

## TECNICAS OPTICAS APLICADAS AL ESTUDIO DE LA CONVECCION NATURAL EN MODELOS DE VIVIENDAS

E. Alanís, G. Romero. (1)V. Javi, I. De Paul.(2).  
Universidad Nacional de Salta.  
Buenos Aires 177 (4400). Salta

### RESUMEN

Para analizar la circulación del aire en el interior de un recinto se propone el empleo de técnicas ópticas de visualización de flujos en pequeños modelos de viviendas, construidos en acrílico o vidrio, que emplean agua como fluido convectivo.

Se describen las dos técnicas propuestas: velocimetría por imagen de partículas e interferometría holográfica a tiempo real y se muestran los resultados obtenidos en el caso de modelos de locales de geometría sencilla.

### INTRODUCCION

La convección natural es uno de los mecanismos más importantes que contribuyen a la distribución de energía en el interior de una vivienda. Un diseño adecuado, que procure optimizar este medio de transferencia energética, requiere tener conocimiento de la circulación del aire dentro del recinto en función de la distribución de temperaturas sobre las superficies y la geometría del local.

Con el objeto de analizar la circulación del aire en el interior de un recinto se encaró la construcción de pequeños modelos en acrílico o vidrio, que emplean agua como fluido convectivo, en los cuales es posible ensayar distintas técnicas ópticas de visualización de flujos. Estas técnicas tienen la enorme ventaja de ser no perturbativas, es decir, para realizar una medición no es necesario introducir ningún sensor que modifique el flujo, sino que la información se obtiene a partir del procesamiento de una imagen fotográfica. Dependiendo del tipo de técnica que se trate se puede obtener información tanto cualitativa acerca de la circulación general como cuantitativa acerca de los coeficientes de transferencia térmica sobre las superficies o el campo de temperaturas o velocidades del fluido dentro del recinto.

En el presente trabajo se describen dos técnicas ensayadas para realizar estos análisis en modelos pequeños de viviendas : velocimetría por imagen de partículas (PIV) y la interferometría holográfica a tiempo real, y su aplicación a casos particulares de geometría sencilla tales como los que se muestran en la figura 1, a, b y c.

1. GOL. Grupo de Optica Laser. UNSa.
2. INENCO. UNSa-CONICET.

## DESCRIPCION DE LAS TECNICAS

### a) VELOCIMETRIA POR IMAGEN DE PARTICULAS

La velocimetría por imagen de partículas (PIV) es una técnica relativamente nueva que ha sido aplicada por varios autores (1,2) al estudio de flujos en fluidos. Permite determinar en forma directa la circulación general del líquido y el campo de velocidades en un dado instante de tiempo, en un plano elegido convenientemente, por lo que aventaja a otras técnicas conocidas que sólo permiten determinar la velocidad en un punto del fluido.

Para aplicar esta técnica a los modelos mencionados se llenan los mismos con agua desgasada "sembrada" con pequeñas esferas de vidrio, de diámetro aproximado  $50 \mu\text{m}$  y densidad media igual a la del líquido, que son arrastradas por este en su movimiento. Con un laser y una lente cilíndrica se genera un plano de luz de pequeño espesor que permite iluminar las partículas en movimiento. Las imágenes de las partículas se obtienen por registro fotográfico de exposición múltiple sobre película blanco y negro. El registro constituye una secuencia de imágenes puntuales y consecutivas. A partir del negativo se realiza un positivo por contacto en película gráfica que es interrogado punto a punto haciéndole incidir normalmente un haz laser. Las imágenes consecutivas de las partículas constituyen una alineación de fuentes puntuales coherentes equiespaciadas que generan un patrón de interferencia (Franjas de Young). La separación de las franjas permite determinar el módulo del vector velocidad en el punto iluminado. La orientación de las franjas permite determinar la dirección del vector velocidad, que resulta perpendicular a las mismas.

### DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Para las medidas cuantitativas se empleó un modelo de geometría prismática rectangular ( $0.10 \times 0.10 \times 0.08 \text{ m}^3$ ), construido en vidrio y acrílico, al cual se le suministró calor a través de una de las paredes verticales.

