

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN TÉRMICA E HIDRODINÁMICA EN UN RECINTO CERRADO PRODUCIDA POR CONVECCIÓN NATURAL

Vilte María, De Paul Irene

Facultad de Ciencias Exactas - INENCO¹ - Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, (4400) Salta, Argentina -Teléfono: (087) 255389, Fax: (087) 255489

RESUMEN

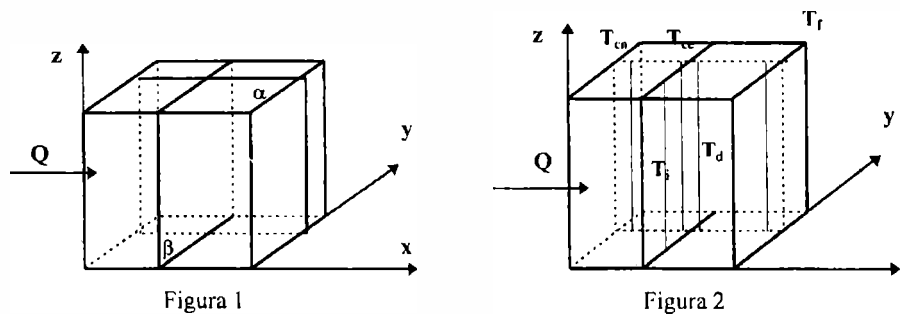
El presente trabajo constituye un primer intento, en la búsqueda de una correlación entre el aspecto térmico y el hidrodinámico, en convección natural en el interior de una cavidad. Esta propuesta pretende a través de mediciones térmicas interpretar el patrón de circulación en estos recintos.

INTRODUCCIÓN

Para una descripción más amplia y completa de los mecanismos de transferencia de energía en un recinto cerrado, por convección natural, es de vital importancia conseguir establecer una correlación entre el patrón de circulación y el perfil de temperaturas que se produce en el mismo local. En este marco las experiencias realizadas estuvieron dirigidas hacia dos propósitos, en primer lugar a la visualización y análisis del perfil de velocidades dentro una cavidad cerrada a través de las técnica de fotografía de trazas. En una segunda etapa se realizaron experiencias con el objeto de establecer la distribución de temperaturas dentro del mismo recinto.

Una vez obtenidos estos resultados, se trató de establecer en qué medida puede existir una correlación entre los parámetros térmicos e hidrodinámicos, que permitan interpretar y caracterizar el flujo a través del perfil de temperaturas, que en definitiva es el responsable del movimiento convectivo.

Se trabajó en un modelo construido en vidrio flotado de 10X10X10 cm³ de volumen. El calentamiento se efectúa a través de una de las paredes laterales tal como se esquematiza en la figura 1 y 2.



PATRÓN DE CIRCULACIÓN

Se observa y se analiza el movimiento de fluido en un plano de incidencia normal a la pared caliente y en un plano paralelo a la superficie que es calentada.

El sistema es calentado por un calefactor y la potencia entregada es de aproximadamente 35W. En estas condiciones los registros fotográficos muestran el perfil de trazas de la foto 1 y 2.



Foto 1. Perfil de trazas en el plano xz, a los 5° de iniciado el calentamiento del recinto.

¹ Instituto UNSa. - CONICET

El análisis de los registros nos permite afirmar que el movimiento es prácticamente bidimensional (en el plano xz), ya que los registros obtenidos en idénticas condiciones de calentamiento en el plano yz así lo revelan, con valores de velocidad casi despreciables, en la dirección del eje z. Ver foto 3.

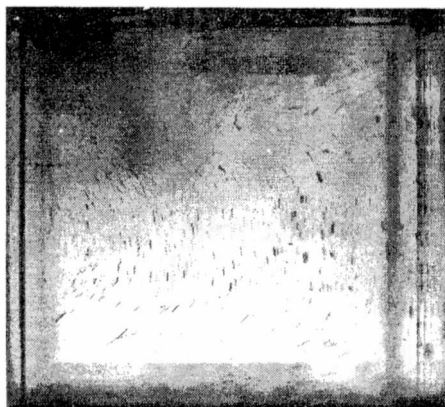


Foto 2. Perfil de trazas observado en el plano xz, a los 15' de iniciado el calentamiento del local.

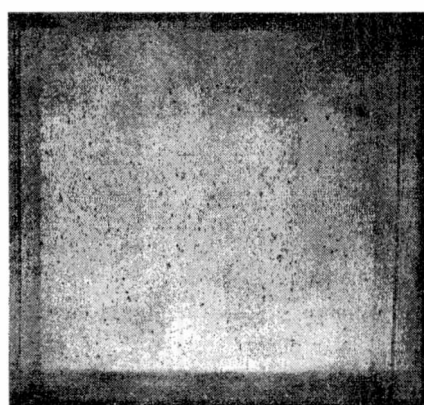


Foto 3. Perfil de trazas en el plano yz.

