

CONVECCION NATURAL BIDIMENSIONAL EN SISTEMAS SOLARES. ESTADO DE AVANCE

Luis Cardón * , Irene De Paul

INENCO S, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 , 4400 Salta

RESUMEN

En el presente trabajo se hubica través de una revisión bibliográfica, la posición de los métodos computacionales para el estudio de problemas convectivos originados en temas de aprovechamiento de la energía solar, con respecto a otros métodos, en particular, los experimentales.

En segundo lugar, se describe las técnicas numéricas usadas en el desarrollo de un programa de computación para la resolución de los problemas mencionados, y se muestran los primeros resultados obtenidos.

INTRODUCCION

La convección natural es uno de los mecanismos de transporte de calor y masa de más frecuente aparición en sistemas solares. En algunos casos, como en los muros Trombe-Mitchell, o en los colectores a termosifón, para mencionar los más conocidos, la convección natural es usada para forzar el flujo de calor en la dirección deseada. En otros es un factor de pérdidas de calor, como ocurre entre cubiertas de un colector o de degradación de la calidad de la energía al mezclarse las estratos caliente y fríos en un tanque de acumulación.

A partir de 1980 con los trabajos de Weber y Balcomb (2), el interés por la convección natural en el interior de habitaciones y edificios ha crecido en la medida del reconocimiento de su importancia.

En este trabajo se ha encarado la realización de un programa BASIC ejecutable en una microcomputadora, capaz de analizar algunas de las muchas situaciones de interés, aquellas que pueden ser consideradas bidimensionales, de geometría trapezoidal así como lazos convectivos de la misma geometría, sometidos a flujos o

temperaturas conocidas.

En este estado de avance mostraremos los resultados obtenidos, para la geometría más sencilla, el cuadrado, que compararemos con resultados publicados.

A fin de ubicar esta línea de trabajo en un marco de referencia más general, también hemos encarado una identificación de situaciones tipo, metodologías y rango de aplicación de problemas de convección natural estudiados en la literatura reciente que resumimos en la TABLA I.

Las configuraciones incluidas en ella se han elegido teniendo en cuenta que el estudio de la misma se halla originado en problemas típicos de pérdida o ganancia de calor en edificios. En otros casos, como en el de los numerosos trabajos sobre geometrías sencillas, se ha considerado la posibilidad de extensión de sus resultados al rango de nuestro interés.

Entre las técnicas experimentales predominan la interferometría holográfica de tiempo real sobre modelos reducidos o reales llenos de gases densos (4,5), los modelos reducidos llenos de gases densos con medición de temperaturas y flujos (1) y los modelos reducidos llenos con agua e inyección de tinta, (6,7). Las dos primeras de estas técnicas, representan mejor el problema físico de escala real ya que considera el acoplamiento radiativo entre las paredes del recinto estudiado, en cambio, la última y por la razón opuesta, es conveniente para la validación de códigos computacionales de convección pura.

Debe destacarse también, por su importancia, algunos trabajos sobre modelos a escala real, (8).

En cuanto a los modelos computacionales, se ha hecho muy poco trabajo que contemple la geometrías más complicadas encontradas en edificios. Dentro del alcance limitado de

Secretario del CONICET
Instituto UNSa-CONICET

CONVECCION NATURAL BIDIMENSIONAL EN SISTEMAS SOLARES. ESTADO DE AVANCE

Luis Cardón * , Irene De Paul

INENCO S, Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177 , 4400 Salta

RESUMEN

En el presente trabajo se hubica través de una revisión bibliográfica, la posición de los métodos computacionales para el estudio de problemas convectivos originados en temas de aprovechamiento de la energía solar, con respecto a otros métodos, en particular, los experimentales.

En segundo lugar, se describe las técnicas numéricas usadas en el desarrollo de un programa de computación para la resolución de los problemas mencionados, y se muestran los primeros resultados obtenidos.