Se empleó un laser de 10 mW, una cámara fotográfica de 35 mm y película blanco y negro Kodak Tri X Pan de 400 ASA de sensibilidad. Se registraron 10 exposiciones manteniendo abierto el obturador de la cámara e interrumpiendo el haz con un disco giratorio opaco con una ranura transparente de ancho variable. La velocidad angular del disco determina el intervalo de tiempo entre exposiciones, mientras que el ancho de la ranura permite fijar el tiempo de exposición.

### b) INTERFEROMETRIA HOLOGRAFICA

La interferometría holográfica tiene amplias aplicaciones metrológicas en diversos campos donde se requiere una técnica no perturbativa. Es escasa la bibliografía dedicada a su aplicación en líquidos en proceso de convección natural en los que las variaciones de densidad son pequeñas.

En todo caso se trata en general de métodos de doble exposición donde se analiza la diferencia entre dos estados en la evolución del fenómeno. El método propuesto y ensayado aquí es a tiempo real,

lo que permite seguir continuamente la evolución del proceso convectivo durante largos periodos de tiempo.

Se construye un holograma estando el fluido contenido en el modelo a una temperatura uniforme ( $T_0$ ), lo que constituye el estado de referencia. Se realiza el revelado de la placa holográfica "in-situ". En esta técnica es sumamente importante tener la placa en la misma posición antes y después del revelado. En la reconstrucción del holograma se observa un patrón inicial de franjas de interferencia cuya configuración depende de pequeñas variaciones de las condiciones ocurridas durante el proceso de revelado sobre las que no se tiene un control adecuado.

Al calentar el sistema comienza el fenómeno convectivo, produciéndose variaciones del campo de temperatura que modifican el camino óptico de los rayos provenientes del laser con que se ilumina el modelo, por lo que las franjas de interferencia que se observaban inicialmente a través del holograma se distorsionan. La evolución de las franjas de interferencia puede ser registrada fotográficamente y/o en video (a tiempo real). A partir de estos interferogramas es posible determinar el campo de temperaturas actual correspondiente al instante de la toma fotográfica.

## EXPERIENCIAS REALIZADAS

Las técnicas descritas fueron aplicadas a los modelos que se muestran en la figura 1a y c, correspondientes a un habitáculo de techo horizontal e inclinado respectivamente.

## MODELO DE TECHO HORIZOTAL

En el modelo de sección rectangular se realizaron mediciones de velocidad aplicando la técnica PIV y de gradiente de temperatura por medio de la interferometría holográfica. La figura 2 muestra una fotografía de exposición múltiple donde se indica con una flecha las imágenes sucesivas de una partícula y el patrón de franjas de Young obtenido al interrogar esa zona. A partir de este patrón de interferencia se calcula el módulo de la velocidad por medio de la expresión :

$$v_i = \frac{K}{\Delta t \Delta \xi_i}$$

donde  $v_i$  = velocidad de la partícula i  
 $\Delta t$  = intervalo de tiempo entre exposiciones  
 $\Delta \xi_i$  = distancia entre franjas (partícula i)

K es una constante de la experiencia que depende de la geometría del sistema de interrogación y de los aumentos correspondientes a las fotografías de las franjas y de las partículas respectivamente. En la experiencia  $K = 0.54 \text{ mm}^2$ ,  $\Delta t = 1 \text{ s}$ ,  $\Delta \xi_i = 1.66 \text{ mm}$  por lo que  $v_i = 0.32 \text{ mm / s}$

La dirección de la velocidad coincide con la normal a las franjas de interferencia, que en este caso está orientada a un ángulo  $\alpha = 6^{\circ} 30'$  respecto de la vertical (placa calefactora), medida en el negativo de las franjas con goniómetro micrométrico.