En el perfil de trazas en el plano xz, mostrado en las fotos 1 y 2 se observa que las partículas que ascienden por la pared caliente al llegar al techo son arrastradas hacia la pared fría por donde descenden. Este descenso es muy peculiar, ya que en un principio las partículas son arrastradas hacia la región central, hasta un cierto punto z_0 , a partir del cual se observa que son empujadas hacia la pared fría, produciéndose una inversión en la componente x de la velocidad. Los valores de velocidad en módulo oscilan en promedio entre 0.1 mm/s y 0.3 mm/s, valores que son relativamente pequeños, lo que requiere largos tiempos de exposición en las fotos tomadas. Estos valores se muestran en la tabla 1.

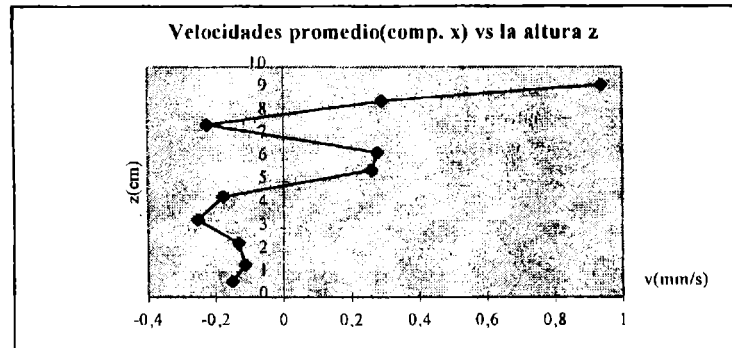
x(cm)	y(cm)	v(mm/s)	x(cm)	y(cm)	v(mm/s)
0.86	3.49	0.29	5.93	3.37	0.21
1.75	3.63	0.18	6.50	5.55	0.28
2.47	6.26	0.25	6.58	4.19	0.18
2.65	7.05	0.25	6.69	5.56	0.26
3.45	3.76	0.23	6.83	0.63	0.16
3.48	7.46	0.27	7.21	3.20	0.20
3.60	4.51	0.21	7.33	5.85	0.26
3.74	5.50	0.34	7.06	4.53	0.19
4.39	6.06	0.31	8.19	6.35	0.28
4.42	7.36	0.18	8.19	5.67	0.23
4.57	9.26	0.95	8.96	8.48	0.29
4.67	6.46	0.29	9.47	7.66	0.27
5.16	7.53	0.22	9.89	2.18	0.17

Tabla 1. Valores de velocidad en los puntos (x,y) del interior del recinto

x_i (cm)	v_x (mm/s)	y_i (cm)	v_y (mm/s)
0.86	0.29	0.67	0.15
1.38	0.16	1.42	0.11
2.51	0.21	2.38	0.13
3.54	0.26	3.40	0.25
4.49	0.29	4.39	0.18
5.43	0.21	5.53	0.26
6.13	0.29	6.29	0.28
7.25	0.27	7.49	0.22
8.54	0.19	8.52	0.29
9.68	0.22	9.23	0.94

Tabla 2. Valores de velocidad promedio, resultados de una discretización en intervalos en la dirección x.

Se realizó una discretización en intervalos de 1 cm en las direcciones x y z , y el cálculo de los valores medios de velocidad por regiones para estos valores teniendo en cuenta el sentido de las velocidades. Esto nos permite precisar la zona de inversión. Un perfil de velocidades más claro y definido se muestra en la gráfica 1. De la última gráfica y de la tabla 2 podemos decir que $5 < z_0 < 7$, donde z_0 es punto de inversión. En esta zona se registra el mayor número de partículas con velocidades próximas a 0.3 mm/s. La técnica utilizada no permite determinar el sentido de la velocidad, por lo que este dato está dado por la visualización del flujo, por parte del observador.



Gráfica 1. Perfil de velocidades en el plano xz.

PERFIL DE TEMPERATURAS

Una vez establecido el patrón de circulación a través del procesamiento de los registros fotográficos ya expuesto, se tratará de establecer una correlación entre este patrón y las medidas térmicas que se efectuaron en el mismo modelo y en condiciones semejantes. Para este propósito se efectuaron dichas mediciones en los dos planos perpendiculares (α y β) que pasan por el centro del modelo, para distintas alturas en z , en intervalos de 1 cm, como se muestra en la figura 2.

