

MODELO DE CIRCULACION DE AIRE EN LOCALES CERRADOS

I. De Paul, M. Vilte, G. Lesino
INENCO - Facultad de Ciencias Exactas UNSa.
Buenos Aires 177 - Salta

RESUMEN

En el interior de un local o conjunto de locales funcionando en configuración cerrada, es decir, sin conexión dinámica con el exterior, la distribución de energía se realiza principalmente por convección, ya sea natural, producida por diferencias de temperaturas, o forzada, mediante el empleo de elementos auxiliares tales como ventiladores o calefactores. Cuanto más efectivo sea el mecanismo de convección natural tanto menor será el requerimiento de energía auxiliar para operar dichos elementos. Desde este punto de vista resulta de interés conocer la circulación que se establece dentro de un local en función de su geometría y la distribución de temperaturas en las paredes.

Modelos pequeños de locales que emplean agua como fluido convectivo constituyen un medio adecuado para realizar un análisis cualitativo de la circulación en su interior, permitiendo estimar la manera en que se distribuye el calor en el local y las zonas donde la transferencia de energía puede ser más significativa. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos del análisis cualitativo realizado en tres modelos construidos en vidrio, en los que se visualiza el movimiento del agua empleando trazadores. Se discute las características de la circulación observada ante calentamiento en distintas superficies.

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo fue obtener información cualitativa acerca de la manera como circula el aire en el interior de una habitación ante distintas condiciones de calentamiento y/o enfriamiento a través de paredes, piso y techo. Para ésto se construyeron modelos de locales a escala de laboratorio que contienen agua como fluido convectivo, los que fueron sometidos a distintas condiciones de calentamiento a través de las superficies. Si bien el hecho de que las propiedades físicas del aire y del agua son diferentes es de esperar que, cualitativamente, las líneas de corriente sigan un comportamiento similar y, consecuentemente, la distribución de energía sea semejante.

El empleo de trazadores en el agua permite conocer la distribución espacial de las líneas de corriente, con lo cual se puede inferir la manera en que se distribuye la energía térmica dentro del local, las zonas donde la transferencia térmica puede ser más importante por efecto de turbulencia o concentración de las líneas de corriente en situaciones de flujo laminar y la ubicación de los puntos de estancamiento donde la transferencia puede ser pequeña.

Para visualizar la circulación que se produce en el interior del modelo al calentar alguna de sus superficies, se lo llena con agua destilada, en la que se coloca una pequeña cantidad de polvo de vidrio consistente en esferitas microscópicas, huecas, de densidad próxima a 1, que son arrastradas durante el movimiento (trazadores). Con un láser de 3 mW y una lente cilíndrica se genera un plano luminoso que se hace incidir normalmente sobre el modelo (fig. 1). Para evitar la pérdida de potencia luminosa en el plano, se coloca un espejo en el techo, lo que vuelve la luz sobre sí misma. Las esferitas de vidrio que se mueven en ese plano reflejan la luz y su movimiento se puede registrar fotográficamente en la forma de trazas brillantes, cuya longitud depende de la velocidad de la partícula y del tiempo de exposición de la fotografía.

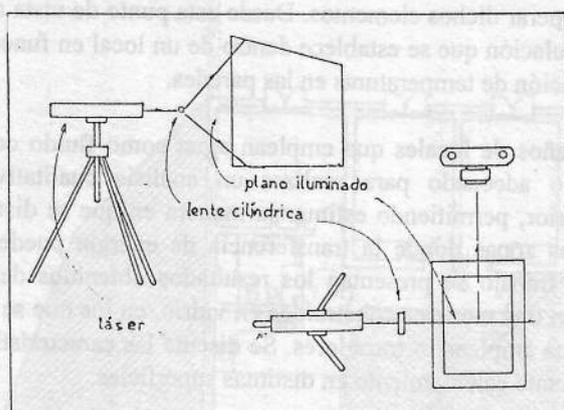


figura 1

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Se construyeron tres modelos a pequeña escala que simulan:

- una habitación de base cuadrangular con techo plano;
- una habitación de base cuadrangular con techo inclinado;
- un local que consta de dos habitaciones de base rectangular separadas por un tabique con una abertura que simula una puerta, con techo inclinado.