INTRODUCCION

La convección natural es uno de los mecanismos de transporte de calor y masa de más frecuente aparición en sistemas solares. En algunos casos, como en los muros Trombe-Mitchell, o en los colectores a termosifón, para mencionar los más conocidos, la convección natural es usada para forzar el flujo de calor en la dirección deseada. En otros es un factor de pérdidas de calor, como ocurre entre cubiertas de un colector o de degradación de la calidad de la energía al mezclarse las estratos caliente y fríos en un tanque de acumulación.

A partir de 1980 con los trabajos de Weber y Balcomb (2), el interés por la convección natural en el interior de habitaciones y edificios ha crecido en la medida del reconocimiento de su importancia.

En este trabajo se ha encarado la realización de un programa BASIC ejecutable en una microcomputadora, capaz de analizar algunas de las muchas situaciones de interés, aquellas que pueden ser consideradas bidimensionales, de geometría trapezoidal así como lazos convectivos de la misma geometría, sometidos a flujos o

temperaturas conocidas.

En este estado de avance mostraremos los resultados obtenidos, para la geometría más sencilla, el cuadrado, que compararemos con resultados publicados.

A fin de ubicar esta línea de trabajo en un marco de referencia más general, también hemos encarado una identificación de situaciones tipo, metodologías y rango de aplicación de problemas de convección natural estudiados en la literatura reciente que resumimos en la TABLA I.

Las configuraciones incluidas en ella se han elegido teniendo en cuenta que el estudio de la misma se halla originado en problemas típicos de pérdida o ganancia de calor en edificios. En otros casos, como en el de los numerosos trabajos sobre geometrías sencillas, se ha considerado la posibilidad de extensión de sus resultados al rango de nuestro interés.




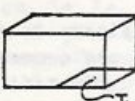


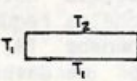

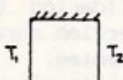
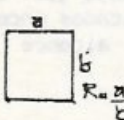
Entre las técnicas experimentales predominan la interferometría holográfica de tiempo real sobre modelos reducidos o reales llenos de gases densos (4,5), los modelos reducidos llenos de gases densos con medición de temperaturas y flujos (1) y los modelos reducidos llenos con agua e inyección de tinta, (6,7). Las dos primeras de estas técnicas, representan mejor el problema físico de escala real ya que considera el acoplamiento radiativo entre las paredes del recinto estudiado, en cambio, la última y por la razón opuesta, es conveniente para la validación de códigos computacionales de convección pura.

Debe destacarse también, por su importancia, algunos trabajos sobre modelos a escala real, (8).

En cuanto a los modelos computacionales, se ha hecho muy poco trabajo que contemple la geometrías más complicadas encontradas en edificios. Dentro del alcance limitado de

Secretario del CONICET
Instituto UNSa-CONICET

TABLA I

CONFIGURACION		METODO	REFERENCIA
	Habitaciones separadas por una puerta	Modelos a escala con Freon.	Weber (1) 1980 Balcomb (2,3)
	Habitaciones comunicadas	Modelos a escala con agua. Inyeccion de tinta. Medicion de temp. termocuplas.	Bois (6) 1985
	Recintos parcialmente divididos	Modelos a escala. Inyeccion de tinta.	Wansteel (7) 1981
	Habitacion con piso parcialmente aseado	Modelo escala real. Medicion de temp. termocuplas.	Ruberg (8) 1979 Citado en (16)
	Espacios de aire entre vidrios de ventana	Interferometria holografica de tiempo real	Cordier (4) 1985
	Colectores solares	Interferometria holografica de tiempo real	Cesini (5) 1984
	Colectores solares	Modelos escala real. Inyeccion de humo. Medicion de temp. termocuplas	Hallermayer (17) 1985
	Canal vertical en muros Trombe-Bitchel	Numerico 2D	Akbari (9) 1979
	Cavidad cuadrada	Numerico 2D y 3D Existen mas de 37 metodos	Wilkes (11) 1966 De Vahl Davis (13) 1882 Presente trabajo
	Cavidad rectangular. Diferentes razones de aspecto, Raleygh, y condiciones de borde	Su revision completa abarca metodos numericos, analiticos y experimentales y escapa a las posibilidades de este trabajo.	

