

CONVECCIÓN NATURAL TRANSITORIA EN RECINTOS TRIANGULARES ENFRIADOS POR ARRIBA. PARTE II: PATRONES DE FLUJO.

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: estebans@unsa.edu.ar

RESUMEN: En este trabajo se presentan los resultados obtenidos correspondientes al patrón de flujo para una simulación numérica del problema de convección natural transitoria en un recinto triangular rectangular. Se obtienen soluciones para el rango $10^2 < Ra < 10^9$, $Pr = 0.7$ y para las razones de aspecto A igual a $0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ y 1 . Se analiza como los parámetros dinámicos y geométricos (Ra, Pr, A) influyen en el flujo. Se presentan los campos de temperatura y la función de corriente características. Se corrobora que el flujo es del tipo de convección multicelular de Benard.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo es la segunda parte del presentado en esta misma Reunión como Parte I, Aramayo et. al (2003). En la primera parte se investiga el flujo de calor en las superficies caliente y fría de una cavidad triangular rectangular, a través del número de Nusselt. En esta parte se investigan los patrones de flujo a través del estudio de las líneas de corriente, perfiles de velocidades y los mapas de temperatura.

La definición del problema, la adimensionalización de las variables y una discusión del alcance de los resultados obtenidos pueden leerse en la Parte I, Aramayo et al, (2003). A menos que se especifique lo contrario, todas las variables que aparecen en el texto y en las gráficas corresponden al problema estudiado en su formulación adimensional.

CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO EN LA CAVIDAD.

En la figura 1a y 1b, se muestra la evolución temporal del flujo para una razón de aspecto de 0.5 y $Ra = 10^7$. Se muestran las funciones de corrientes para algunos instantes $t = 20, 50, 100, 120, 180, 300, 600$ y 5000 , donde t es el tiempo adimensional, ver Parte I, Aramayo et al, (2003).

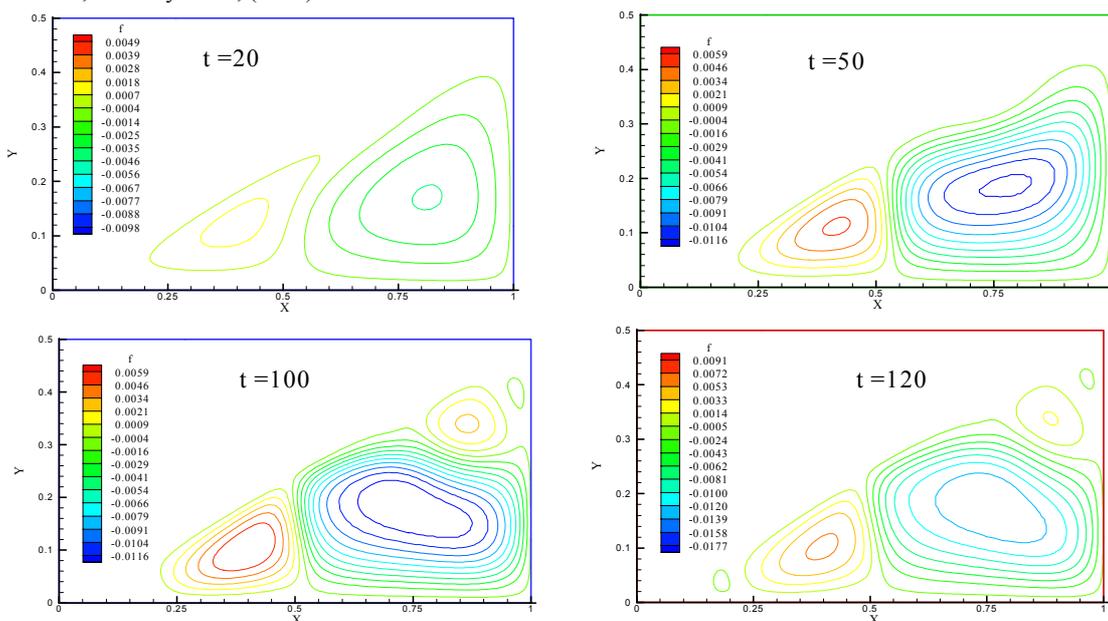


Figura 1a. Evolución temporal del campo de flujo para $A = 0.5$ y $Ra = 10^7$.

