

# INFLUENCIA DE LA PENDIENTE DEL TECHO EN LA CONVECCION ENTRE DOS LOCALES

Irene De Paul, María del Socorro Vilte  
INENCO - Departamento de Física UNSa.  
Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta  
TE: 87-255424 / 389  
E-mail: depaul @ ciunsa.edu.ar

## RESUMEN

Usando modelos a pequeña escala que emplean agua como elemento convectivo, se analiza las características de la circulación que se establece entre dos locales a través de la abertura de una puerta, cuando se calienta una de las paredes laterales. Se construyeron dos modelos en acrílico, uno con techo plano y otro con techo inclinado. Empleando el método de visualización de flujos por análisis de trazas se analiza cualitativamente las características de la circulación que se establece entre ambos locales en cada caso y las consecuencias que se puede esperar desde el punto de vista de la transferencia térmica. Se comparan los valores de velocidad que se obtienen en ambos casos ante idénticas condiciones de calentamiento.

## INTRODUCCION

En trabajos anteriores [ 1, 2, 3 ] se planteó el uso de modelos a pequeña escala que emplean agua como elemento convectivo para estudiar las características de la circulación que se establece en el interior de un recinto, originada en procesos de convección natural. En particular [ 3 ], se comprobó la notable influencia que provoca una pendiente muy pequeña en el piso en el patrón de circulación de un recinto.

Este resultado sugirió la necesidad de estudiar qué efecto tiene la pendiente del techo sobre la convección entre dos locales a través de la abertura de una puerta. Para esto se empleó uno de los modelos ya construídos, que consta de dos locales con techo inclinado, y se construyó uno nuevo de dimensiones semejantes al primero pero con techo plano. Se ensayaron ambos en las mismas condiciones de calentamiento y se visualizó el flujo usando como trazadores microesferas huecas de vidrio que dispersan la luz de un haz laser en un plano vertical. Empleando el método de velocimetría por fotografía de trazas [ 2 ] se midió la velocidad en el interior de ambos modelos, comparándose los resultados obtenidos.

## DESCRIPCION DE LOS MODELOS

El modelo de techo inclinado, modelo I, tiene 0.12 m de ancho, 0.10 m de alto en la pared mayor, 0.075 m en la pared menor y 0.10 m de profundidad. El modelo de techo plano, modelo P, tiene 0.12 m de ancho, 0.087 m de alto y 0.10 m de profundidad. ( Figura 1 ). La altura de las paredes es tal que el volumen encerrado es el mismo. Las dimensiones de la abertura que comunica los dos locales son 0.06 m de alto por 0.02 m de ancho. Las paredes fueron construídas en vidrio flotado de 3 mm de espesor mientras que en las paredes y el techo se empleó acrílico. Se calentó una de las paredes verticales, la menor en el caso I, empleando una resistencia eléctrica alimentada en ambos casos con la misma tensión: 55 V.

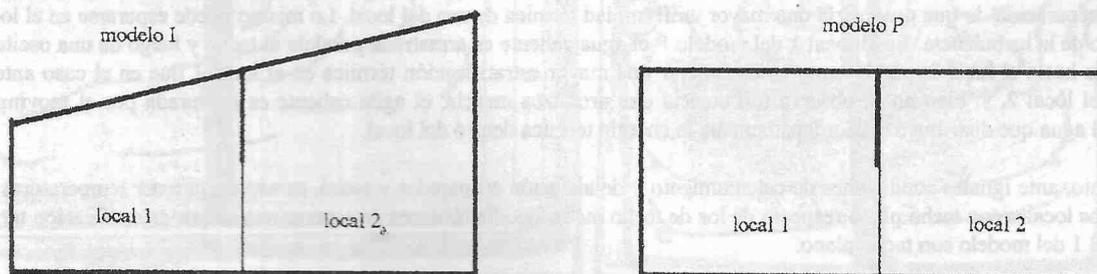


Figura 1: esquema del modelo I con techo inclinado y del modelo P con techo plano.

Para visualizar el movimiento del agua se empleó un laser de He-Ne 15 mW y una lente cilíndrica que genera un plano iluminado que incidía sobre los modelos verticalmente, atravesando los dos locales por el plano medio de la abertura de la puerta. Para realizar las medidas de velocidad se fotografió el plano iluminado con tiempos de exposición de 5 s a 7 s y las fotografías fueron capturadas con un scanner para ser procesadas con el programa Photo Styler. El tamaño de las trazas fue medido con computadora, generándose un archivo ascii que posteriormente es introducido a un programa que calcula los valores de velocidad.

