

# ANALISIS DE ALGUNOS FACTORES QUE MODIFICAN LA CIRCULACION EN UN RECINTO CERRADO

Irene De Paul y María Vilte

INENCO\* - Facultad de Ciencias Exactas - UNSa  
Avda. Bolivia 5150 - 4400 Salta  
TE: 087- 255424

## RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos en una serie de experiencias llevadas a cabo empleando modelos pequeños de locales de vivienda llenados con agua que se hace convectar calentando el modelo desde diferentes superficies. Para visualizar el flujo se empleó la técnica de fotografía de trazas, y se supone que el aire en un local a escala real presentará un patrón similar. Se analiza la tridimensionalidad del flujo, el efecto de un calentamiento no uniforme desde el piso y el efecto de una pequeña pendiente en el piso sobre el patrón de circulación.

## INTRODUCCION

Uno de los mecanismos más importantes de transferencia de energía en sistemas térmicos pasivos es la convección natural (1). Trabajando con recintos cerrados se puede realizar un empleo eficiente de la energía térmica disponible con una adecuada circulación del aire o del fluido que convecta. Para ésto es necesario conocer los patrones de circulación que se establecen en el interior del recinto ante diferentes condiciones de calentamiento, y cómo dichos patrones son modificados por distintos factores.

Dentro de este marco se encaró el estudio cualitativo de patrones de circulación empleando modelos a pequeña escala, que tienen agua como elemento convectivo (2). Se construyeron modelos simples de viviendas, con uno o dos locales, con techo plano e inclinado, y se realizaron ensayos tendientes a determinar qué factores, sean térmicos o geométricos, modifican el flujo, dirigiendo la energía térmica en una dirección u otra.

Para visualizar el flujo (3) se emplearon como trazadores esferas microscópicas de vidrio que, al ser iluminadas en un plano por un haz laser, dispersan la luz permitiendo de esta manera seguir el movimiento, en dicho plano, del agua que las arrastra. Tomando una fotografía con tiempo de exposición suficientemente largo, se puede registrar la trayectoria seguida por las esferas en forma de trazas luminosas o bien empleando métodos computacionales.

Las experiencias realizadas estuvieron dirigidas en primer lugar a analizar en qué medida puede considerarse que el flujo que se establece en un local con calentamiento desde el piso es bidimensional, comparando los patrones de circulación en dos planos perpendiculares. En segundo lugar se analizó en qué medida un calentamiento no

\* Insituto UNSa - CONICET

uniforme modifica la circulación en un local calentado desde el piso, observándose una marcada asimetría en el flujo. Por último se realizaron experiencias con el objeto de estudiar cómo se modifica el flujo ante un desnivel muy pequeño en el piso del local, con calentamiento desde el piso. A continuación se describen estas experiencias en forma detallada.

## 1) TRIDIMENSIONALIDAD DEL FLUJO

La bibliografía que se emplea usualmente en el análisis de la circulación en el interior de recintos cerrados considera que el flujo es bidimensional, en un plano vertical. Las referencias acerca de efectos de tridimensionalidad en la circulación son muy escasas.

Con el objeto de estudiar en qué medida la hipótesis de bidimensionalidad del flujo es aceptable, se visualizó la circulación en el interior de dos modelos pequeños (figura 1): un local con techo inclinado (modelo A) y dos locales separados por un tabique con una abertura que simula una puerta de comunicación, con techo inclinado (modelo B). En ambos casos se ensayó el calentamiento desde la pared lateral más pequeña, comparándose los patrones de circulación que se observan en dos planos verticales perpendiculares entre sí. Con el modelo A se realizó una experiencia semejante con calentamiento desde el piso. La técnica de visualización empleada es la fotografía de trazas, que se describe brevemente en la introducción y más extensamente en la referencia (2).