Los modelos fueron construidos con paredes de vidrio flotado de 3 mm de espesor, el piso en acrílico de 8 mm y el techo en acrílico de 3 mm de espesor. Para calentar las distintas superficies se empleó una caja de material plástico con una de las caras mayores en aluminio. Se colocaron dos conectores de plástico por uno de los cuales se la llena con agua caliente mientras que por el otro se evacúa

el aire. La cara metálica se pone en contacto con la superficie que se quiere calentar que, por conducción, transmite el calor al agua provocando la convección. Con este procedimiento se puede analizar la convección en estados transitorios ya que es difícil mantener diferencias de temperatura constantes entre la superficie y el ambiente exterior al modelo.

En el registro fotográfico se empleó una cámara PRACTIKA MTL 5B con lente f:1.8; película KODAK TRI-X PAN de 400 ASA de alta sensibilidad y PLUS-X de 125 ASA, de menor sensibilidad pero de grano más fino lo que permite tener mejor resolución.

ENSAYOS REALIZADOS

Se ensayaron situaciones de calentamiento a través de las distintas superficies que forman los locales, para analizar las características del flujo en cada caso; al respecto podemos mencionar lo siguiente:

1. El calentamiento lateral puede simular el calentamiento que sufre una pared orientada al norte, cuya temperatura resulta más alta que la de las restantes paredes de una habitación. Se analiza la influencia de la inclinación del techo y la comunicación con otro local a través de una abertura (puerta) sobre las características del flujo resultante.
2. El enfriamiento por techo simula un techo radiante que se enfría por acción de la radiación nocturna, o bien, la acción de un techo refrigerado por medios evaporativos.
3. El calentamiento por techo simula el efecto producido por la radiación solar sobre el techo, o bien el de una loza radiante.
4. El calentamiento por piso simula la acción de un piso radiante o bien el efecto de calentamiento del piso por radiación directa a través de una abertura.

Si bien los casos ensayados no agotan las distintas posibilidades, incluyendo efectos combinados tales como calentamiento a través de una pared y del techo simultáneamente, permiten de todas maneras obtener alguna información acerca de las características del flujo y la distribución de energía dentro de locales cerrados. Esto, a su vez, permite formular criterios de diseño según en qué sentido se desea orientar la energía térmica, ya sea en caso de calentamiento o refrescamiento.

A continuación, y a modo de ejemplo, se analiza algunas de las experiencias realizadas. Se muestra una fotografía típica obtenida en cada caso y un esquema donde se destacan las características principales observadas en el flujo. Asimismo se analiza la distribución de líneas de corriente y puntos de

estancamiento y se señalan las conclusiones a que se llega acerca de la transferencia térmica.

ANÁLISIS DEL CAMPO DE FLUJO Y TRANSFERENCIA TÉRMICA EN DIFERENTES CASOS

Modelo de un local con techo inclinado. Calentamiento desde la pared menor (foto 1 y figura 2).

Se observa el movimiento ascendente del agua sobre la pared caliente, que produce un fuerte arrastre a lo largo del piso. Al llegar al techo el líquido desciende formando un rotor que se estabiliza a media altura, próximo a la pared caliente, que es el que pone en movimiento la masa de agua del interior del local. Bajo el techo se forman torbellinos provocando el movimiento turbulento del agua.

La concentración de líneas de corriente sobre la pared caliente indican que esa es la zona de transferencia convectiva más efectiva. La longitud de las trazas observadas sobre el piso indican que el mecanismo de arrastre convectivo hacia la pared caliente es sumamente efectivo, generando un flujo de tipo laminar.

