

CONVECCIÓN NATURAL A ELEVADO NÚMERO DE RAYLEIGH EN RECINTOS TRIANGULARES RECTANGULARES ENFRIADOS POR ARRIBA. PARTE II: PATRONES DE FLUJO DEL FLUIDO.

Esteban S., Aramayo A¹., Cardon L.

INENCO – Instituto de Energía No Convencional
 Av. Bolivia 5150 - 4400 Salta
 Tel: 0387-1255424 - fax 0387 - 4255888
e-mail: cardon@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados concernientes al patrón de flujo de fluido para una simulación numérica del problema de convección natural laminar en un recinto triangular rectangular. Se obtuvieron soluciones para el flujo laminar en el rango $10^5 < Ra < 10^{10}$, $Pr = 0.7$ y para las razones de aspecto A igual a 0.1, 0.5 y 1. Se analiza como los parámetros dinámicos y geométricos (Ra , Pr , A) influyen en el flujo. Se presentan los campos de velocidad y temperatura característicos. Se corrobora la suposición de Bejan (1984) de que para $Ra > 10^5$ y $A = 0.1$, el flujo es del tipo de convección multicelular de Benard.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es la segunda parte del trabajo de Aramayo et. al (2002) presentado en esta misma Reunión. En la primera parte se investiga el flujo de calor en las superficies caliente y fría de una cavidad triangular rectangular. En esta parte se investigará los patrones de flujo a través del estudio de las líneas de corriente y los mapas de temperatura dados por las isotermas.

La definición del problema, el análisis bibliográfico y una discusión del alcance de los resultados obtenidos puede leerse en la Parte I, Aramayo et al, (2002).

CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN LA CAVIDAD.

Se ha resuelto las ecuaciones adimensionales de energía y de Navier Stokes bidimensional para un recinto triangular como se muestra en la figura 1, asumiendo la aproximación de Boussinesq. La figura 1 muestra un esquema de la configuración estudiada y las condiciones de borde. Se utiliza una red no uniforme, de 150 x 150 nodos, cuyos volúmenes de control son rectangulares.

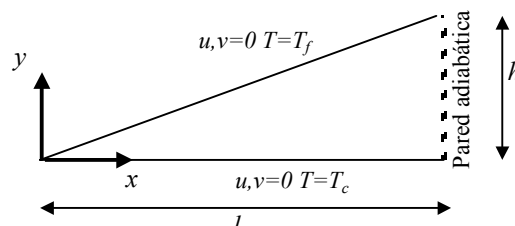


Figura 1: Dominio físico y condiciones de borde

Se presentan aquí los patrones de flujo (mapas de líneas de corriente) y mapas de isotermas para los casos estudiados. En general se ha observado que para Rayleigh menor que 10^6 el patrón de flujo corresponde a una recirculación unicelular característica de flujo de calor lateral. Para Rayleigh mayores, Flack (1980) reporta haber observado celdas de Benard (cuatro) aunque no especifica para que Rayleigh se producen. Resultados similares fueron reportados por varios otros autores.

La figura 2, muestra los patrones de flujo (líneas de corriente) y los mapas de isotermas para $Ra = 10^6$ y $A = 1$. El patrón de flujo muestra aspectos interesantes. El mapa de líneas de corriente muestra la formación de tres lazos o celdas de recirculación. Una central y dos más ubicadas en las esquinas. Las dos celdas de las esquinas rotan en el sentido antihorario. Este el sentido de rotación de una celda impulsada por la fuerza de flotación negativa en la cercanía de la placa inclinada. La rotación de la celda central es en el sentido horario y se debe a la acción combinada de la difusión de momento desde las otras dos celdas, más la flotación positiva del fluido calentado en la cercanía de la base. Se puede suponer que el fluido calentado en la cercanía de la base, inestable, tiene una tendencia a subir. Aparentemente tendría dos opciones, o sube por el

¹ Departamento de Matemática. Facultad de Ciencias Exactas. UNSa.

lado derecho (rotación antihoraria) o por el lado izquierdo (rotación horaria). Lo hace de esta última forma, en contra de la flotación negativa en la cercanía de la placa fría. Por lo tanto se sigue que el sentido de rotación de los vórtices está gobernado por lo que ocurre en el primero de ellos, en el que el sentido de la circulación está favorecido por la temperatura de la placa superior fría y de la placa inferior caliente.

