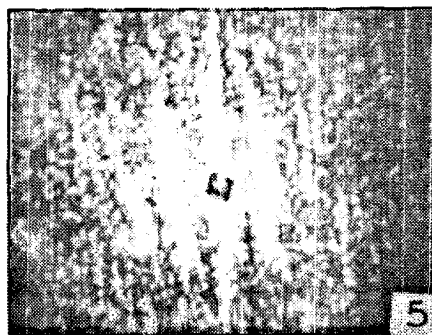
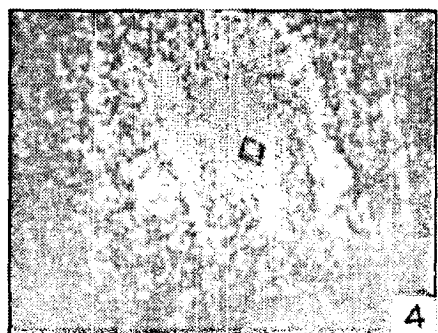
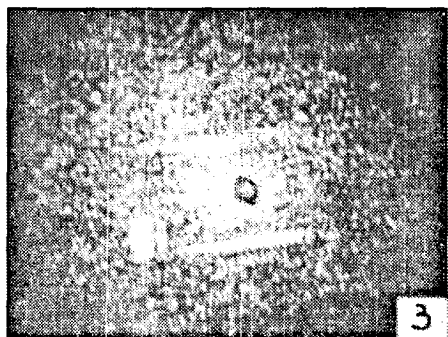
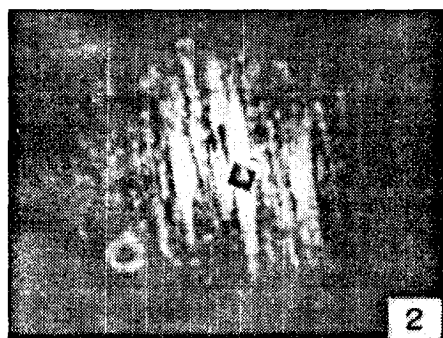
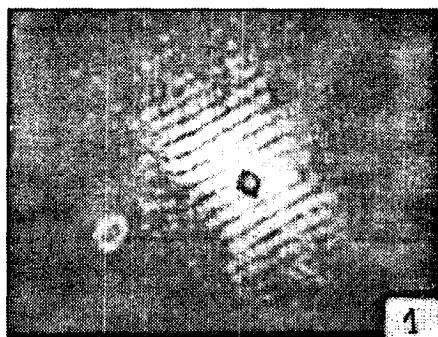


Fig.4: Ver texto

El acuerdo entre ambos métodos de medida es bueno en general. La ventaja de operar con las franjas es que permite automatizar el proceso de medida, interrogando punto a punto el negativo y efectuando el procesamiento digital de las imágenes de los patrones de interferencia correspondientes. De este manera es posible obtener el campo de velocidades en todo el plano en un tiempo razonable. En la Ref. 1 se describe un método para remover la ambigüedad en el signo de la velocidad. La implementación de este sistema será objeto de una próxima experiencia.

IV CONCLUSIONES

Aún con las limitaciones actuales de equipamiento e instrumental posible, en un tiempo razonable, obtener una limitada pero valiosa información dinámica del flujo, aventajando considerablemente otras técnicas.

REFERENCIAS

1. Bjorkquist, D.C.: *Flow Lines* vol 6 Issue 1 (1991).
2. Meinart, R., Simpkins, P. G.: *J. Fluid Mech.* **182**, 235-254 (1988).
3. Wozniac, G., Wozniac, K.: *Experiments in Fluid* **10**, 12-16.