Si bien en la zona intermedia se observa una línea de turbulencia que contribuye a mezclar el agua caliente proveniente del vórtice con la fría proveniente del piso y de las zonas más alejadas, en la última etapa esto no se observa y es directamente el vórtice principal, que actúa sobre toda la masa líquida, el que distribuye dentro del local el calor extraído de la pared. Parte de ese calor se pierde a través del techo, donde el movimiento turbulento del líquido debería producir una transferencia muy efectiva.

Modelo de un local con techo inclinado. Calentamiento desde el piso (foto 2 y figura 3).

Al comienzo se alcanza a visualizar turbulencia sobre el piso del modelo, producida por la aparición de "plumas" convectivas, muchas de las cuales se extinguen rápidamente. Se define una única pluma ascendente que arrastra el agua sobre el piso y determina dos circuitos de circulación: se forman vórtices hacia la derecha determinando una zona de turbulencia en el extremo inferior derecho. Hacia la izquierda se forma un único vórtice que arrastra el agua de la mitad inferior del local, barre el piso y se cierra sobre la pluma. El flujo es marcadamente asimétrico, tendiendo a elevarse sobre la pared más alta. El efecto ascendente en la pared más alta predomina sobre el vórtice central que se desplaza hacia la derecha, restringiendo el vórtice derecho a una zona localizada en la esquina inferior derecha. En la fotografía se puede observar que, si bien el arrastre del líquido avanza lentamente hacia las zonas más elevadas, no alcanza a movilizar las partículas ubicadas debajo del techo.