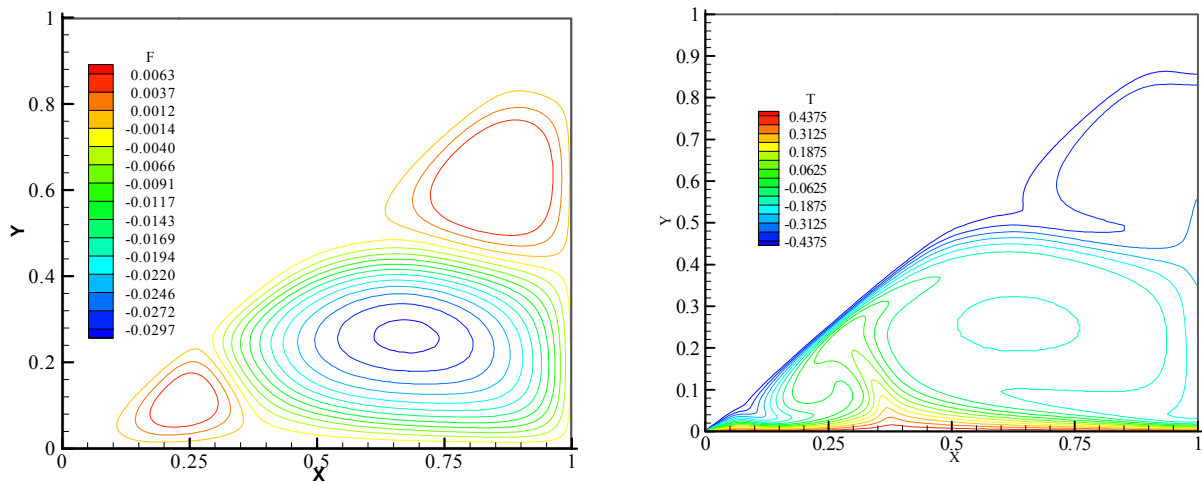


Figura 2. Líneas de corriente y campo de temperatura para $Ra = 10^6$, $A=1$.

Cabe preguntarse si con una mayor discretización se pudiera observar en la cercanía de la placa fría una pequeña circulación descendente.

En la figura 2b, se observa como el flujo influye en el patrón de temperaturas. Las termal ascendente y descendente se nota claramente, lo mismo que los puntos de separación de las capas límites en la placa fría y en la placa caliente. Se entrevé una estructura de capa límite térmica en casi toda la mitad derecha de la base de la cavidad y se nota también, como en casi todos los casos de cavidades, un núcleo estancado.

La figura 3 muestra el patrón de flujo y el mapa de temperaturas para el caso $Ra = 10^6$, $A = 0.5$. Para este caso, solo se observan dos celdas de recirculación, habiendo desaparecido la de la esquina superior derecha. La primera celda se ha trasladado a la derecha, probablemente debido a que por el menor ángulo entre las placas, el ángulo inferior derecho a pasado a régimen conductivo, como lo indican las isotermas casi radiales. La única termal ascendente se ubica en $x = 0.5$ aproximadamente.

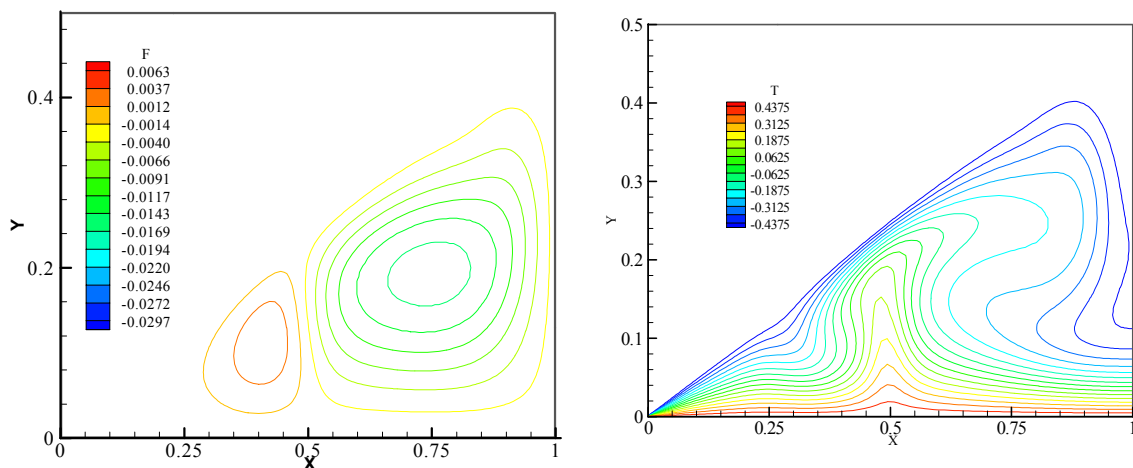


Figura 3. Líneas de corriente y campo de temperatura para $Ra = 10^6$, $A = 0.5$.