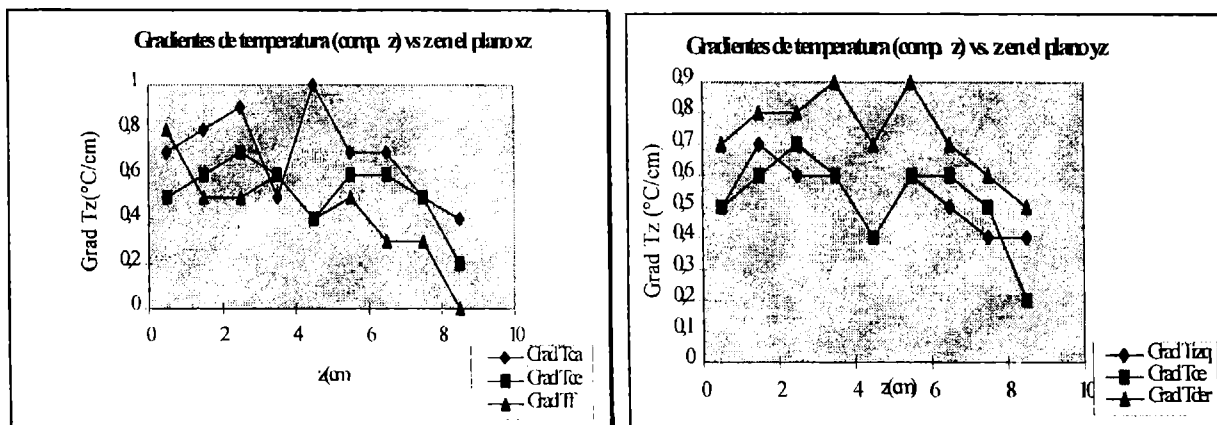
Así se obtuvieron valores de temperatura en la pared caliente (T_{ca}), en el centro (T_{ce}) y en la pared fría (T_f), también el plano perpendicular β a derecha (T_{dr}) e izquierda (T_{iz}) del centro, que se detallan en la tabla 3

altura z	T_{ca} (x=1cm)	T_{ce} (x=4 cm)	T_f (x=9 cm)	T_{der} (y=1cm)	T_{izq} (y=9cm)
0	20.6	19.3	18.4	19.2	17.9
1	21.3	19.8	19.2	19.9	18.4
2	22.1	20.4	19.7	20.7	19.1
3	23	21.1	20.2	21.5	19.7
4	23.5	21.7	20.8	22.4	20.3
5	24.5	22.1	21.2	23.1	20.7
6	25.2	22.7	21.7	24	21.3
7	25.9	23.3	22	24.7	21.8
8	26.4	23.8	22.3	25.3	22.2
9	26.8	24	22.3	25.8	22.6

Tabla 3. Valores de temperaturas medidos en el interior del recinto.

Con estos valores determinamos las componentes de los gradientes medios de temperatura en la dirección x , $G1(x_i) = \Delta T / \Delta x$, con z fijo y en la dirección z , $G2(z_i) = \Delta T / \Delta z$, con x fijo, también se trabajó con las componentes (y , z) del gradiente en el plano perpendicular yz .

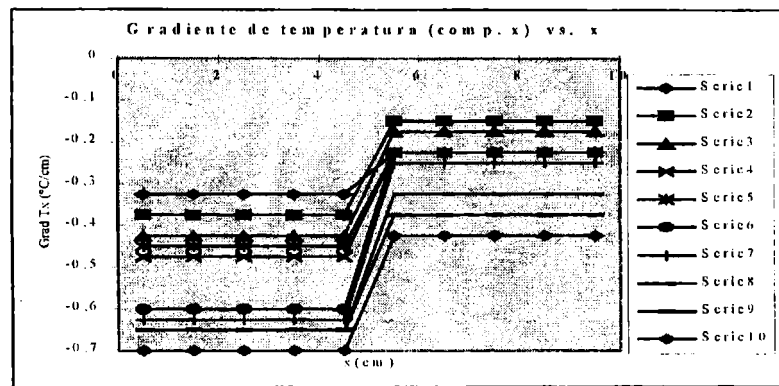
En las gráficas 2 y 3 se esquematizan las componentes z de los gradientes de temperatura en función de la temperatura en la pared caliente, región central y pared fría en el plano xz , y también en el plano perpendicular.



Gráfica 2 : Gradientes de temperatura ($G2(z_i)$) en el plano xz. Gráfica 3: Gradientes de temperatura ($G2(z_i)$) en el plano yz.