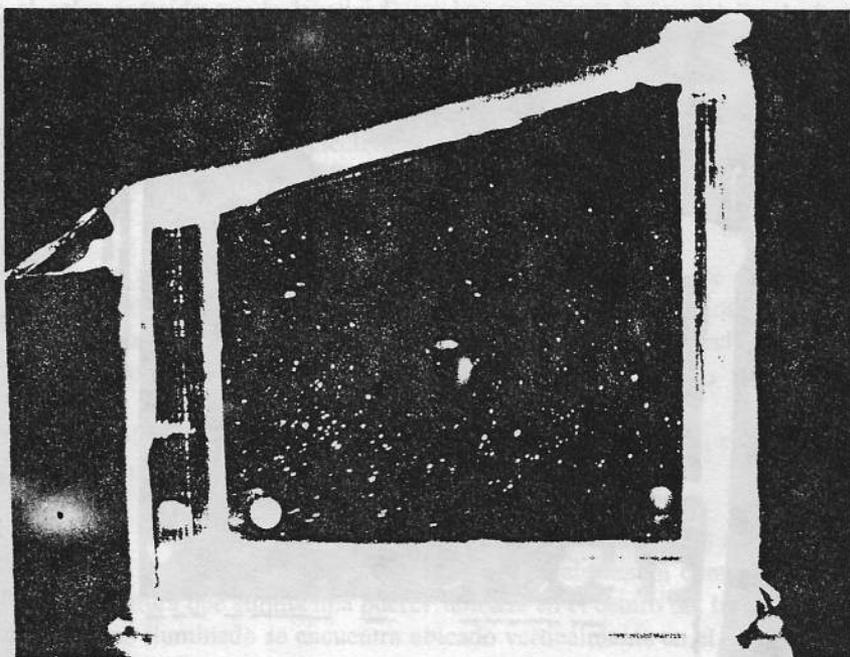


foto. 1

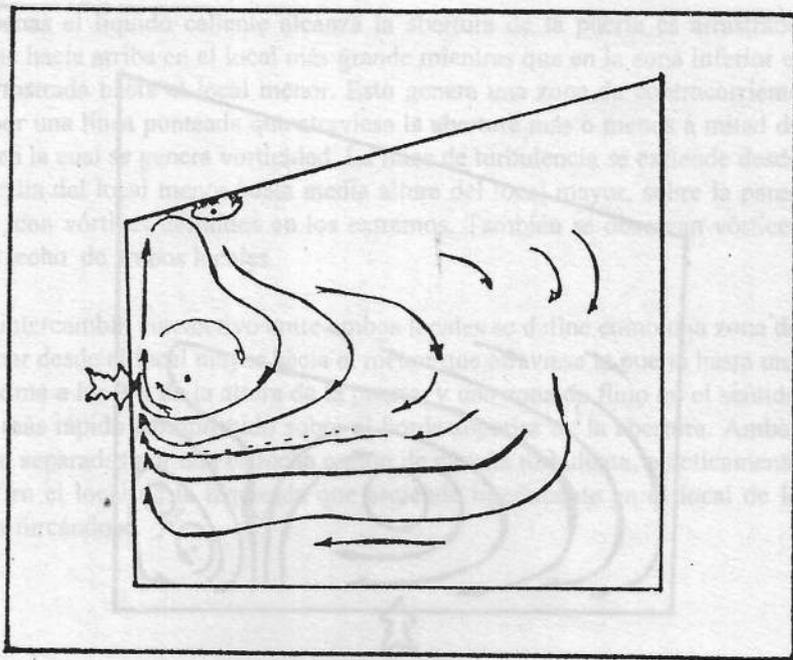


figura 2

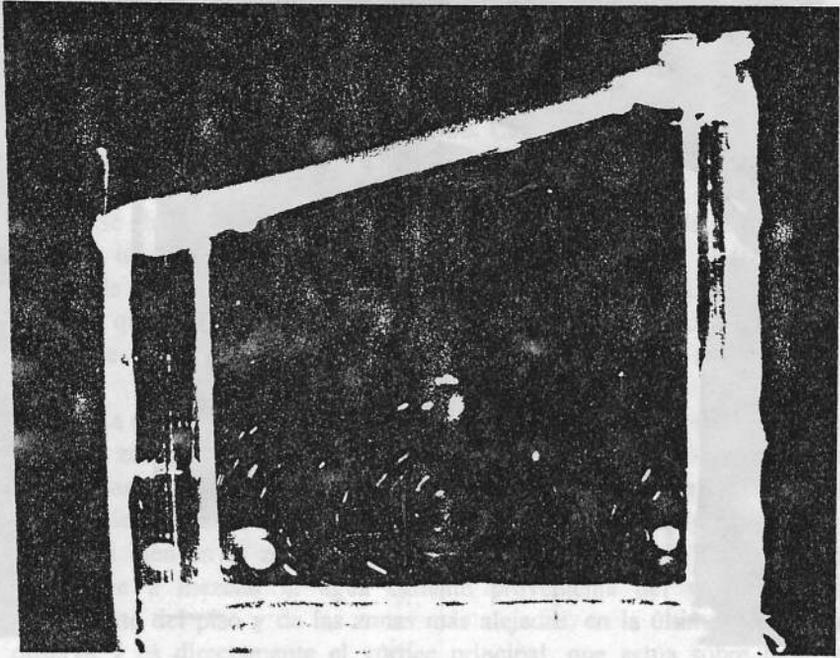


foto 2

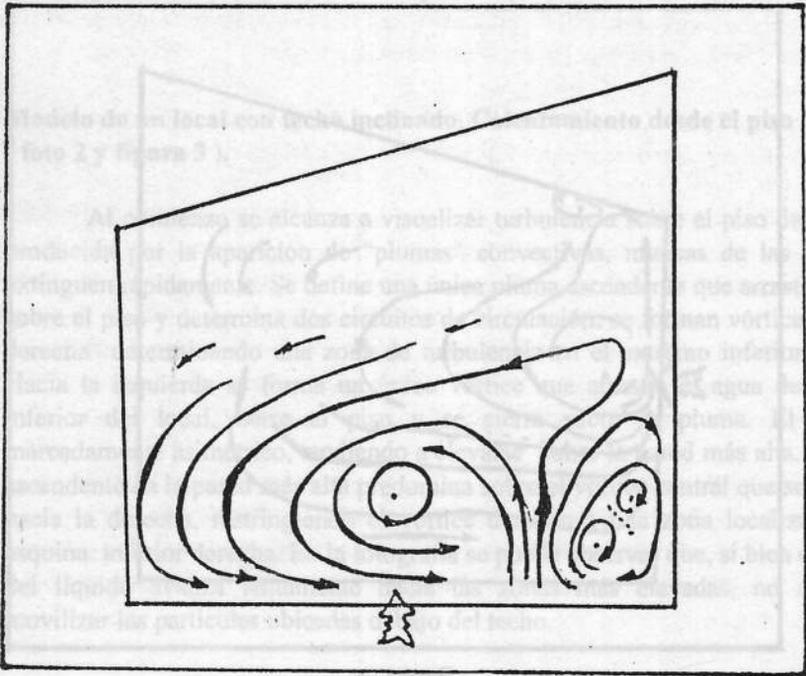


figura 3

La turbulencia inicial sobre el piso produce una fuerte transferencia térmica; el calor extraído queda localizado en las zonas más bajas del local. A medida que se desarrolla el flujo y quedan definidos los dos vórtices dominantes, se observa que sobre la mayor parte del piso el flujo es laminar y, dado que las trazas largas indican velocidades significativas, la transferencia térmica desde el piso hacia el interior del local es efectiva. También es efectiva la transferencia entre el piso y la pared en el extremo inferior derecho donde se ubica el segundo vórtice.

El flujo es asimétrico, por lo que la transferencia térmica se produce principalmente entre el piso y la pared más alta por un lado, y hacia el interior del local por otro. Las pérdidas térmicas de origen convectivo a través del techo deben ser prácticamente nulas.

Modelo de un local con dos habitaciones separadas por una puerta, con techo inclinado. Calentamiento desde la pared menor (foto 3 y figura 4).

En este caso se analiza el modelo con dos habitaciones cuando es calentado desde la pared más baja del local más pequeño. Los locales están comunicados entre sí por una abertura que simula una puerta ubicada en el centro del tabique de separación. El plano iluminado se encuentra ubicado verticalmente en el centro de la puerta, aproximadamente.