En la figura 4 se observan las líneas de corriente y las isotermas para el caso $Ra = 10^7$, $A = 0.5$. Se advierten ahora cuatro celdas convectivas. Nuevamente la primera celda a la derecha tiene rotación antihoraria. En la cercanía de la base, a medida que nos acercamos a la pluma ascendente central, localizada en $x = 0.65$ aproximadamente, las isotermas muestra un descenso del gradiente de temperatura, lo cual es justificable por la separación de las capas límites por debajo de las celdas de recirculación. En el centro se observa también un aumento del gradiente para el cual no tenemos justificación.

Par este número de Rayleigh ya se puede distinguir las características de la convección multicelular de Benard, con celdas de pares, típicas del fluido calentadas por abajo.

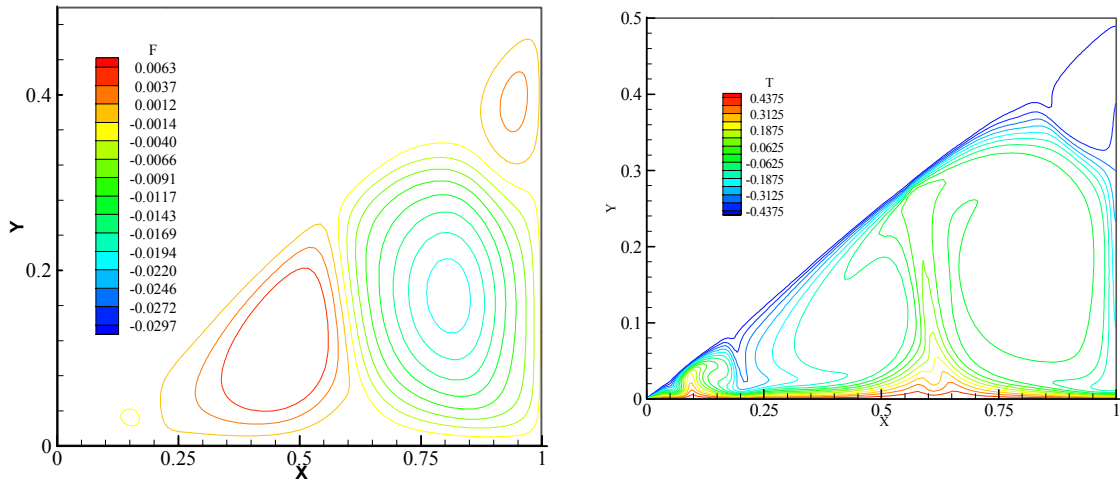


Figura 4. Líneas de corriente y campo de temperatura para $Ra = 10^7$, $A = 0.5$.

Las figuras 5 – 10 muestran los campos de temperatura (isotermas) y las líneas de corriente para los casos $Ra = 10^8$, 10^9 y 10^{10} para $A = 0.1$. Se hace evidente el proceso de bifurcación que sufren las celdas, descrito como una bifurcación de tipo horquilla por Holtzman (2000).

Cerca de la base de la cavidad y en su segunda mitad ($0.5 < x < 1$) se observa el desarrollo de una capa límite