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

Como se ha señalado en la Parte I para esta razón de aspecto y Ra , el flujo es convectivo. La figura 1a muestra que el flujo es convectivo desde el inicio de la simulación presentando dos celdas que se van intensificando para posteriormente romperse en cuatro ($t=100$).

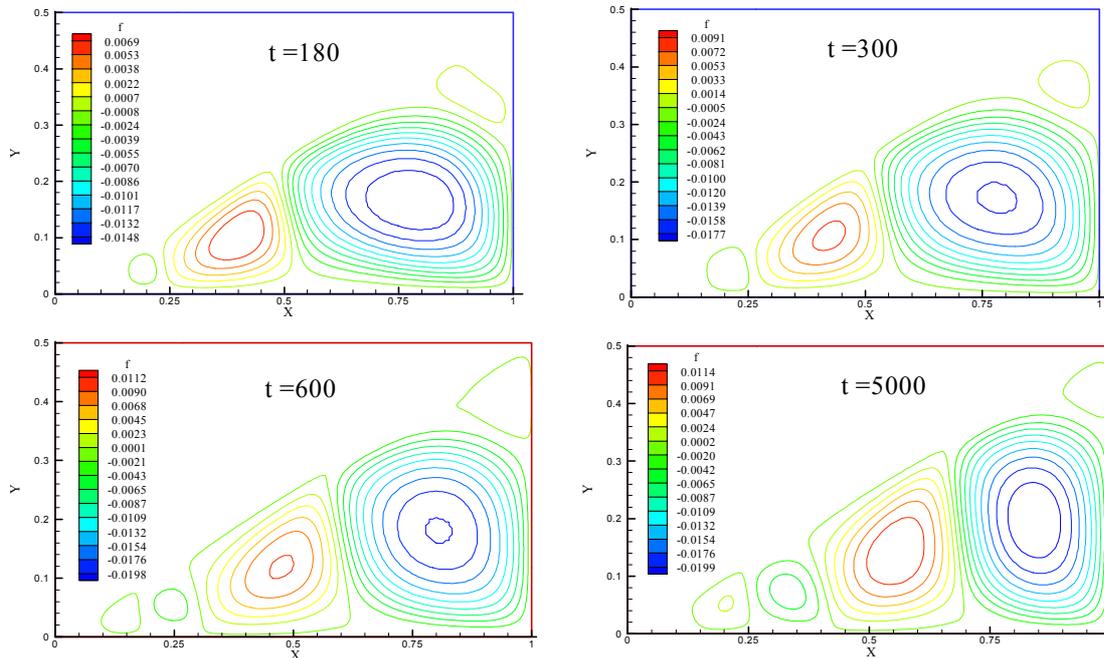


Figura 1b. Evolución temporal del campo de flujo para $A=0.5$ y $Ra=10^7$.

La evolución de las celdas es muy rápida y los cambios significativos, como formación de nuevas celdas o la destrucción de las mismas, ocurren hasta $t=600$; el desarrollo posterior a este tiempo consiste en una “re-ubicación” de las celdas ya existentes, en este caso cinco. Si bien el último patrón de flujo mostrado corresponde a $t=5000$, para este valor de Ra el estado estacionario se alcanza en $t=3000$.