En los primeros momentos el calentamiento afecta sólo al local menor y el flujo que se establece es similar al observado en el primer caso.

Apenas el líquido caliente alcanza la abertura de la puerta es arrastrado fuertemente hacia arriba en el local más grande mientras que en la zona inferior el agua es arrastrada hacia el local menor. Esto genera una zona de contracorriente indicada por una línea punteada que atraviesa la abertura más o menos a mitad de su altura, en la cual se genera vorticidad. La línea de turbulencia se extiende desde la zona media del local menor hasta media altura del local mayor, sobre la pared izquierda, con vórtices definidos en los extremos. También se observan vórtices debajo del techo de ambos locales.

El intercambio convectivo entre ambos locales se define como una zona de flujo laminar desde el local mayor hacia el menor que atraviesa la puerta hasta una altura próxima a los 3/4 de la altura de la puerta, y una zona de flujo en el sentido contrario, más rápido, comprimido sobre el borde superior de la abertura. Ambas zonas están separadas por una estrecha región de mezcla turbulenta, prácticamente horizontal en el local de la izquierda que asciende ligeramente en el local de la derecha, bifurcándose.

En el local menor se definen dos vórtices principales en los extremos del techo, mientras que en el local mayor el flujo es turbulento debido a la aparición de vórtices bajo el techo y a lo largo de la pared mayor.

