

## TRANSFERENCIA TÉRMICA EN UN RECINTO CERRADO PRODUCIDA POR CONVECCIÓN NATURAL

Vilte María, De Paul Irene, Mesa Fernández José

Facultad de Ciencias Exactas - INENCO<sup>1</sup> - Universidad Nacional de Salta  
 Buenos Aires 177, (4400) Salta, Argentina -Teléfono: (087) 255389, Fax: (087) 255489

### RESUMEN

El presente trabajo constituye un avance en la búsqueda de establecer relaciones entre el perfil del movimiento convectivo y el de temperaturas que se producen en un local cerrado por convección natural, a partir de medidas en modelos a pequeña escala que emplean agua como elemento convectivo.

### INTRODUCCIÓN

En trabajos anteriores [1], se presentaron los primeros resultados de medidas térmicas obtenidas en el interior de modelos a pequeña escala, de locales cerrados en los que se estudia la transferencia convectiva al ser calentados con potencia constante desde una de las paredes. El fluido en convección es agua, cuyo movimiento fue visualizado y su velocidad en condiciones similares fue medida en experiencias anteriores.

El planteo de un mejoramiento en el proceso de medición de temperaturas dentro del local llevó al diseño de un dispositivo experimental que permitió un incremento en el número de sensores, el barrido en un plano del recinto de los sensores en posiciones más contiguas y la observación de la evolución en el tiempo de las medidas térmicas. El análisis de la información permite en principio la determinación de algunos parámetros sencillos que cuantifican la transferencia térmica que tiene lugar en la cavidad. El refinamiento de las medidas térmicas dan cuenta de un perfil bastante complejo del movimiento convectivo en el local.

### DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

El dispositivo experimental que comanda las termocuplas, está constituido por un motor paso a paso, alimentado por una fuente de 5V, anexo a un generador de pulsos que controla su velocidad. En el barrido vertical del recinto, el motor se detiene 12 s en cada posición vertical, que permite al datalogger registrar seis medidas de temperatura. La distancia vertical entre cada paso del motor es de 0.42 cm. El barrido completo se realiza en aproximadamente 4 minutos, luego de lo cual se vuelve las termocuplas a su posición inicial. El tiempo entre barrido y barrido es de 15 a 30 minutos. El calentamiento del local es igual al del trabajo citado anteriormente. En el siguiente diagrama sencillo (Gráfico 1), se visualiza que la superficie calentada del local es perpendicular a uno de los planos sensados del local. Las termocuplas guardan entre sí una distancia de 2 cm, las termocuplas de los extremos distan de las paredes 1 cm. El sensado se realiza desde 1 cm del piso.

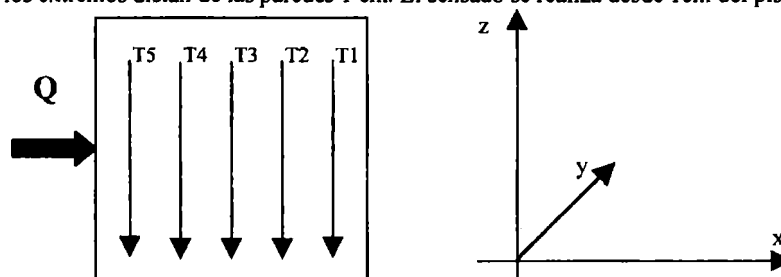


Gráfico 1. Plano xz sensado, calentamiento de una paredes del recinto en el plano yz.

### RESULTADOS OBTENIDOS

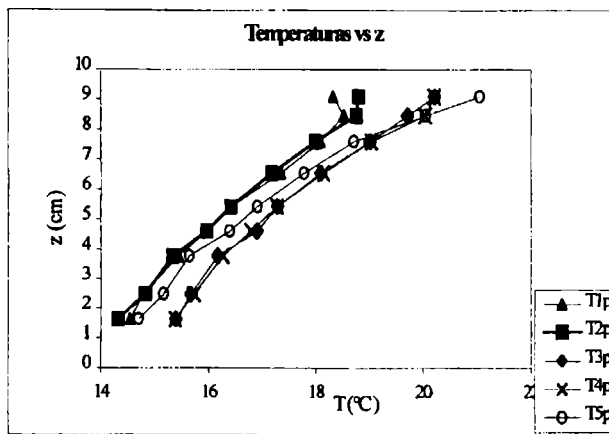
Se efectuaron medidas en el plano xz, perpendicular a la superficie calentada, como así también en el plano paralelo a la superficie calentada (plano yz). Una discretización del plano sensado xz, nos permite obtener, luego del procesamiento de la información, los resultados que se muestran en la Tabla 1. Estos resultados son valores promedios en las celdas en la que se discretizó el recinto. Se puede visualizar un aumento casi uniforme de la temperatura en la dirección vertical, que se muestra mejor en la Gráfica 1. Lo anterior es válido excepto en la zona cercana al techo: a 1 cm del mismo, los valores de temperaturas disminuyen, lo que puede deberse a pérdidas por el techo por enfriamiento, lo que da lugar a movimientos convectivos turbulentos en una capa delgada.