Al fin de establecer la exactitud del método, se calculó la velocidad y la dirección a partir de mediciones de las posiciones de las imágenes de la partícula directamente en el negativo de la escena, utilizando un microscopio con goniómetro y micrómetro ocular, obteniéndose de esta forma  $v_1 = 0.30 \text{ mm/s}$  y  $\alpha = 7^{\circ} 17'$ .

Se aplicó el procedimiento descrito a varios puntos del campo, obteniéndose en general un buen acuerdo entre ambos métodos de medida.

La ventaja de operar con el sistema de franjas es que permite automatizar el proceso de medida interrogando el negativo punto por punto y efectuando el procesamiento digital de las imágenes de los patrones de interferencia correspondientes. El equipamiento necesario está en vías de compra por lo que este método será implementado en experiencias futuras.

En la figura 3 se muestra la fotografía del interferograma holográfico del modelo anterior, donde se observa la configuración de las franjas de interferencia en la zona adyacente a la placa calefactora. Es posible estimar el gradiente de temperatura en la región indicada si se supone que el flujo es bidimensional, aproximación que es corroborada por la experiencia anterior, y se desprecian los errores por refracción; la distribución bidimensional del índice de refracción  $n(x,y)$  está dada por la expresión

$$\Delta n = n(x,y) - n_0 = N(x,y) \lambda / L$$

donde  $n_0$  = índice de refracción uniforme en el estado de referencia

$\lambda$  = longitud de onda de la luz laser

$L$  = dimensión del modelo en la dirección de observación

$N(x,y)$  = Número de orden de la franja en la posición  $(x,y)$

En este caso  $N = 6$   $\lambda = 632,8 \text{ nm}$   $L = 0.08 \text{ m}$   $\Delta x = 0.0035 \text{ m}$

entonces  $\Delta n = 4.75 \times 10^{-5}$

para agua a temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , se obtiene

$$-dn/dT = 0.0985 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{K}^{-1}$$

por lo que  $\Delta T$  en la región indicada es

$$\Delta T = (dn/dT)^{-1} \Delta n = 0.5 \text{ }^{\circ}\text{K}$$

y el gradiente de temperatura

$$\Delta T / \Delta x = 1.4 \text{ }^{\circ}\text{K} / \text{cm}$$

La información de temperatura obtenida de los interferogramas es susceptible de procesamiento digital, lo que permitirá calcular el campo de temperaturas en todo el fluido

## MODELO DE TECHO INCLINADO

La siguiente serie de experiencias de tipo cualitativo se realizó en el modelo c de la figura 1, techo inclinado, donde al aplicar ambas técnicas se trató de reproducir la misma historia térmica. La figura 4 muestra una secuencia fotográfica comparativa, correspondiente a distintos instantes de tiempo a partir de la conexión del sistema calefactor, consistente en una resistencia eléctrica devanada uniformemente en la pared vertical derecha. Las fotografías 4 a, b, c y d fueron tomadas a los 2, 3, 8 y 17 minutos de haberse iniciado la entrega de calor, respectivamente. La serie de la izquierda muestra las imágenes múltiples de las partículas, con un intervalo de 1 s entre exposiciones y permite visualizar la configuración general del flujo y la distribución de velocidades. La serie de la derecha corresponde a los interferogramas holográficos, que dan información cualitativa de la modificación del campo de temperaturas. En primera aproximación, cada franja de interferencia corresponde a una isoterma, por lo que la separación entre franjas da una idea del gradiente de temperaturas en cada lugar. El patrón inicial de franjas, la tridimensionalidad del flujo y la perspectiva introducida en la toma fotográfica, a saber, son errores a tener en cuenta en una próxima etapa, donde se completará la puesta a punto de estas técnicas, implementando el procesamiento digital de las imágenes y correlacionando los resultados con los obtenidos mediante técnicas tradicionales.