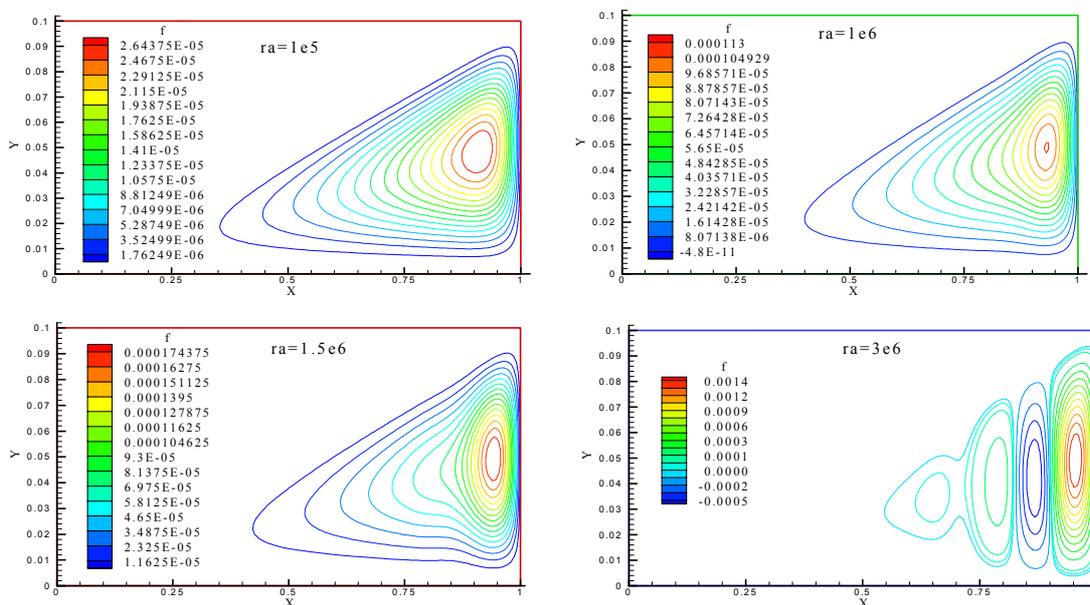


Figura 2a. Estado estacionario del flujo para distintos Ra y $A=0.1$.

Las figuras 2a y 2b muestran los estados estacionarios alcanzados para un recinto con razón de aspecto 0.1 y para un rango de Ra desde 10^5 a 10^9 , no se han incluido en la figura 2a, los casos de $Ra=10^2$, 10^3 y 10^4 puesto que presentan una función de corriente similar a la observada a $Ra=10^5$, correspondiente al régimen conductivo.

Se observa también que la bifurcación, cambio de régimen unicelular a multicelular, ocurre a esta razón de aspecto a un determinado Ra entre 1.5×10^6 y 3×10^6 , en donde aparecen tres celdas convectivas (figura 2a).

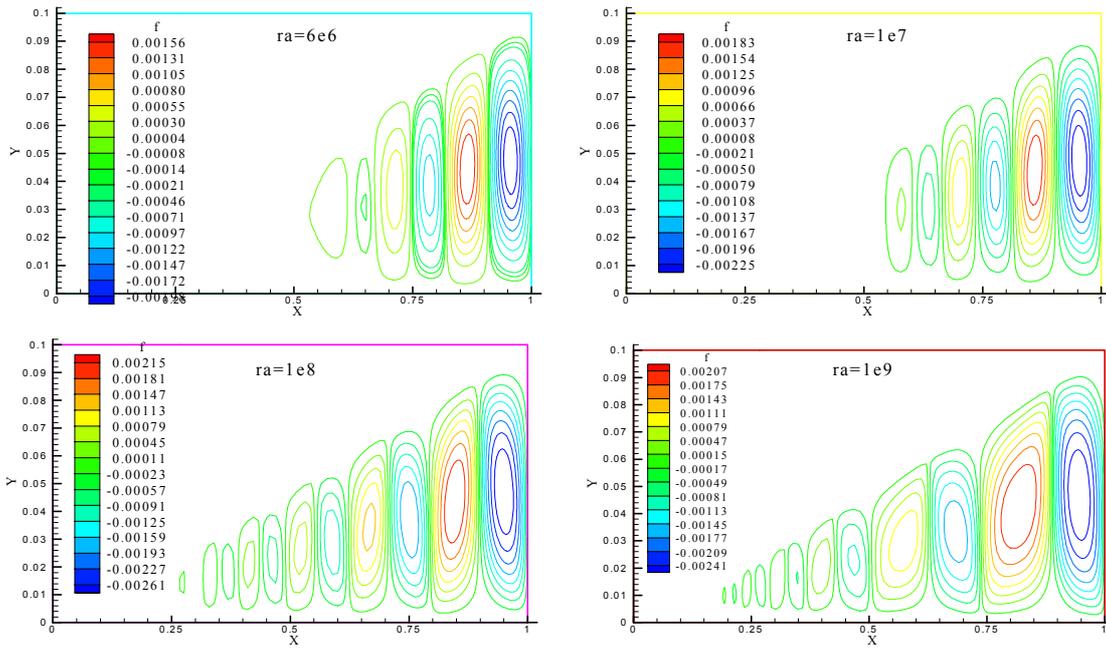


Figura 2b. Estado estacionario del flujo para distintos Ra y $A = 0.1$.