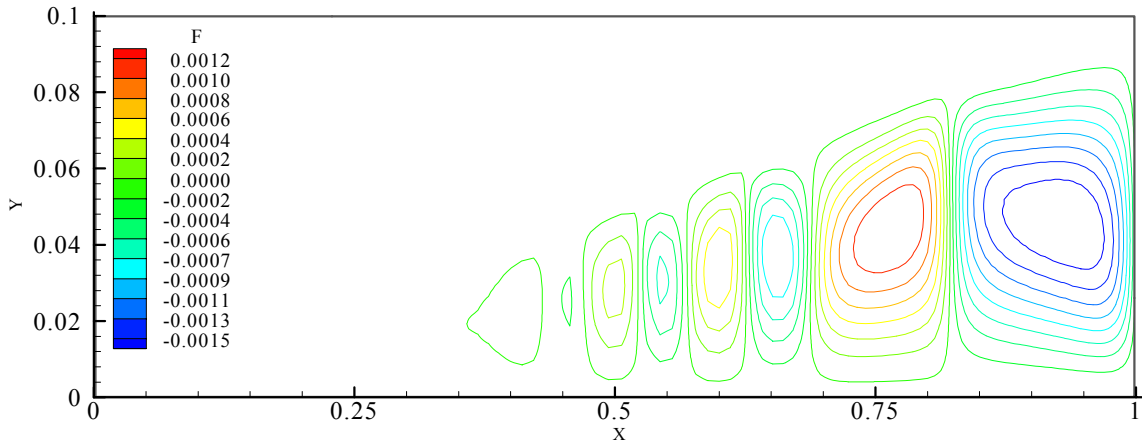


Figura 5. Líneas de corriente y campo de temperatura para $Ra = 10^8$, $A = 0.1$.

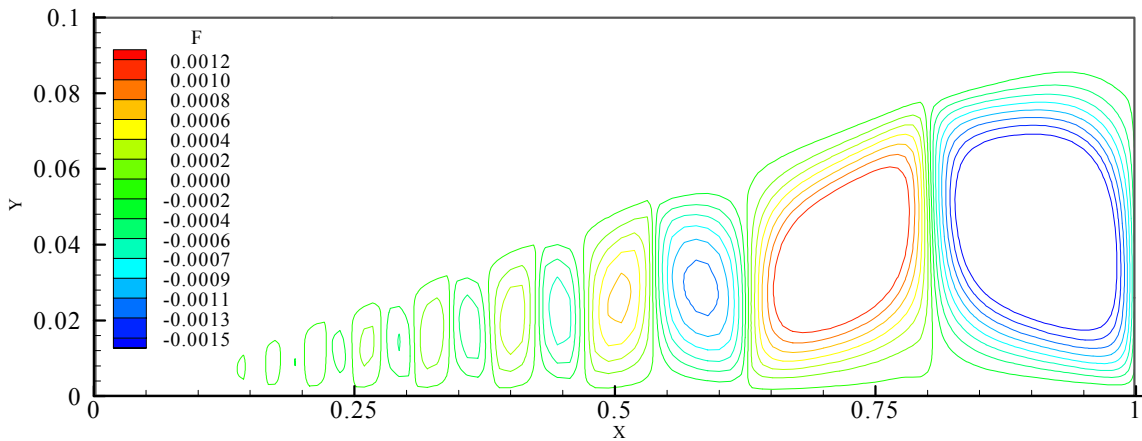


Figura 6. Líneas de corriente y campo de temperatura para $Ra = 10^9$, $A = 0.1$.