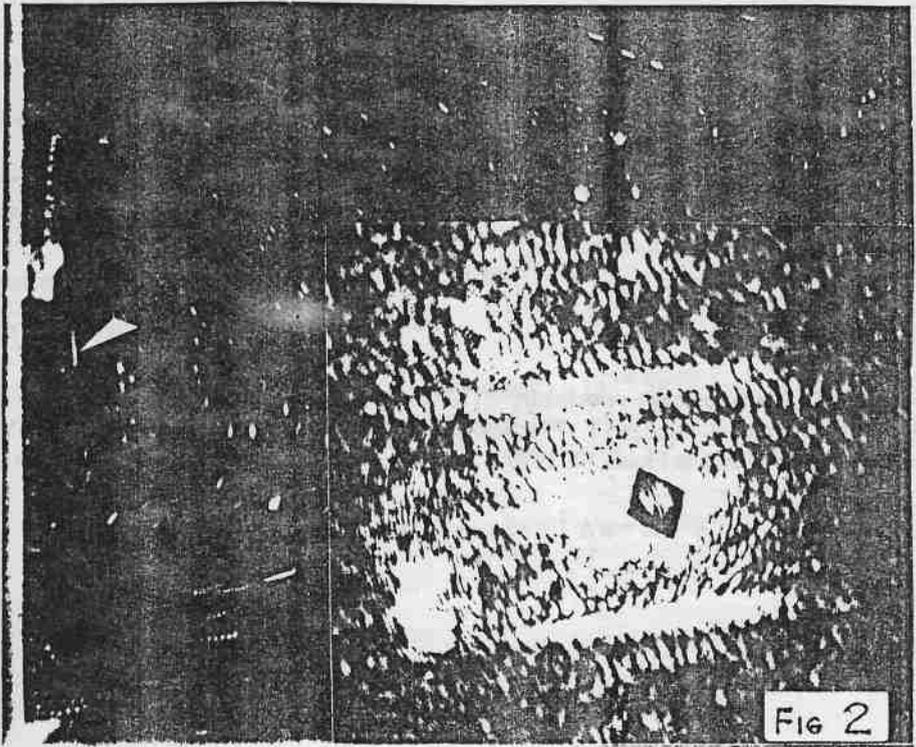
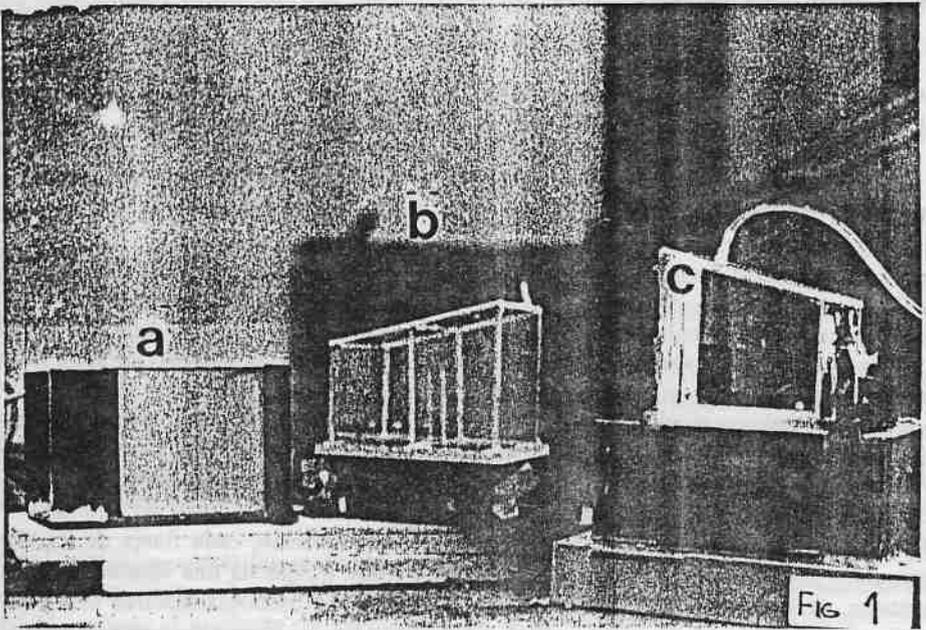
## CONCLUSIONES

Las técnicas propuestas son complementarias y su implementación es relativamente simple de llevar a cabo con los elementos disponibles en el laboratorio.