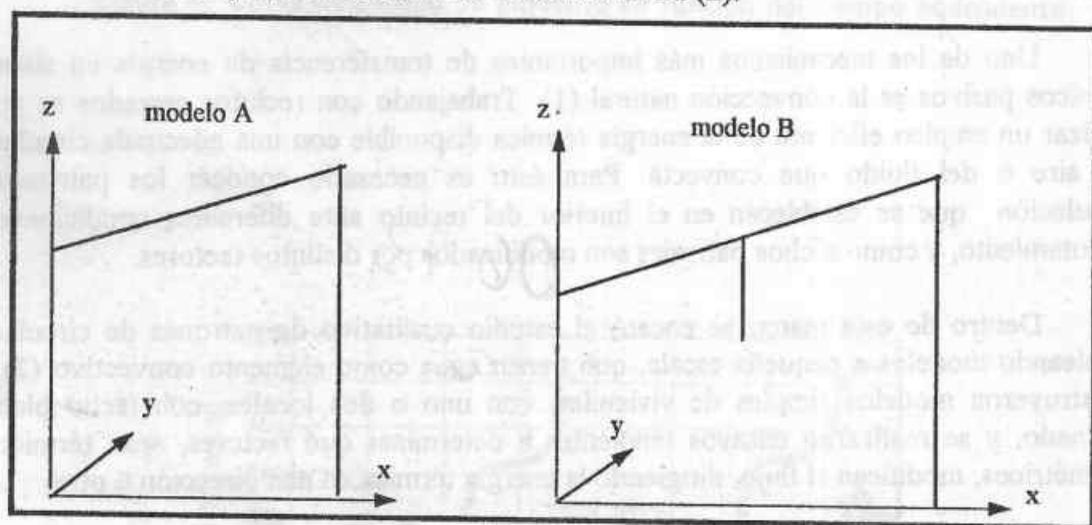


Figura 1

### MODELO A - CALENTAMIENTO LATERAL

En la primera observación, foto 1, el plano iluminado incide normalmente sobre la pared, mostrando un patrón de circulación definido, con un vórtice ubicado a media altura, próximo a la pared caliente, que moviliza toda la masa de líquido del local. Se observa turbulencia debajo del techo.

En la segunda observación, foto 2, el plano de iluminación es paralelo a la pared caliente, ubicado en la zona media del local. Se realizaron ensayos con dos potencias diferentes, una igual a la empleada en la primera observación y otra mayor, obteniéndose en

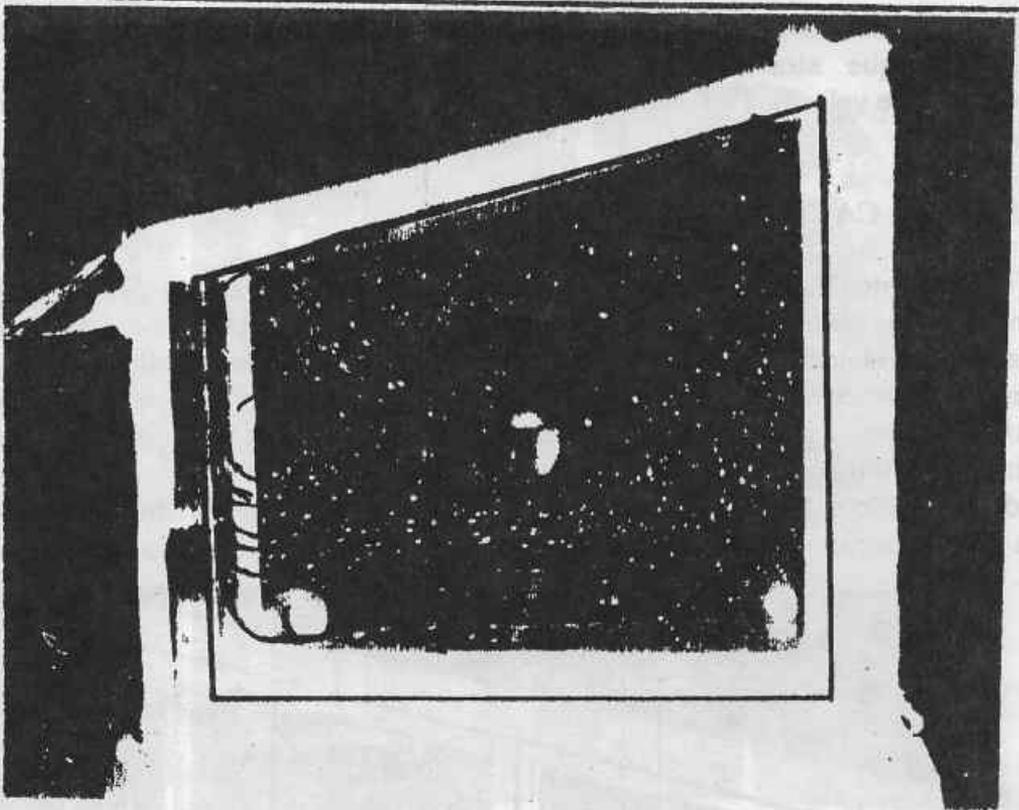


Foto 1: Modelo A, con calentamiento lateral, plano x-z.