La transferencia térmica convectiva desde la pared caliente es provocada por un flujo de tipo laminar. En principio el calor es distribuido dentro del local menor por acción de un rotor central; sin embargo, el vórtice ubicado en el extremo superior derecho impulsa el líquido caliente hacia la abertura de la puerta. Una vez que atraviesa la abertura la fuerza de flotamiento impulsa fuertemente hacia arriba el líquido caliente, transfiriendo parte del calor hacia el techo, y distribuyendo el resto dentro del local mayor. La línea de contracorriente ubicada en la zona media provoca la mezcla del agua caliente proveniente de la izquierda con la fría proveniente de la derecha. La turbulencia que se genera bajo el techo y a lo largo de la pared derecha del local más grande, contribuye a aumentar las pérdidas térmicas del local. Lo mismo sucede con los dos vórtices del local menor, aunque su acción puede ser menos importante ya que el de la derecha contribuye a la transferencia de energía entre los dos locales por conducción a través de la pared.

Se observa que, en la situación modelada, el acoplamiento térmico entre ambos locales debido a la acción de la convección natural es realmente muy fuerte.

Modelo de un local con techo plano. Calentamiento lateral y enfriamiento a través del techo (fotos 4 y 5).

En este caso se analiza el efecto que tiene sobre la circulación del agua en un local calentado levemente desde una de las paredes laterales al incorporar enfriamiento a través del techo.

La foto 4 muestra la situación de calentamiento solamente en la que se establece una circulación laminar a lo largo de la pared caliente y debajo del techo, que no alcanza a movilizar la masa total de líquido del local.

La foto 5 muestra el modelo en la misma situación anterior, a la que se incorporó enfriamiento a través del techo. Inmediatamente se establece un vórtice intenso que actúa sobre la pared derecha; con el transcurso del tiempo el campo de flujo se desordena volviéndose completamente turbulento.

La transferencia térmica, muy baja en la primera situación, y limitada prácticamente al intercambio entre la pared y el techo, se vuelve muy intensa por acción del vórtice que actúa sobre la pared caliente. La turbulencia que se desarrolla posteriormente constituye un mecanismo muy efectivo de mezcla del agua caliente proveniente de la pared con la fría proveniente del techo.