<sup>1</sup>Instituto UNSa. - CONICET

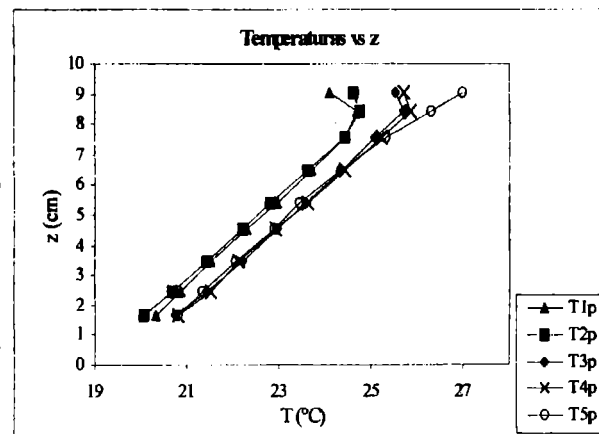
Altura z (cm)	T1p (°C)	T2p (°C)	T3p (°C)	T4p (°C)	T5p (°C)
1.64	14.5	14.3	15.4	15.4	14.7
2.50	14.8	14.8	15.7	15.7	15.2
3.80	15.4	15.3	16.2	16.3	15.6
4.60	16.0	16.0	16.9	16.8	16.4
5.40	16.4	16.4	17.3	17.3	16.9
6.50	17.4	17.2	18.1	18.2	17.8
7.60	18.1	18.0	19.0	19.0	18.7
8.50	18.5	18.8	19.7	20.0	20.1
9.10	18.3	18.8	20.2	20.2	21.1

Tabla 1. Valores de temperatura en función de la altura.

En la gráfica 2, puede verse que la temperatura en la región central sensada por las termocupas T3 y T4 son las más altas del local y sus valores son próximos, las termocupas T1 y T2 cercanas a la pared más alejada de la superficie de calentamiento registran los valores más bajos de temperatura, por otro lado la termocupula T5 que sensa la temperatura en la región más cercana a la superficie calentada, registra valores de temperatura intermedios.



Gráfica 2. Valores de temperatura vs z.



Gráfica 3. Valores de temperatura vs z.

La gráfica 3, muestra los valores de temperatura en local en un tiempo posterior, con una diferencia de tiempo con la sesión anterior de 30 minutos. Se observa que a medida que transcurre el tiempo, se afianza la formación de dos núcleos de temperaturas dentro del local. Un núcleo caliente se establece adyacente a la pared calentada que se extiende hacia la derecha alcanzando aproximadamente el 60% del local, un núcleo frío más pequeño tiene lugar anexo a la pared derecha.

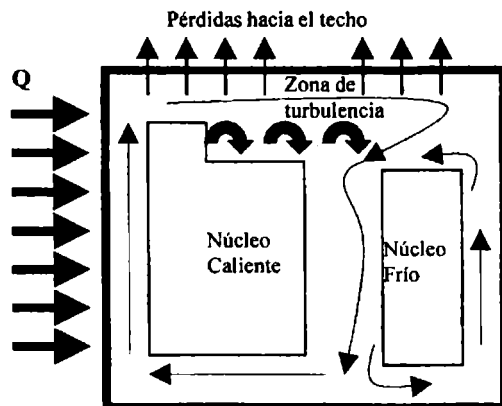


Gráfico 4. Modelo propuesto, en base al perfil de temperaturas registradas.

En el gráfico 4, se esquematiza el modelo de flujo convectivo que resulta de la interpretación del análisis de los perfiles de temperatura observados y de la visualización de la circulación realizada previamente, que se muestra con las finas flechas del gráfico. Sobre la pared izquierda hay mezcla de agua calentada desde la pared con agua fría que es arrastrada desde el piso.