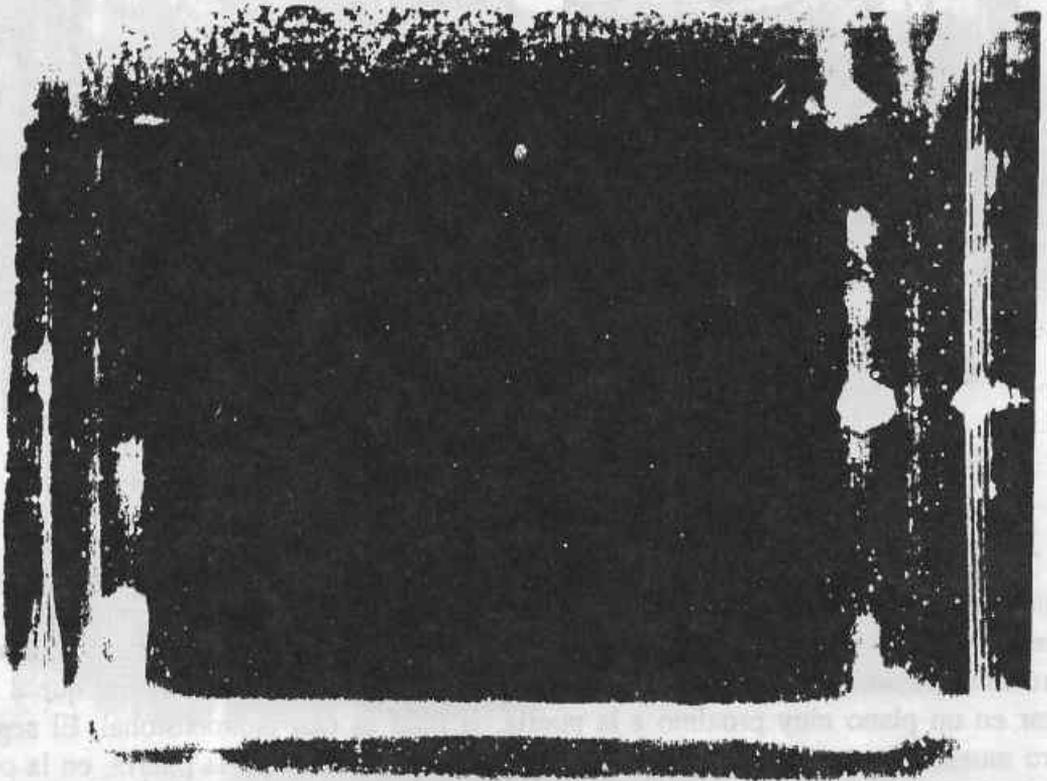


Foto 2: Modelo A, con calentamiento lateral, plano y-z.

ambos casos resultados similares: las trazas de las partículas son prácticamente puntuales, demostrando que atraviesan el plano iluminado en forma perpendicular; no hay componentes de velocidad en dicho plano y por lo tanto se puede considerar que el flujo es bidimensional.

### MODELO B - CALENTAMIENTO LATERAL

En la foto 3 se observa el patrón de circulación que se establece cuando el plano iluminado incide perpendicularmente sobre la pared caliente. Se establece una zona de flujo laminar desde el local mayor hacia el menor, que atraviesa la puerta hasta una altura próxima a los  $\frac{3}{4}$  de la altura de la puerta, y una zona de flujo en sentido contrario más rápido, comprimido sobre el borde superior de la abertura. Estas zonas están separadas por una línea de contracorriente en la que se produce mezcla del líquido caliente con el frío. Cuando el líquido caliente alcanza la abertura de la puerta, es arrastrado fuertemente hacia arriba en el local mayor. El flujo debajo del techo es turbulento en ambos locales.