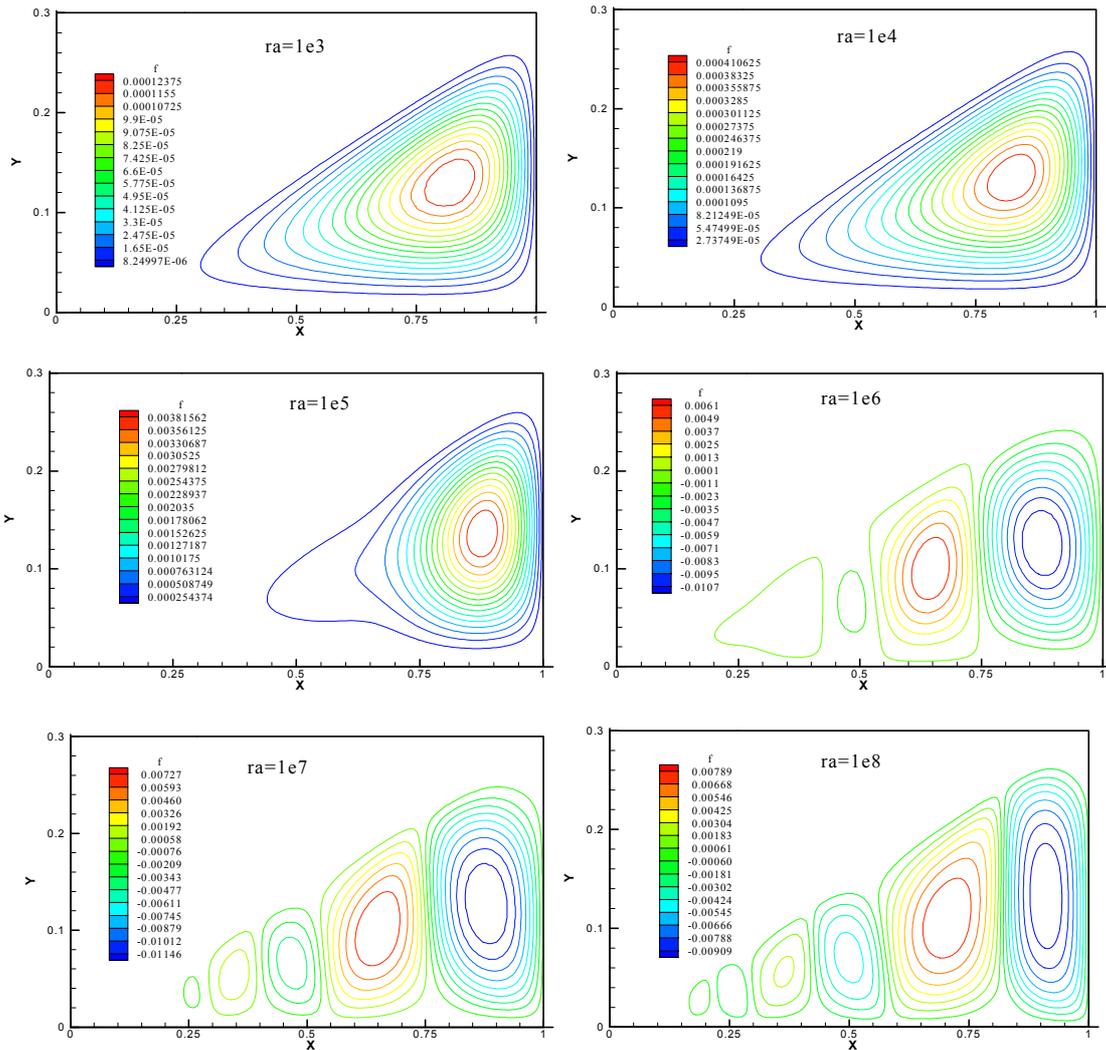


Figura 3. Estado estacionario del flujo para distintos Ra y $A = 0.3$.