Debajo del techo, la disminución de la temperatura por pérdidas al exterior da origen una zona de turbulencia. El agua que circula horizontalmente bajo el techo choca con la pared derecha lo que produce un rebote hacia el interior; este flujo de agua algo más fría, se reinyecta en el circuito que rodea al núcleo caliente. Por otra parte, el rebote en la pared establece un rotor que hace circular agua fría a lo largo de la pared derecha, lo cual establece un núcleo de menor temperatura que no está vinculado al núcleo caliente por un proceso convectivo. En ambos núcleos existe una gran estratificación, lo que puede deducirse de los valores de temperatura mostrados en la Gráfica 3.

### EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL SISTEMA

Para obtener un parámetro que cuantifique la inercia del sistema, se realizaron varias sesiones en una misma experiencia en períodos largos de tiempo. Es importante destacar que las experiencias se realizan en el laboratorio en condiciones estáticas. Los datos que se muestran en el Gráfico 5, corresponden a la evolución en el tiempo de los valores de temperaturas registrados en las cinco termocuplas, para una altura  $z=8.5$  cm en el interior del local, la temperatura ambiente es de  $14^{\circ}\text{C}$ .

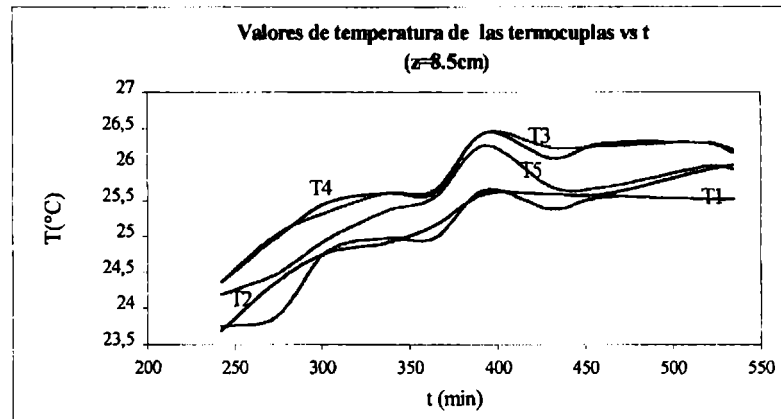


Gráfico 5. Evolución en el tiempo de los registro de las temperaturas en las termocuplas, para  $z=8.5$  cm.

En este gráfico puede apreciarse como las termocuplas que sensan en la región central del local, presentan menos oscilaciones al alcanzar el estado estacionario, no así la de los extremos. Un análisis sobre los valores registrado por la termocupla T3, nos permite aproximar una función  $T(t)=T_0(1-e^{-t/\lambda})$ , donde  $\lambda$  es la constante de tiempo que da una idea de la inercia térmica del sistema. Adoptando  $T_0=26.3^{\circ}\text{C}$  en este caso, obtenemos sobre 10 sesiones en un período de aproximadamente 10 hs, un valor de  $\lambda=(90\pm 3)$  min, o sea aproximadamente una hora y media.

### CUANTIFICACIÓN DE LA TRANSFERENCIA TÉRMICA

Se puede estimar la potencia transferida por unidad de volumen debido al arrastre convectivo en la dirección vertical a través de la expresión:

$$P_{\text{conv}}=v\rho C_p\Delta T/e$$

donde  $v$ ,  $C_p$ , y  $\rho$  se designan la velocidad, la capacidad calorífica y la densidad del fluido. Con  $\Delta T$  y  $e$  se representa la diferencia de temperatura y la distancia entre los dos puntos considerados como centros de dos celdas volumétricas entre las que se calcula el arrastre convectivo. Para la densidad  $\rho$  se usó la siguiente aproximación en función de la temperatura  $T$ :

$$\rho(T)=0.0035T^2-0.0746T+1002$$

En esta estimación se usaron los valores de velocidad obtenidos en un trabajo anterior [1].

Los resultados obtenidos revelan potencias convectivas del orden  $10^5$  a  $10^6$   $\text{W}/\text{m}^3$  s. Asimismo esta potencia convectiva es mayor en la zona central, en acuerdo con el flujo registrado fotográficamente en experiencias anteriores, disminuyendo hacia las paredes. A medida que transcurre el tiempo esta velocidad de transferencia de energía va disminuyendo debido a que las diferencias de temperaturas decrecen según Gráfica 2 y no sobrepasan de  $10^5$   $\text{W}/\text{m}^3$  s.