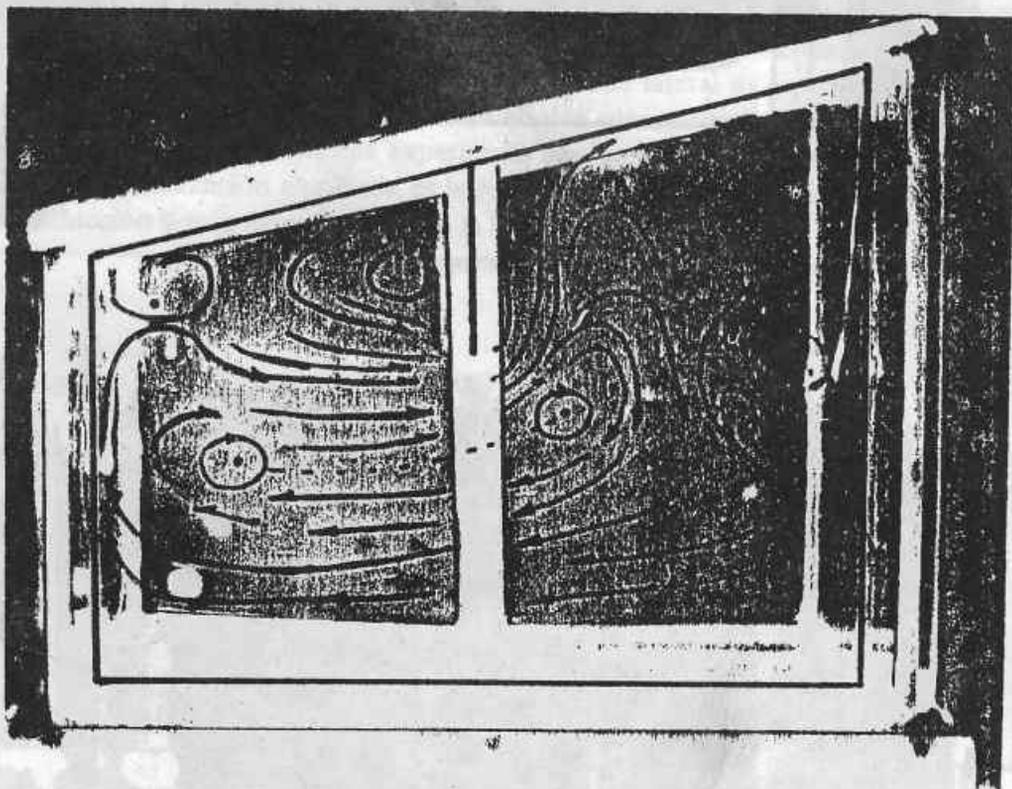
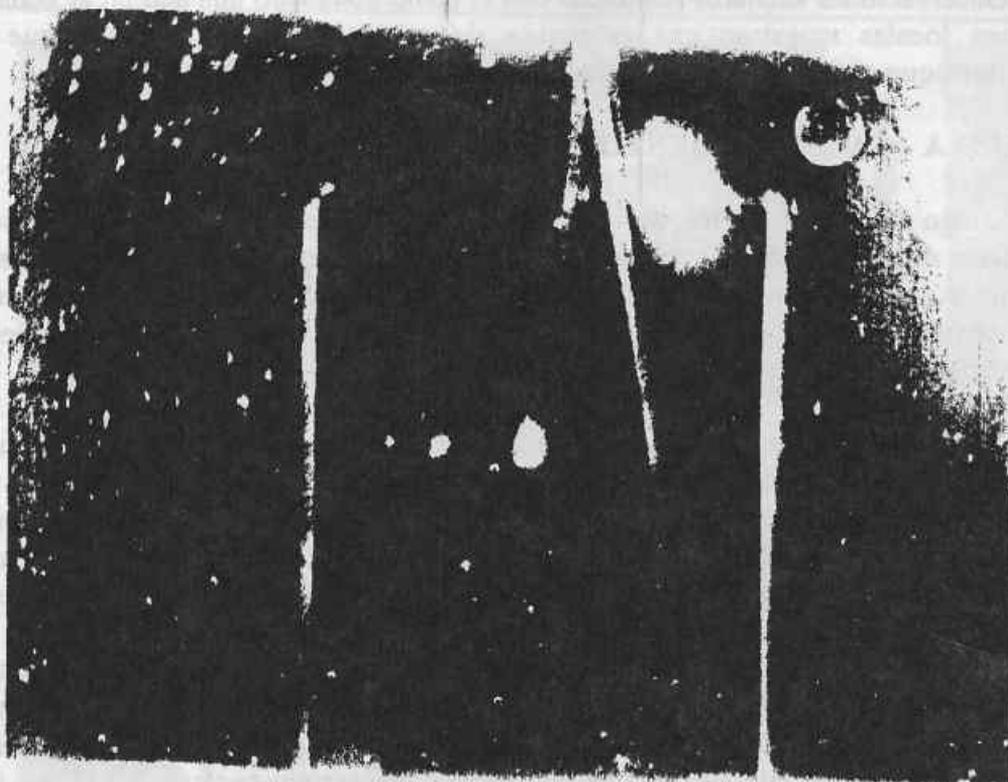
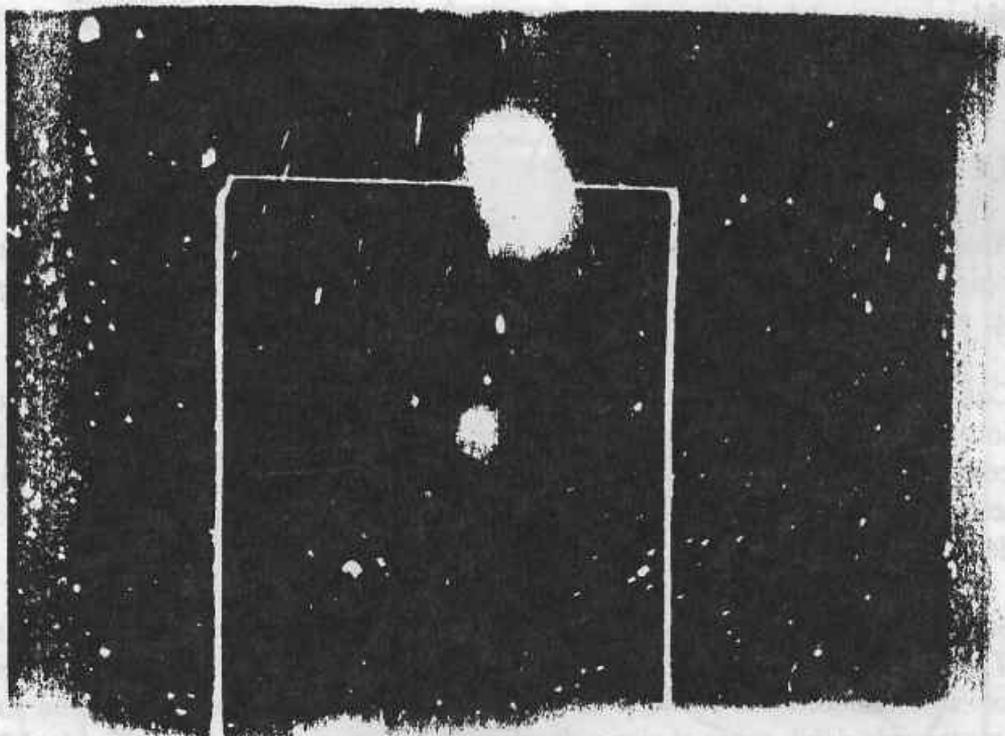