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

## REFERENCIAS

1. Bjornkquist, D. "Particle image velocimetry", TSI Report, 1990.
2. Wozniak G., Wozniak K., Rosgen T. "Particle image velocimetry applied to thermocapillary convection". Experiments in Fluids 10, 1990.



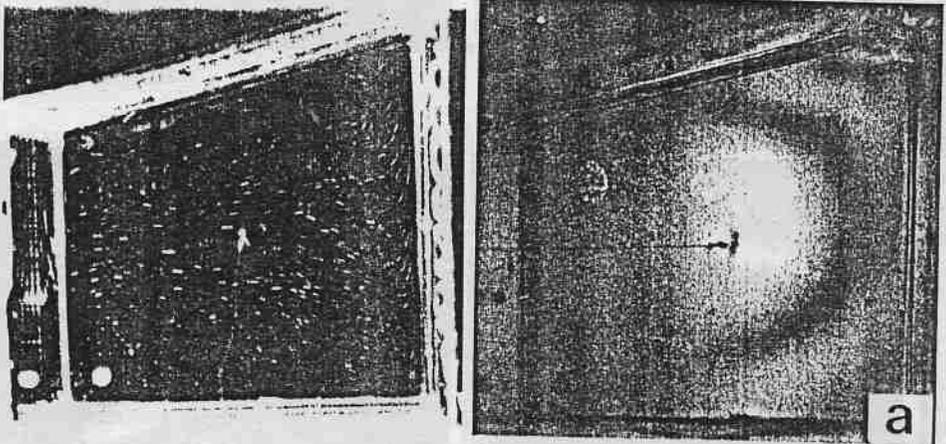
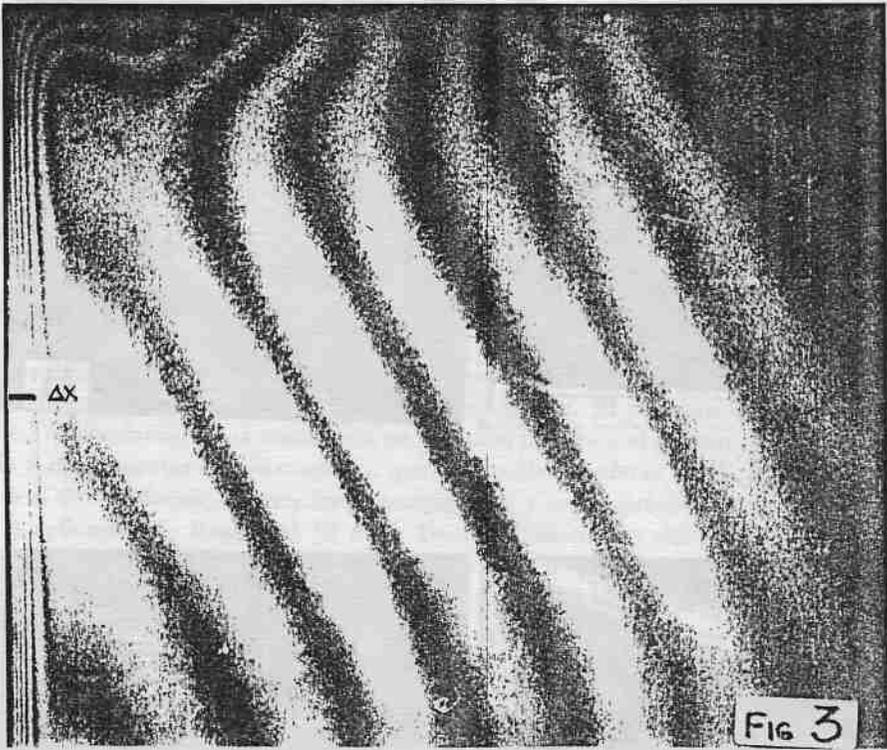


Figura N° 4: Secuencia de fotografías PIV y fotogramas