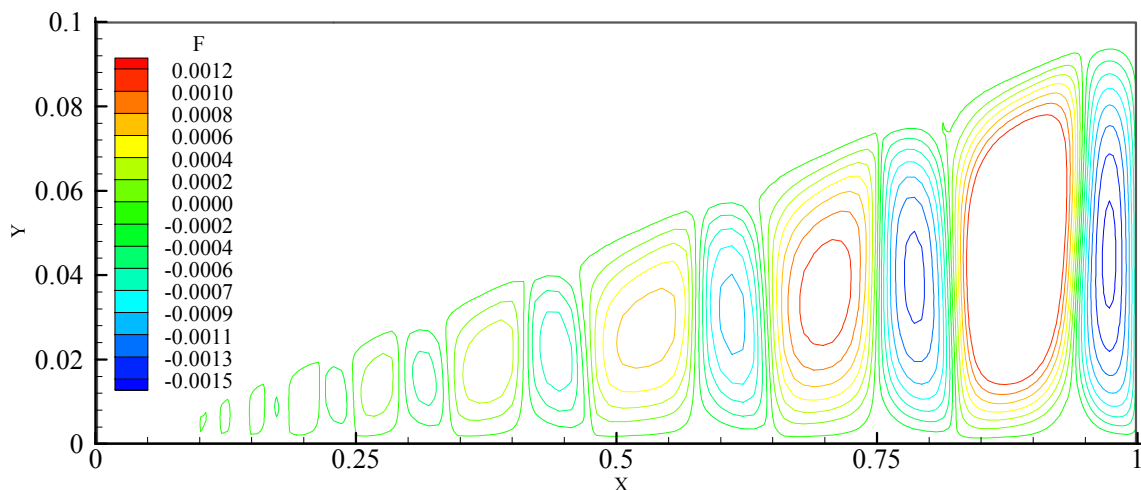


Figura 7: Líneas de corriente para $Ra = 10^{10}$, con $A = 0.1$

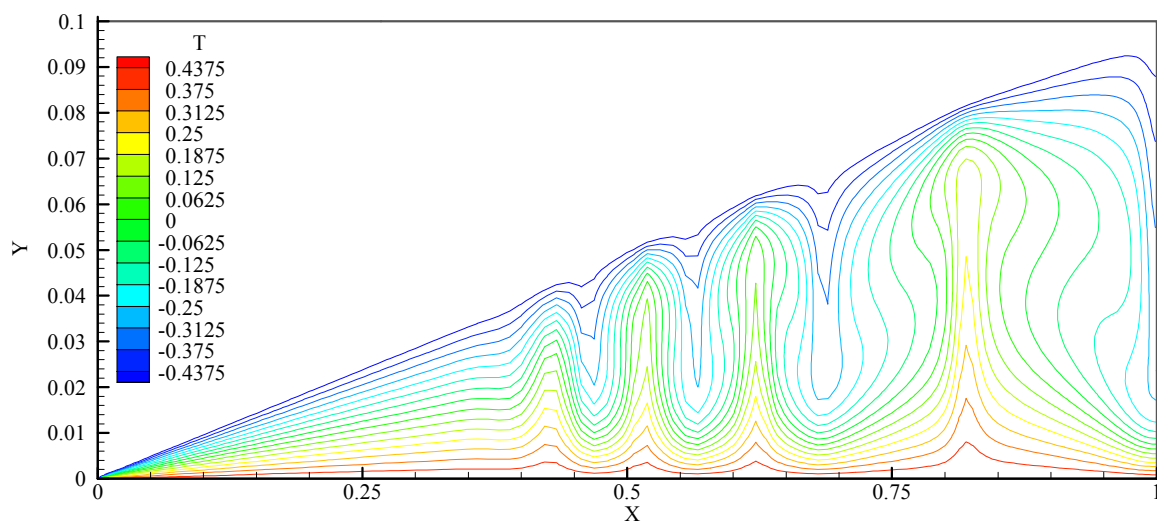


Figura 8: Isotermas para $Ra = 10^8$, con $A = 0.1$

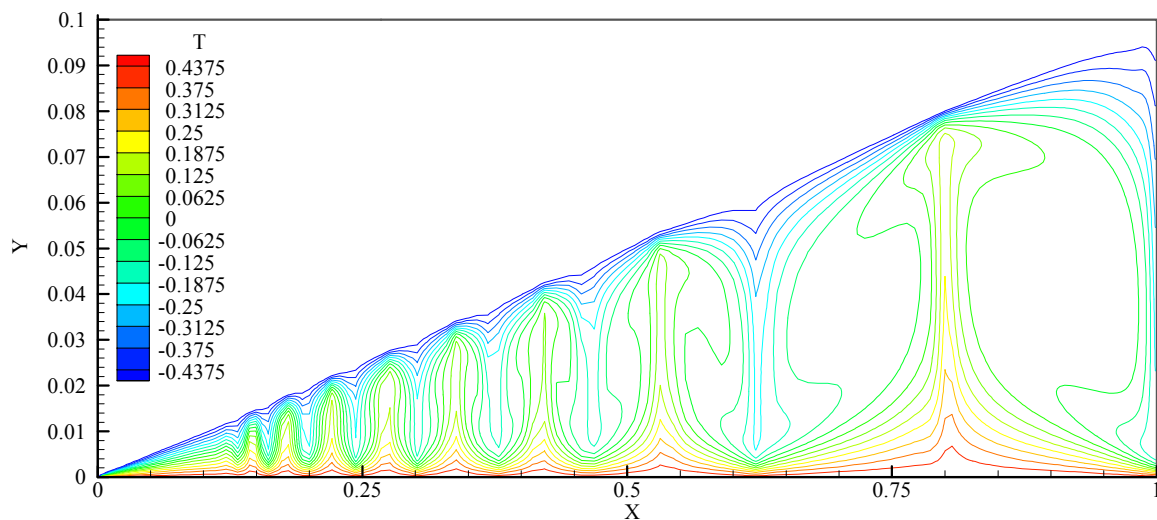


Figura 9: Isotermas para $Ra = 10^9$, con $A = 0.1$

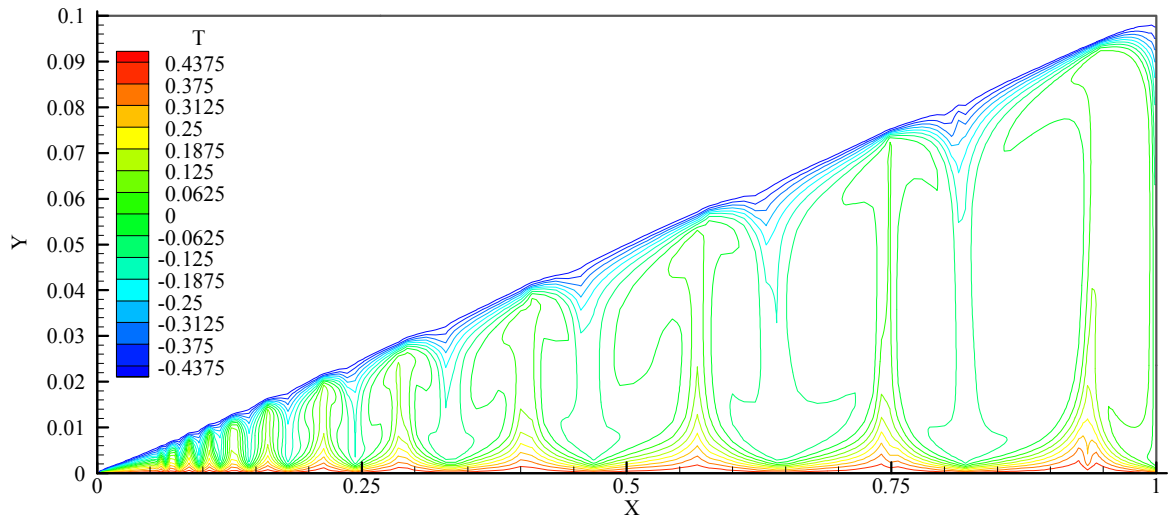


Figura 10: Isotermas para $Ra = 10^{10}$, con $A = 0.1$

CONCLUSIONES

Los patrones de flujo mostrados muestran en primer lugar que a partir de Rayleigh 10^6 , el flujo pasa de unicelular a multicelular como predijera Bejan (1984). Es importante mencionar que el número de Rayleigh de estos cálculos es mucho mayor que el que corresponde a la transición a la turbulencia según lo reportara Flack. Una discusión en este sentido se hace en la Parte 1 de este trabajo, Aramayo et. al (2002)

El mecanismo de la división celular para este caso fue descrito recientemente por Holtzman (2000) como una bifurcación de tipo horquilla. En el rango de Rayleigh cubierto se observa una multiplicación de celdas que puede ser descrita por este mecanismo.

REFERENCIAS

- Poulikakos D., Bejan A. (1982); "The fluid dynamics of an attic space". *Journal Fluid Mechanics*. Vol. 131, pp: 251-269.
- Del Campo E., Sen M., Ramos E. (1988); "Analysis of laminar natural convection in a triangular enclosure". *Numerical Heat Transfer*, vol. 13, pp. 353-372.