Foto 3: Modelo B, con calentamiento lateral, plano x-z.

En una segunda experiencia se realizaron dos registros fotográficos, en planos paralelos a la superficie caliente, ubicados uno, 7 mm detrás del tabique de separación en el local menor (foto 4), y otro 7 mm delante del tabique en el local mayor (foto 5). El primer registro muestra trazas muy pequeñas, semejantes a una "coma", demostrando que a pesar de estar en un plano muy próximo a la puerta, el flujo es casi bidimensional. El segundo registro muestra trazas largas en la parte superior de la abertura de la puerta, en la cual el arrastre convectivo hacia el techo es muy intenso.



**Foto 4:** Modelo B, con calentamiento lateral, plano de iluminación a 7 mm detrás de la puerta, en el local menor.



**Foto 5:** Modelo B, con calentamiento lateral, plano de iluminación a 7 mm delante de la puerta, en el local mayor.

Observaciones similares realizadas con el plano iluminado ubicado en la zona media de ambos locales muestran una estructura de puntos luminosos, por lo que puede considerarse que el flujo es bidimensional.

## **MODELO A - CALENTAMIENTO DESDE EL PISO**

Luego de un período transitorio durante el cual se desarrollan "plumas" convectivas ascendentes desde el piso, se establece un patrón de flujo definido (foto 6) que, observado lateralmente, muestra un pequeño vórtice ubicado en el extremo inferior derecho y un vórtice central, ubicado a media altura, que moviliza toda la masa del líquido del local, ascendiendo sobre la pared más alta.

La foto 7 muestra una imagen frontal del campo de flujo, que presenta una estructura simétrica, ascendente por las paredes y descendente por la zona media. Esporádicamente se forman "plumas" convectivas desde el piso, lo que induce un cierto grado de inestabilidad en el flujo, que se manifiesta con trazas relativamente cortas en el plano iluminado. Estas inestabilidades son amortiguadas por el flujo global dominante.

La circulación en este caso es mucho más compleja que en el caso de calentamiento lateral, con componentes tridimensionales de la velocidad. Sin embargo, el flujo en el plano medio del local tiene un patrón muy definido, aparentemente producido por la diferencia de altura entre las paredes laterales, lo que le impone una dirección preferencial al movimiento del líquido.

Si bien para analizar globalmente la transferencia de energía convectiva puede bastar con considerar un modelo bidimensional, un análisis más detallado requerirá tener en cuenta las componentes de velocidad en la tercera dirección.

## **II) CALENTAMIENTO NO UNIFORME**

Analizando las características de tridimensionalidad del flujo con calentamiento desde el piso, se hizo notable el efecto de conducción térmica a través de las paredes, que parece ser el factor dominante de la circulación en el plano Y - Z.

Con la intención de identificar cuáles son los factores que modifican el patrón de circulación en el interior de un local y determinar su importancia relativa, se realizó un ensayo con el modelo A en el cual el calentamiento desde el piso no era uniforme: se ubicó el calefactor de manera tal que una de las paredes del local no estuviera en contacto con él, con un desplazamiento del 10 %.

Se realizó un registro en el plano Y - Z (foto 8) y se lo comparó con lo observado en la foto 7 en que el calentamiento era uniforme. Se observa que el flujo es notablemente asimétrico: se establecen dos vórtices: uno dominante desplazado hacia el extremo superior derecho y otro más débil, sobre el piso y desplazado ligeramente hacia la izquierda del plano medio. En el caso anterior se observaban dos vórtices que inducían una circulación simétrica. El agua asciende a lo largo de la pared ubicada sobre el calefactor y desciende en la zona media del local, con flujo predominante a lo largo de la diagonal.