La figura 3 muestra los estados estacionarios alcanzados para un recinto con razón de aspecto 0.3 y para un rango de Ra desde 10^3 a 10^8 . No se ha incluido en esta figura los casos de $Ra = 10^2$ puesto que presenta una distribución de función de corriente similar a la observada a $Ra = 10^3$, correspondiente al régimen puramente conductivo. Se observa que la bifurcación, ocurre a esta razón de aspecto a algún valor de Ra entre 10^5 y 10^6 . Aunque los patrones de flujo presentados para $Ra = 10^3$ y 10^4 , son muy parecidos los valores numéricos indican que las líneas de corrientes correspondiente se ha intensificado para $Ra = 10^4$, pero encontrándose aún en régimen conductivo.

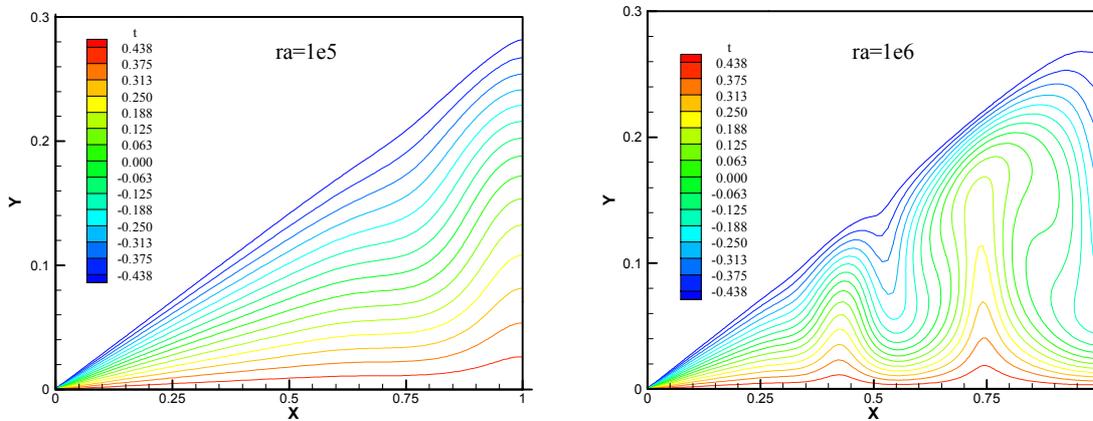


Figura 4. Campos de temperatura para $A = 0.3$ y $Ra = 10^5, 10^6$.

La figura 4, presenta las isotermas correspondientes a $Ra = 10^5$ y 10^6 , para una razón de aspecto igual a 0.3. Se presentan estos casos, pues es en este rango donde ocurre el cambio de régimen conductivo a convectivo. Comparando el mapa de isotermas y el patrón de función de corriente para $Ra = 10^5$, se nota que aunque exista una sola celda, la misma presenta un alargamiento en su extremo izquierdo que nos indica de la pronta aparición de una nueva celda, esto se corresponde bien con el hecho que las isotermas ya no son radiales.

En la misma figura 4 para $x = 0.75$ y $x = 0.425$ se observa la existencia de dos plumas ascendentes correspondiente al encuentro de celdas de distintos sentido de circulación y una pluma descendente ubicada en $x = 0.55$.

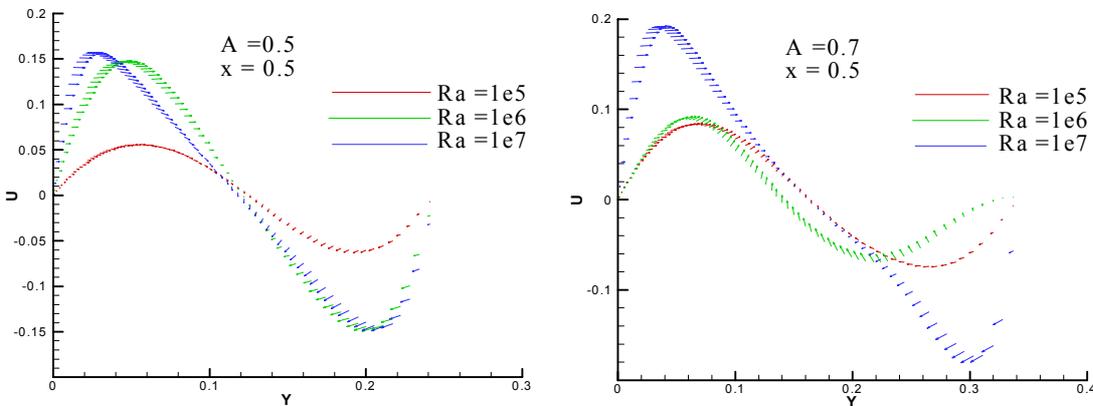


Figura 5. Perfiles del campo de velocidad a $x = 0.5$ para $A = 0.5$ y 0.7 y distintos Ra .