Analizando en la gráfica 2, los valores obtenidos cerca de la pared caliente, observamos que en principio, estos valores crecen en forma uniforme, el líquido se calienta a medida que se desprende del piso y se pone en contacto con la pared caliente. Luego súbitamente el valor del gradiente alcanza un mínimo, lo que nos dice que existe una zona isoterma de estancamiento en $3 < z < 5$, que se puede visualizar en las fotos, en donde se forma un vórtice que mezcla agua de los alrededores. La disminución de la componente del gradiente en el techo, se debe a la estratificación del flujo en esa zona, donde sólo se produce mezcla de líquido con temperaturas muy próximas. La componente z del gradiente en la región central en principio se comporta de manera similar al de la pared caliente, sólo que la zona de estancamiento parece levemente desplazada hacia arriba. En la pared fría se observan variaciones en los valores del gradiente que sugieren un análisis futuro más exhaustivo de la distribución de velocidades en las regiones cercanas a la pared, para poder interpretar estos valores.

La componente z del gradiente en función de la altura en el plano yz revelan mayor movimiento en la región central, que se atenúa hacia los bordes, lo que coincide con el patrón de circulación de la foto 3. Observando los valores de temperatura en este plano deducimos que existen dos gradientes verticales uno más intenso que el otro que gobiernan el flujo. Del mismo modo si tenemos en cuenta la componente x del gradiente de temperatura en el plano xz (solamente se pueden determinar valores medios, uno para la región $0 \leq x < 5$, y otro para $5 \leq x \leq 10$) para las diferentes alturas ($z=0.5, \dots, 9.5$) obtenemos la gráfica 4 (la serie 1 corresponde a $z=0.5$, la serie 2 a $z=1.5$ y así hasta la serie 10 que corresponde $z=9.5$).



Gráfica 4.

Gradientes de temperatura ($G1(x_i)$) en el plano xz

De la gráfica 4 se observa que para valores pequeños en la dirección x y z, tenemos componentes del gradiente pequeñas, lo que nos dice que los valores de velocidad son muy homogéneos cerca del piso, como efectivamente se visualiza en los registros fotográficos. A medida que crecen los valores de z, la pared caliente arrastra más líquido, lo que implica variaciones grandes de velocidad, hasta que para $z=4.5$ donde se forma un vórtice, los valores disminuyen lo que implica que la componente x de la velocidad cambia muy poco, es casi nula. Por arriba del vórtice tenemos grandes valores del gradiente. Para $z=7.5$ y $z=8.5$ hay una estratificación del flujo, se mantiene un gradiente constante, lo que implica mezcla de líquido solo a lo largo de la dirección x. Para regiones $x > 5$ y valores pequeños de z tenemos valores bajos de la componente x del gradiente, lo que significa que solo hay mezcla de agua fría (extremo inferior derecho). Luego hay una región de variación uniforme de la componente x de la velocidad, donde el gradiente se mantiene constante para diferentes alturas, $3 < z < 5$ por lo que las diferencias de temperatura entre la región central y la pared fría son semejantes. Mas arriba vemos que la estratificación que se observaba en la primera región se ve disminuida, ya que se consiguen separar dos líneas de igual gradiente de temperatura. Para valores grandes de z en esta región, la componente del gradiente es muy grande ya que las pérdidas convectivas y conductivas hacia el techo son importantes (en el extremo superior derecho).

CONCLUSIONES

- Aparentemente las medidas térmicas permiten inferir componentes del gradiente en la dirección x y z que coinciden con la circulación observada en el plano xz, lo mismo en el plano yz.
- Del análisis realizado surge la necesidad de realizar un examen más preciso y detallado de las mediciones de temperatura en la dirección x (mayor continuidad y simultaneidad), para detectar las zonas de inversión de la componente x de la velocidad del perfil planteado.
- Se debe plantear un mejoramiento en las técnicas para determinar el perfil de velocidades y de temperaturas en las zonas cercanas a las paredes y al techo del recinto, donde se producen fenómenos importantes relativos a la transferencia de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- De Paul I., Vilte M., Lesino G. "Modelo de circulación de aire en locales cerrados". *Actas de la 16ava. Reunión de ASADES, 7mo. Congreso ALES*. La Plata, 1993.
- Balcomb, J. D. "Heat distribution by natural convection". *Actas Intersol 95*.
- De Paul I., Vilte M. "Convección natural entre dos locales: determinación del perfil de velocidades en una puerta por fotografía de trazas". *Actas de la 17ava Reunión de ASADES*. Rosario, 1994.