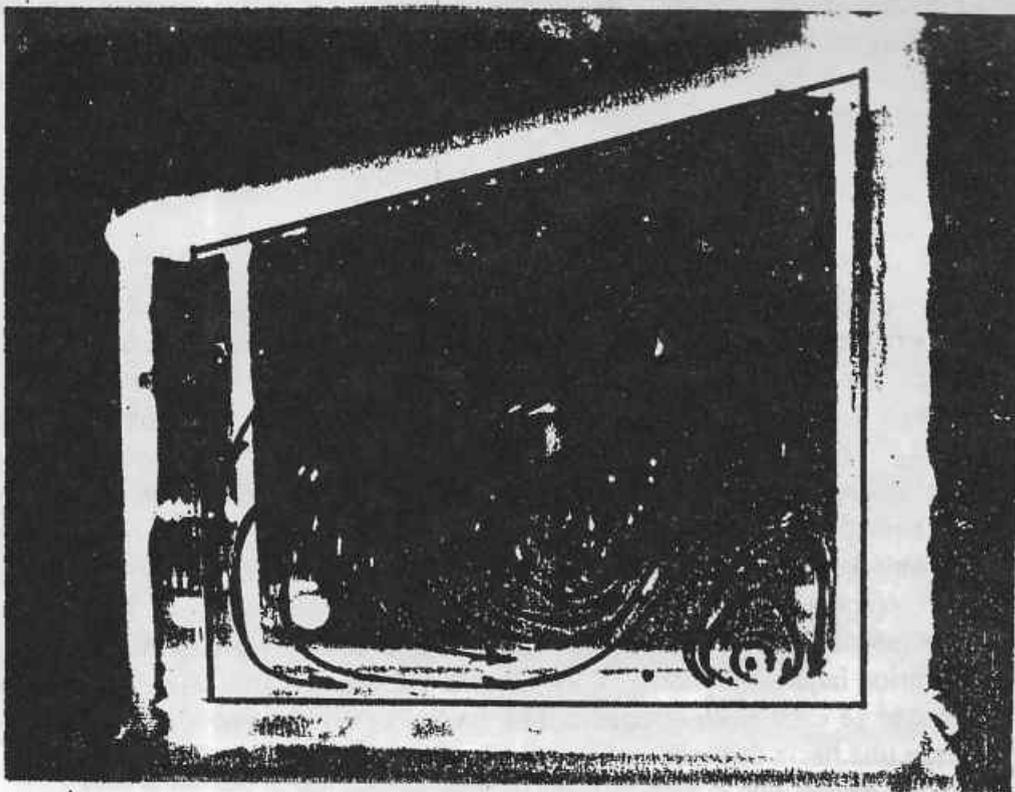


Foto 6: Modelo A, con calentamiento desde el piso, plano x-z.