- Asan H., Namli L. (2000); "Laminar natural convection in a pitched roof of triangular cross-section: summer day boundary conditions". *Energy and Buildings*, vol. 33, pp. 69-73.
- Palacio A., Fernandez J. (1993); "Numerical analysis of greenhouse-type solar stills with high inclination". *Solar Energy*, vol. 50, N° 6, pp. 469-476.
- Holtzman G., Hill R., Ball K. (2000); "Laminar natural convection in isosceles triangular enclosures heated from below and symmetrically cooled from above". *Journal of Heat Transfer*, vol. 112, pp. 485-491.
- Aramayo A., Esteban S, Cardon L, "Convección natural a elevado número de Rayleigh en recintos triangulares rectangulares enfriados por arriba. Parte I: Flujo de Calor". Presentado en esta Reunión.

HIGH RAYLEIGH NATURAL CONVECTION IN A RECTANGULAR TRIANGULAR CAVITY COOLED FROM ABOVE. PART II: FLUID FLOW PATTERNS.

ABSTRACT

Results of the fluid flow patterns for a numerical simulation of the High Rayleigh Natural Convection in a rectangular triangular cavity cooled from above problem are presented.

Solutions in range the $10^5 < Ra < 10^{10}$, for $Pr = 0.7$, and aspect ratio aspect A equal to 0.1, 0.5 y 1 were obtained. The dynamical and geometrical parameters (Ra , Pr , A) and the way in which they influence the flow were analyzed. Velocity fields, stream lines, and isotherms maps characteristics of the flow are presented. The suppositions of Bejan (1984) that the flow in this regime is Bernard type multicellular is corroborated for $Ra > 10^5$.