## COMPARACION DEL PATRON DE CIRCULACION

Las figuras 2 y 3 muestran dos imágenes de una secuencia de fotos de ambos modelos en distintas etapas de desarrollo del patrón de circulación, sobre las que se trazó las líneas de flujo luego de haber sido procesadas para que la imagen resulte más clara. La foto de la figura 2, corresponde a los primeros minutos desde el comienzo del calentamiento. En el mismo se observa que el agua asciende próxima a la pared caliente y, mientras en el local I convecta el agua del local izquierdo ( local 1 ) notándose muy poco movimiento en el local derecho ( local 2 ), en el modelo P se observa que el agua próxima a la abertura asciende rápidamente dentro del local 2.

Las etapas siguientes muestran que en el local 1 del modelo P el agua que sube sobre la pared caliente se desplaza paralela al techo, choca contra la pared que separa los locales produciendo una oscilación muy marcada y luego se introduce en el local 2 donde es arrastrada fuertemente hacia arriba. No se observa turbulencia de escala apreciable. En la parte inferior, el agua del local 2 es arrastrada suavemente hacia la izquierda, estableciéndose una línea de contracorriente que atraviesa la puerta a 4 / 5 de su altura desde el piso.

En el local 1 del modelo I se observa que el agua que asciende no se desplaza a lo largo del techo sino que es arrastrada hacia abajo por el flujo dominante de un vórtice que se establece sobre la pared de separación, que tiende a introducir el agua dentro del local 2. Hay alguna turbulencia debajo del techo, donde se ven vórtices encontrados que dominan de manera alternante el carácter del flujo. El agua del local 2 es arrastrada suavemente hacia la izquierda estableciéndose la línea de contracorriente a una altura algo menor que en el caso anterior: 3 / 4 de la altura de la puerta.

Las fotos de la figura 3 corresponden a las etapas finales del desarrollo del patrón de circulación. En ella se observa que en el local 2 del modelo P el agua proveniente del local 1 es arrastrada fuertemente hacia arriba, choca contra el techo donde se produce una fuerte oscilación, vuelve a subir hacia el vértice superior derecho donde choca contra la pared derecha produciendo una nueva oscilación siendo después arrastrada hacia la izquierda por el movimiento global de la masa de agua que se desplaza hacia el local 1. Salvo un pequeño vórtice que se establece sobre la pared derecha, no es apreciable ningún efecto de turbulencia.

En el modelo I por su parte, se observa en el local 2 el mismo arrastre hacia arriba, muy intenso, del agua proveniente del local 1, no se observa oscilación pero sí se nota la aparición de vórtices que, si bien en las primeras etapas sólo contribuyen a reincorporar el líquido a la masa de agua que vuelve al local 1, en las últimas etapas representan un flujo claramente turbulento que tiende a mezclar el agua debajo del techo.

En ambos modelos el flujo sobre el piso y la pared caliente es claramente laminar, dentro de las condiciones en que se realizaron las experiencias.

## TRANSFERENCIA TERMICA

Desde el punto de vista de la transferencia térmica se puede señalar que, al tener el modelo I un flujo más turbulento debajo del techo, es de esperar coeficientes de transferencia  $h$  más altos y por lo tanto mayores pérdidas térmicas a través del techo. La transferencia térmica desde el local 1 hacia el 2 a través de la pared que los separa debería ser menor en el modelo P ya que no se observa turbulencia y sólo sería dominante el efecto conductivo de la pared.