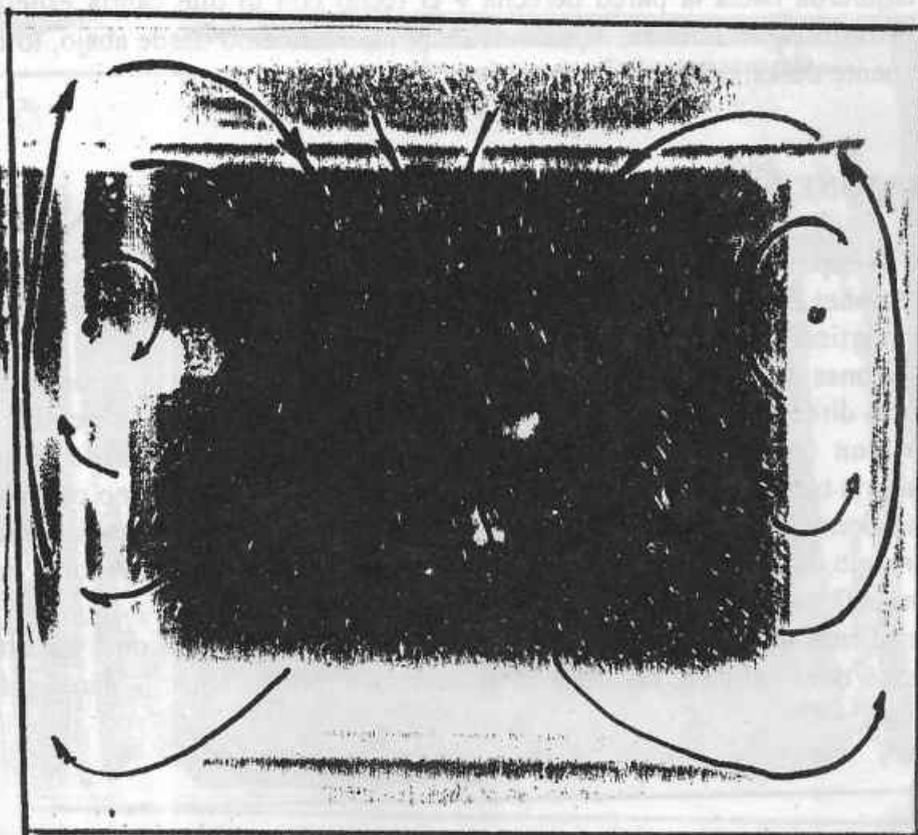


Foto 7: Modelo A, con calentamiento desde el piso, plano y-z.

Desde el punto de vista de la transferencia térmica, el calor que entra al local desde el piso es distribuido por convección en parte, al interior del local y en parte, a la pared de la derecha, con lo cual contribuye a mantener una temperatura elevada en dicha pared. En el caso mostrado en la foto 7, el calor es distribuido uniformemente desde el piso y las paredes hacia el interior del local.

### III ) EFECTO DE PENDIENTE EN EL PISO

A los efectos de analizar cómo se modifica la circulación cuando el piso presenta una pequeña inclinación respecto de la horizontal, se repitió la experiencia de calentamiento uniforme desde el piso con el modelo A montado sobre una placa rígida, previamente nivelada. Se realizó un primer registro que resultó similar al que se muestra en la foto 7.

Posteriormente se colocó una cuña en el extremo derecho de la placa de modo de producir una pendiente del 1.7 %; ésto significa que el lado derecho del modelo fue elevado 17 mm y el ángulo que forma el piso con la horizontal es de aproximadamente  $1^\circ$ . La foto 9 muestra los efectos que este cambio tuvo sobre la circulación: el flujo pasó de una estructura simétrica a otra claramente asimétrica, con dos vórtices ubicados uno, en el extremo inferior izquierdo y otro, a media altura sobre la pared derecha. Las celdas de circulación que se establecen alrededor de los vórtices no son cerradas ya que hay flujo de líquido desde una hacia otra a lo largo de la diagonal que las separa.

En este caso, la transferencia de energía se realiza fundamentalmente desde el piso y la pared izquierda hacia la pared derecha y el techo con lo que cabría esperar un cierto grado de estratificación térmica, a pesar de tener calentamiento desde abajo, lo que provoca una permanente desestabilización convectiva.

### CONCLUSIONES

De lo expuesto podemos concluir lo siguiente:

- 1) En situaciones de calentamiento lateral se puede considerar que el flujo es bidimensional en el plano vertical perpendicular a la pared caliente.
- 2) En situaciones de calentamiento desde el piso, si bien la presencia de un techo inclinado imprime una dirección preferencial al movimiento del fluido lo que permite analizar la circulación con un modelo bidimensional, un cálculo más detallado de la transferencia térmica debería tener en cuenta las componentes de velocidad en el plano perpendicular.
- 3) En situaciones de calentamiento no uniforme desde el piso como la descrita en el presente trabajo, la circulación que se establece es asimétrica, contribuyendo a mantener una temperatura alta en la pared más caliente.
- 4) Una pendiente del 1.7 % en el piso induce un flujo asimétrico que, en situaciones de calentamiento desde el piso, favorece la transferencia térmica hacia la pared más elevada y el techo