La figura 5 muestra los perfiles del campo de velocidad a $x = 0.5$ para dos razones de aspecto ($A = 0.5$ y $A = 0.7$) y distintos Ra , mientras que la figura 6 muestra las líneas de corrientes para $Ra = 10^6$ y 10^7 y razón de aspecto $A = 0.5$

Comparando los dos gráficos de la figura 5, se puede apreciar que a medida que aumentan los valores de Ra se incrementa la intensidad del campo de velocidades. Este mismo comportamiento se observa en los cálculos realizados para otras razones de aspecto, no mostradas en este trabajo.

Por otro lado, la forma del perfil de velocidad da el sentido de circulación de la celda, por ejemplo para $A = 0.5$ y $Ra = 10^6$, la componente horizontal cambia de positiva a negativa en $y = 0.12$ aproximadamente, esto indica una circulación antihoraria. Por lo tanto los gráficos de la figura 5 permiten determinar los sentidos de circulación de las celdas mostradas en la figura 6.

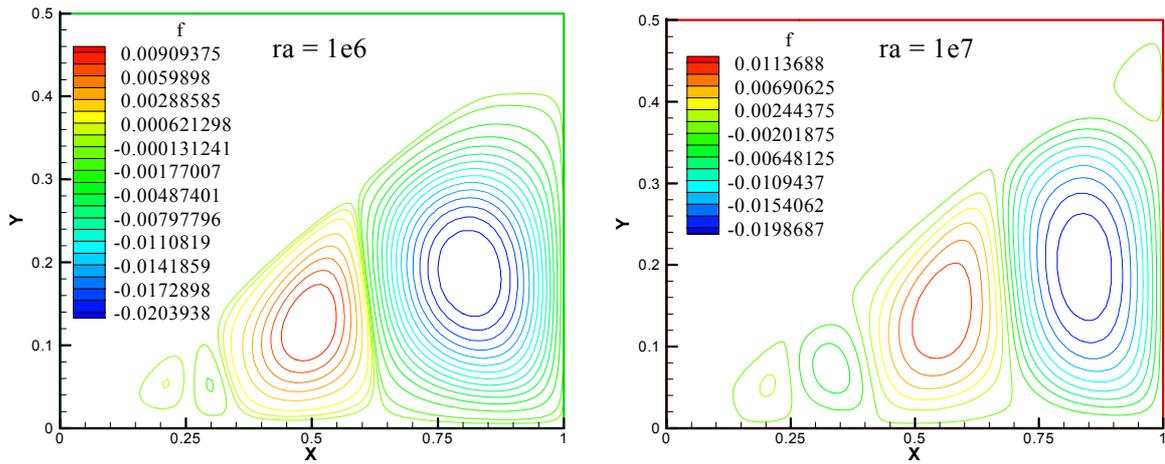


Figura 6. Función de corriente para $A = 0.5$ y para $Ra = 10^6, 10^7$.

La figura 7, muestra los perfiles de los campos de velocidades a distintos valores de x ($x = 0.25, 0.5$ y 0.75), para $Ra = 10^6$ y razón de aspecto 0.5 y a la derecha el correspondiente mapa de líneas de corriente.

Se puede notar en la figura 7, en la gráfica correspondiente a las velocidades, que a $x = 0.25$, el campo de velocidad es casi nulo, lo cual está de acuerdo con que en esa zona el régimen es conductivo.

Dado que el centro de una celda con circulación horaria, se encuentra en $x = 0.5, y = 0.12$, el perfil de velocidades que pasa por este punto presenta una simetría notable. Es de notar que las componentes verticales del vector velocidad para $y < 0.12$ son nulas, mientras que para $y > 0.12$ estas componentes son negativas, lo que da cuenta de la presencia de la superficie fría inclinada.