Por otro lado la potencia transferida por unidad de volumen por efectos conductivos es posible determinarla por la expresión:

$$P_{\text{cond}}=k\Delta T/e^2$$

Donde  $k$  es el coeficiente de conductividad térmica, en este caso del agua, y las consideraciones para  $\Delta T$  y  $e$  son las mismas, que cuando evaluaron los efectos convectivos.

En la dirección  $z$ , los valores de la velocidad de transferencia de energía por conducción son del orden de  $10^2$   $\text{W}/\text{m}^3$  s y a medida que transcurre el tiempo, no disminuyen significativamente, lo que se debe a que la variación de temperatura en esta dirección se mantiene en el tiempo. Además los valores de la potencia conductiva son mayores en el núcleo caliente que en el frío, excepto en la zona cercana al piso.

La tabla 3 muestra la razón entre la potencia convectiva y conductiva en la dirección z, para las posiciones de los 5 sensores. Se evidencia que los efectos convectivos prevalecen sobre los conductivos en todos los casos, esto se acentúa en la región central, y disminuye hacia las paredes.

Z (cm)	P1conv/P1cond	P2conv/P2cond	P3conv/P3cond	P4conv/P4cond	P5conv/P5cond
2.06	387.25	972.00	963.87	1070.04	614.29
3.02	1482.00	3719.83	3688.74	4095.03	2350.89
4.09	1481.90	3719.59	3688.46	4094.76	2350.72
5.05	1481.81	3719.35	3688.20	4094.50	2350.53
6.01	1481.68	3719.07	3687.91	4094.14	2350.32
7.07	1481.53	3718.70	3687.49	4093.66	2350.05
8.03	1481.45	3718.48	3687.24	4093.39	2349.89
8.77	1481.42	3718.28	3686.93	4093.05	2349.49

Tabla 2. Razón entre los valores de potencias convectiva y conductiva en la dirección z.

En la dirección x, los valores de potencia conductiva son algo mayores que en la dirección horizontal, en la Tabla 3 observan los cocientes entre las potencias conductivas en la dirección x y z. En x= 6cm estos cocientes son máximos, lo que pone de manifiesto que la interacción entre el núcleo caliente y el frío es fuertemente conductiva.

Z (cm)	Pcx/Pcz (x=8cm)	Pcx/Pcz (x=6cm)	Pcx/Pcz (x=4cm)	Pcx/Pcz (x=2cm)
2.06	2.63	12.26	0.19	7.41
3.02	0.19	7.29	0.47	4.84
4.09	0.79	5.40	0.67	4.34
5.05	0.02	9.39	1.09	3.28
6.01	0.05	5.11	0.06	1.87
7.07	0.93	4.70	0.21	1.73
8.03	6.07	72.68	1.07	18.54
8.77	0.88	4.67	0.14	0.81

Tabla 3. Razón entre las potencia conductiva en la dirección horizontal x y la potencia conductiva en la dirección vertical z.

## CONCLUSIONES

- Los resultados hasta aquí obtenidos, permiten afirmar que el movimiento convectivo dentro del local, no es sencillo, la geometría y los efectos conductivos son importantes. El registro de evolución en el tiempo del perfil de temperaturas dentro del local, hace posible predecir el flujo dentro del mismo.
- La información registrada en las experiencias planteadas en el presente trabajo es muy grande. En una etapa posterior, se trabajará sobre la dirección en que se da la transferencia térmica dentro del local, para lo que se requerirá conocer las componentes y la dirección de la velocidad del flujo en el recinto en forma precisa, así como considerar el signo de la diferencia de temperatura que se establece entre los puntos interiores al local.
- En el futuro se plantea la necesidad de perfeccionar el dispositivo empleado, de modo tal que permita medidas más precisas, en el techo, en el piso y en las paredes laterales, y evitar los efectos mecánicos que involucra el mismo, para minimizar las posibles influencias en las medidas térmicas registradas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vilte María, De Paul Irene. "Análisis de la interacción térmica e hidrodinámica en un recinto cerrado producida por convección natural". *Actas de ASADES, Rio Cuarto, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 1 N°2, 1997.*
- [2] 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.*
- [3] Balcomb, J. D. "Heat distribution by natural convection". *Actas Intersol 95.*
- [4] Incropera F., De Witt D., "Fundamentals of heat and mass transfer", *John Wiley & Sons, 1990.*