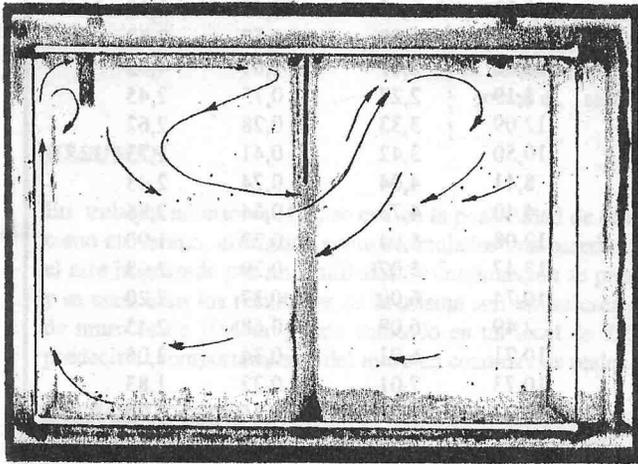
En el local 1 del modelo I el agua caliente tiende a mezclarse dentro del local por efecto del vórtice que se establece sobre la pared de separación lo que produciría una mayor uniformidad térmica dentro del local. Lo mismo puede esperarse en el local 2 por efecto de la turbulencia. En el local 1 del modelo P el agua caliente es arrastrada paralela al techo y luego de una oscilación es enviada hacia el local 2, por lo tanto es de esperar una mayor estratificación térmica en el local 1 que en el caso anterior. Dentro del local 2, si bien no se observa turbulencia que produzca mezcla, el agua caliente es capturada por el movimiento global del agua que distribuye más ordenadamente la energía térmica dentro del local.

Por lo tanto, ante iguales condiciones de calentamiento y de aislación en paredes y techo, se espararía tener temperaturas más altas en los locales con techo plano respecto de los de techo inclinado. También es de esperar una mayor estratificación térmica en el local 1 del modelo con techo plano.

## MEDIDAS DE VELOCIDAD

La Tabla 1 muestra los resultados de algunas de las medidas de velocidad obtenidos en ambos modelos. Los valores obtenidos en ambos casos son similares, con velocidades mínimas de 0.2 cm / s y máximas de 2.12 cm / s en el modelo P y de 1.25 cm / s en el modelo I. El valor medio de velocidad en ambos modelos es el mismo: 0.51 cm / s, sin embargo, si se analizan los valores medios que se obtienen en función de la altura ( Tabla 2 ) surgen algunas características que coinciden con lo observado: en el modelo I la velocidad más alta se registra en las proximidades del piso, mientras que debajo del techo donde el flujo es turbulento la velocidad media es menor. Por el contrario, en el modelo P que presenta un flujo más ordenado, los valores máximos de velocidad se encuentran debajo del techo, donde no se observa turbulencia; el rango de valores es más amplio por lo que resulta una distribución de velocidad más inhomogénea.

f2.tif



f6b.tif

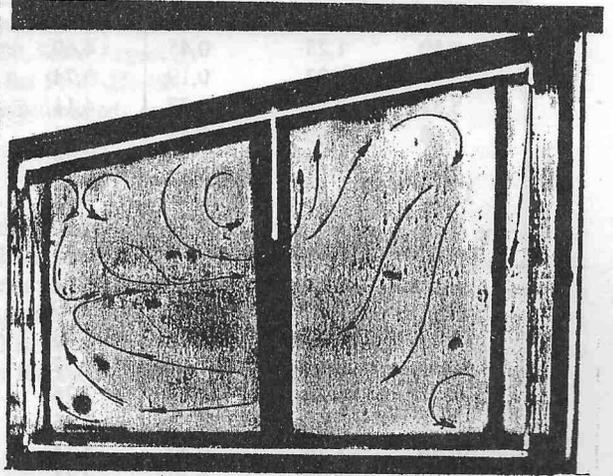
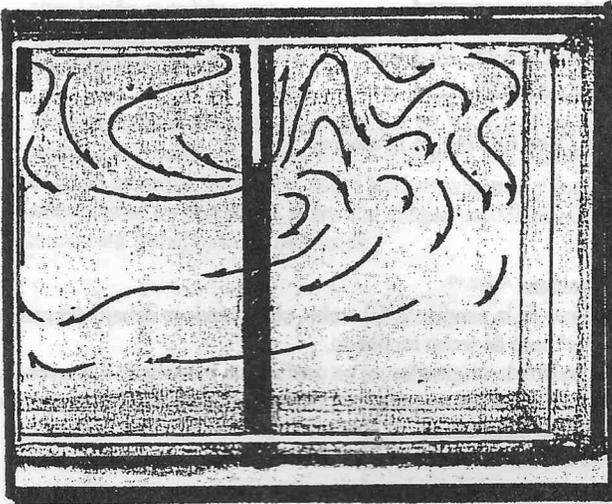


Figura 2: comparación del patrón de circulación en los modelos con techo plano y techo inclinado. Etapas iniciales.