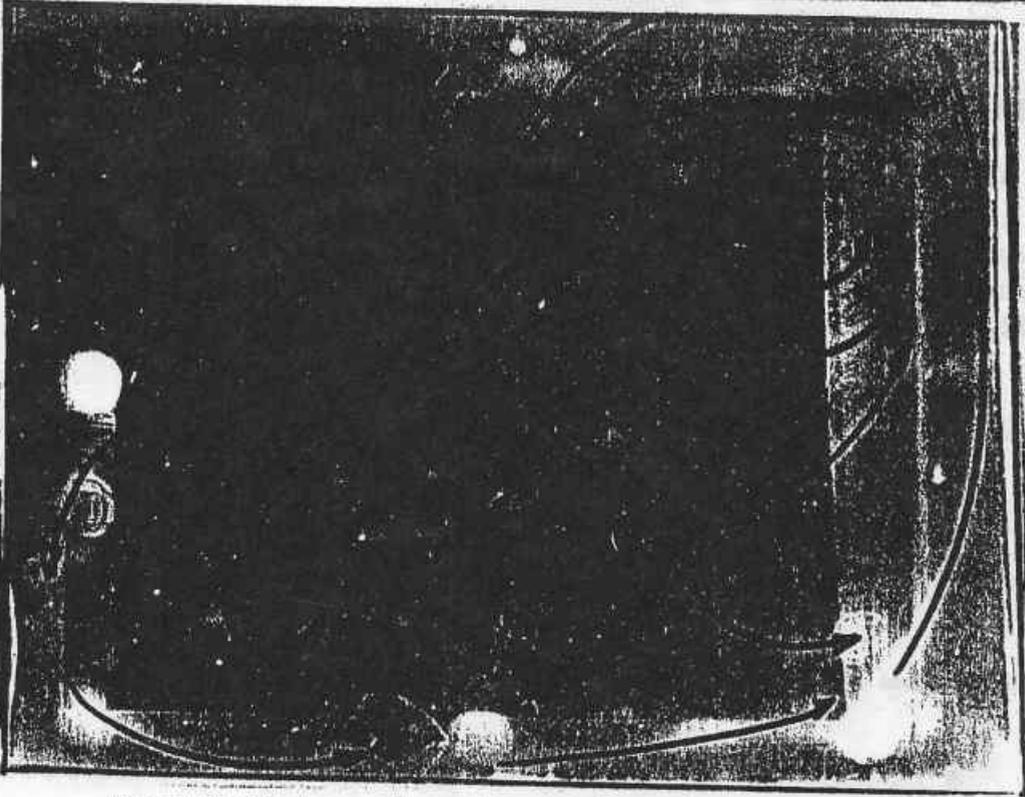


Foto 8: Modelo A, con calentamiento no uniforme desde el piso, plano x-z.

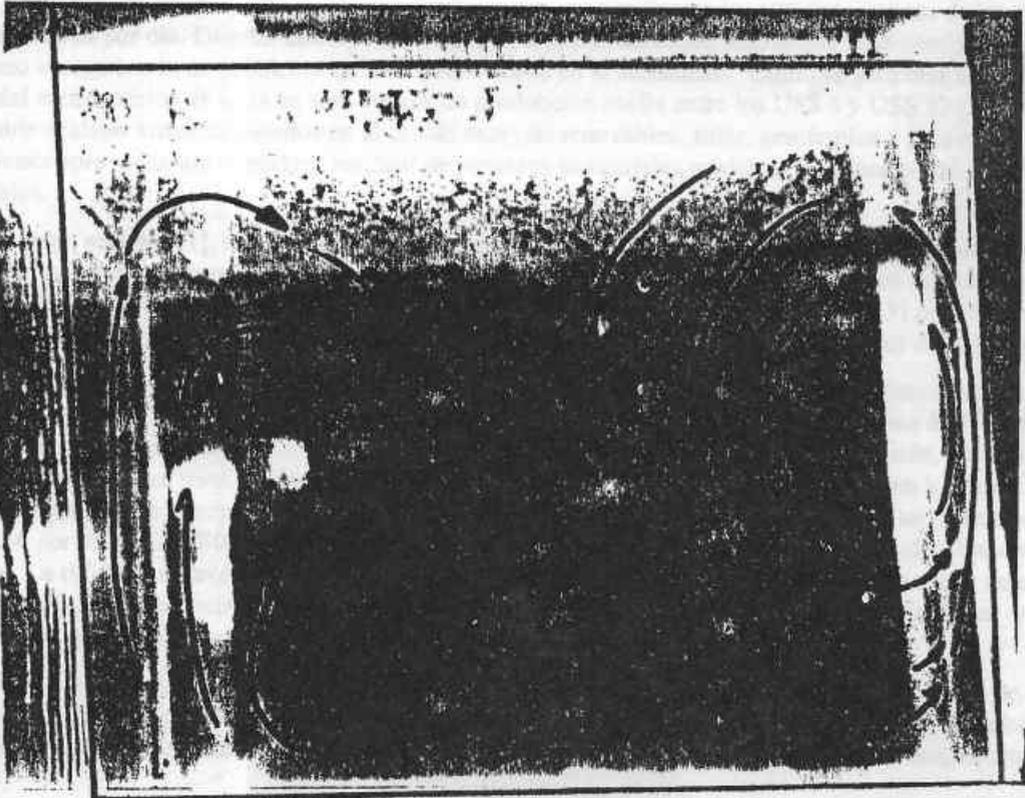


Foto 9: Modelo A, con calentamiento desde el piso, plano x-z.  
Desnivel del 1 % en el piso.

124  
/ y

## BIBLIOGRAFIA

1. Balcomb, J. D. "Heat distribution by natural convection". Actas Intersol 85.
2. I. De Paul, M. Vilte, G. Lesino. "Modelos de circulación de aire en locales cerrados". Actas 16a. Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente. La Plata Diciembre .1993.
3. Merzkirch, W. "Flow visualization". Academic Press Inc. 1974.