En $x = 0.75$ se ubica una celda con circulación antihoraria, cuyo centro aproximadamente se encuentra en $x = 0.825$, por lo que no se distingue simetría en el perfil de velocidad correspondiente.

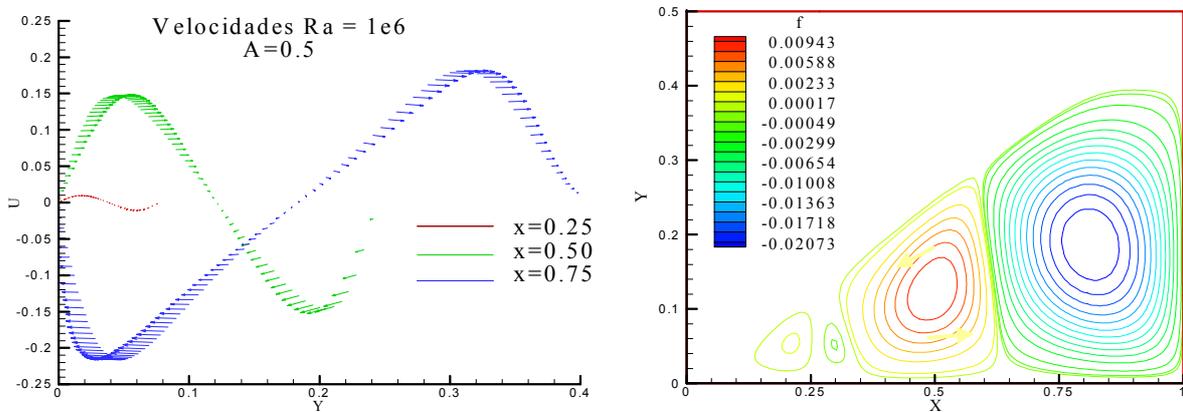


Figura 7. Campo de velocidad en $x = 0.25, 0.5$ y 0.75 , para $Ra = 10^6$ y función de corriente para $Ra = 10^6$ y $A = 0.5$.

CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Una de las primeras apreciaciones que se puede realizar es que los resultados estacionarios alcanzados con el programa para el régimen transitorio coinciden con los obtenidos para el caso estacionario, presentados en Aramayo et. al.(2002) y Esteban et. al.(2002). Lo cual indica que estos últimos son correctos.

También, se confirma la observación realizada por Holtzman, et.al., que el cambio de régimen unicelular a multicelular convectivo ocurre a menor Ra a medida que aumenta la razón de aspecto. Siendo este cambio un proceso “suave”.

El proceso iterativo temporal muestra que antes del surgimiento de una nueva celda, la celda madre sufre deformaciones abruptas al principio del proceso y cambios menores al finalizar el mismo, lo cual está confirmado por las curvas de Nu globales obtenidos en la Parte I.

Un paso posterior es analizar el problema de convección natural transitoria tridimensional, que proporcionará información sobre el posible surgimiento del régimen turbulento, a altos valores de Ra , pero menores que los estudiados aquí.

REFERENCIAS

- Aramayo, A.; Esteban, S.; Cardón, L. (2002), "Convección natural a elevado numero de Rayleigh en recintos triangulares rectangulares enfriados por arriba. Parte I: Flujo de calor". AVERMA. Bs. As., vol: 6, N2, pgs: 08.43–08.48.
- Esteban, S.; Aramayo, A.; Cardón, L. (2002), "Convección natural a elevado numero de Rayleigh en recintos triangulares rectangulares enfriados por arriba. Parte II: Patrones de flujo del fluido". AVERMA. Bs. As., vol: 6, N2, pgs: 08.49–08.53.
- 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.
- Salmun H. (1994); "Convection patterns in a triangular domain". Journal of Heat Mass Transfer, vol. 38, pp. 351-362.

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

ABSTRACT: In this paper results of the fluid flow patterns for a numerical simulation of natural convection transient in a triangular cavity are presented. Solutions in the range the $10^2 < Ra < 10^9$, for $Pr = 0.7$, and aspect ratio aspect $A = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ y 1 were obtained. The dynamical and geometrical parameters (Ra, Pr, A) and the way in which they influence the flow were analyzed. Stream lines and isotherms maps characteristics of the flow are presented. The flow in this regime is Bernard-type multicellular, is corroborated.