f9.tif



f6g.tif

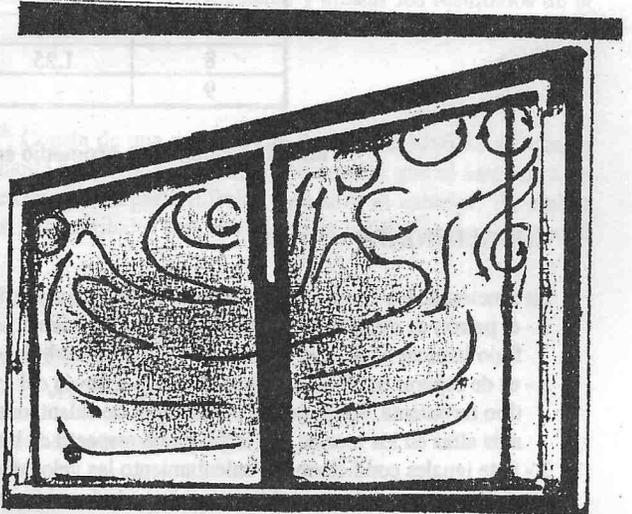


Figura 3: comparación del patrón de circulación en los modelos con techo plano y techo inclinado. Estapa final.

Medida de velocidad - Modelo P dos locales - techo plano.				Medida de velocidad - Modelo I dos locales - techo inclinado.			
x (cm)	y (cm)	velocidad (cm/s)	error (%)	x (cm)	y (cm)	velocidad (cm/s)	error (%)
2,53	1,03	0,92	3,16	10,22	0,65	0,35	2,02
9,59	1,25	0,45	4,60	1,62	1,08	1,52	2,12
10,54	2,92	0,19	3,74	8,36	2,07	0,65	4,02
5,32	2,98	0,77	4,11	1,19	2,27	0,75	2,45
3,68	3,69	0,45	3,74	12,09	3,33	0,28	2,62
8,61	3,73	0,37	2,48	10,50	3,42	0,41	1,75
12,66	4,37	0,16	3,01	8,41	4,04	0,74	2,43
0,76	4,54	0,28	4,26	4,40	4,73	0,64	2,86
4,08	5,00	0,33	3,45	12,08	5,04	0,29	1,90
8,90	5,63	0,60	3,53	13,47	5,07	0,29	2,63
8,63	6,12	0,57	2,79	10,74	6,00	0,37	2,20
0,64	6,25	0,55	2,73	2,49	6,08	0,68	2,45
5,14	6,32	1,18	2,37	10,71	6,91	0,34	2,05
10,58	6,73	0,44	2,26	10,73	7,01	0,33	1,83
5,51	7,03	0,55	3,16	12,21	7,36	0,35	2,20
10,46	7,76	0,42	3,14	12,24	8,02	0,28	2,66
8,85	8,22	2,12	4,51	11,64	8,94	0,42	2,25
11,00	8,81	0,37	3,26	12,78	9,05	0,60	1,92

Tabla 1: medidas de velocidad en los modelos con techo plano e inclinado.

altura en cm	Modelo P	Modelo I
1	0.50	0.79
2	0.34	0.58
3	0.36	0.45
4	0.25	0.51
5	0.52	0.50
6	0.70	0.46
7	0.48	0.46
8	1.25	0.34
9	-	0.60

Tabla 2: Velocidades promedio en cm / s en función de la altura.

## CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

- 1.- el patrón de circulación se modifica sustancialmente por efecto de la pendiente del techo, observándose debajo del mismo flujo laminar en el caso de techo plano y flujo turbulento en el caso de techo inclinado.
- 2.- es de esperar pérdidas térmicas mayores a través del techo inclinado originadas en un coeficiente h asociado a convección de tipo turbulenta. Ante iguales condiciones de calentamiento y de aislación en paredes y techo, se esperaría tener temperaturas más altas en los locales con techo plano respecto de los de techo inclinado.
- 3.- ante iguales condiciones de calentamiento las velocidades medias son las mismas en ambos casos, sin embargo la distribución en altura es diferente, observándose mayor inhomogeneidad en el caso de techo plano.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- 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, Argentina. Tomo I*, 209 (1993).
- 2.- M. Vilte, I. De Paul, Convección natural entre dos locales: determinación del perfil de velocidades en una puerta por fotografía de trazas. *Actas de la 17a. Reunión de ASADES, Rosario, Argentina. Tomo II*, 665 (1994).
- 3.- I. De Paul, M. Vilte, Análisis de algunos factores que modifican la circulación en un recinto cerrado. *Aceptado para su publicación en Actas de 18a. Reunión de ASADES, San Luis, Argentina. (1995).*