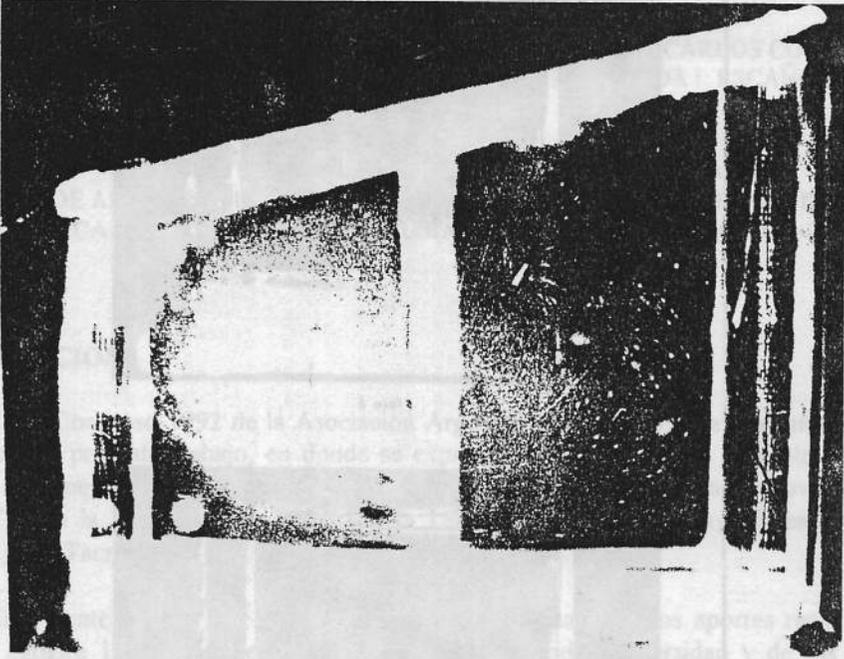


foto 3

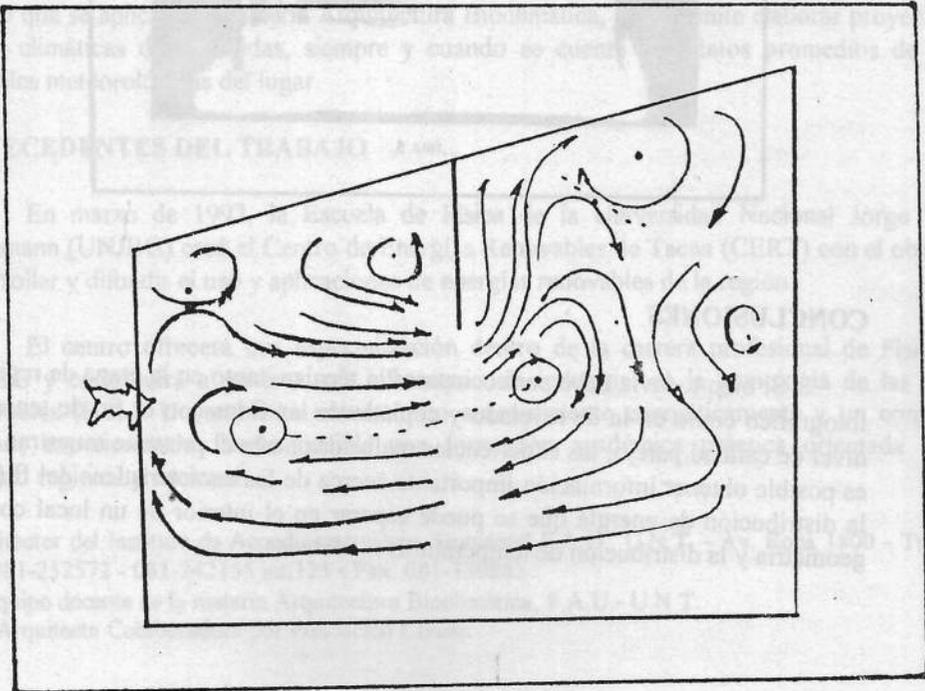


figura 4

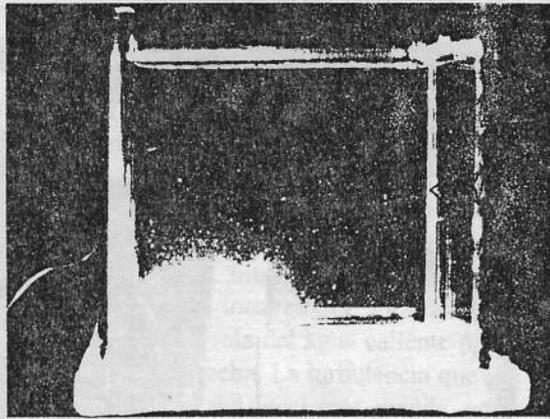


foto 4

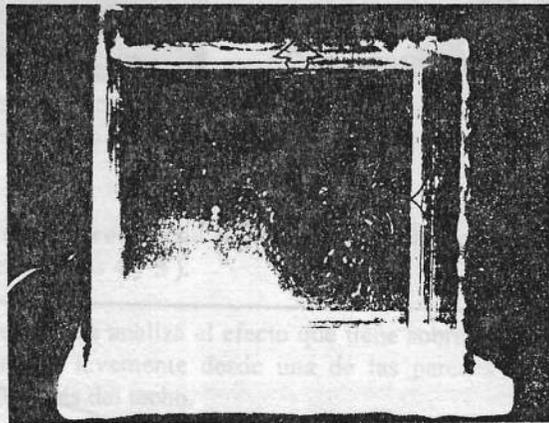


foto 5

CONCLUSIONES

Si bien todavía debe perfeccionarse la técnica, tanto en la etapa de registro fotográfico como en la de revelado y copiado de las fotos con el fin de tener un nivel de calidad parejo, las experiencias realizadas hasta el presente muestran que es posible obtener información importante acerca de las características del flujo y la distribución de energía que se puede esperar en el interior de un local con la geometría y la distribución de temperaturas modeladas.