...revisión, no hemos encontrado en la literatura análisis bidimensionales que consideren geometrías otras que las rectangulares con condiciones de borde de temperaturas o flujos, (a excepción de algunos trabajos sobre muro Trombe o colectores solares). Por otro lado existen trabajos desarrollados para otras aplicaciones (8) que abarcan un espectro amplio de situaciones y que creemos, susceptibles de adaptación.

METODO DEL PROBLEMA

Se analiza una cavidad cuadrada en cuyo interior se tiene aire inicialmente en reposo y a una temperatura uniforme e igual a la media de las temperaturas que luego se aplicarán en los bordes izquierdo y derecho.

En los bordes superior e inferior se han usado condiciones de borde de tipo temperatura conocida y de tipo flujo de calor conocido.

Las ecuaciones que rigen el fenómeno de convección que se estudiará son (11) :

Balanceo:

$$\frac{Du}{Dt} = -g\beta(\theta - \theta_0) - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial x} + \nabla^2 u$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p'}{\partial y} + \nu \nabla^2 v$$

Continuidad :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

Energía:

$$\frac{D\theta}{Dt} = \frac{k}{\rho c_p} \nabla^2 \theta$$

Las hipótesis que involucran son:

Propiedades de los fluidos constantes (

$$\frac{\rho_0 - \rho(t)}{\rho_0} \ll 1/\beta$$

disipación viscosa y compresibilidad despreciables

Las ecuaciones llevadas a términos dimensionales de temperatura, vorticidad y líneas de corriente permiten plantear el problema mediante las siguientes ecuaciones:

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{1}{Pr} \nabla^2 T$$

$$\frac{Ds}{Dt} = \frac{Gr}{2} \frac{\partial I}{\partial y} + \nabla^2 s$$

$$\nabla^2 \psi = -S$$

$$u = \partial \psi / \partial y$$

$$9 \quad v = -\partial \psi / \partial x$$

Se han analizado dos situaciones diferentes en la condición de borde para la temperatura en los bordes superior e inferior. En el primer caso hemos supuesto una variación lineal de la temperatura entre las correspondientes a los bordes laterales. En el segundo hemos supuesto bordes adiabáticos. Para ambos casos las condiciones de borde comunes, en las variables primitivas son

$$10 \quad t=0: 0 \leq x \leq 1 \quad 0 \leq y \leq d, \quad u=v=0, \quad \theta = \theta_0$$

$$t > 0 \quad \left. \begin{array}{l} y=0 \quad u=v=0 \quad \theta = \theta_1 \\ y=d \quad u=v=0 \quad \theta = \theta_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x=0 \text{ y } x=1 \\ u=v=0 \end{array}$$

y en las variables adimensionadas

$$11 \quad \tau=0, \quad 0 \leq X \leq L, \quad 0 \leq Y \leq 1, \quad U=V=0, \quad T=0$$

$$\tau > 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} X=0, L \quad U=V=0 \quad \psi = \partial \psi / \partial X = 0 \\ Y=0: \psi = \partial \psi / \partial Y = 0, \quad T = -1; \quad Y=1, \quad T = 1 \end{array} \right.$$

Para la temperatura se tiene, para el primer caso

$$12 \quad \theta = \theta_1 + (\theta_2 - \theta_1) y/d$$

y

$$13 \quad T = 2X - 1$$

y para el segundo caso

$$14 \quad \frac{\partial \theta}{\partial X} = 0$$

y

$$15 \quad \frac{\partial T}{\partial X} = 0$$

Las ecuaciones 5, 6, 7, y 8 con las condiciones de borde 9, y 13 y 15 respectivamente se resuelven numéricamente como sigue.

METODO DE RESOLUCION

Hasta ahora el método de resolución seguido es el desarrollado por Wilkes y Churchill (11) que aplica el método de las direcciones alternantes de Peaceman y Rachford (12).

RESOLUCION NUMERICA

Se discretiza el recinto mediante una red de puntos como la mostrada en la figura 1. Sobre los puntos de la red se resuelven sucesivamente las ecuaciones 5, 6, 7, y 8 como muestra el diagrama de flujo de la fig 2. Los campos de temperatura y vorticidad se resuelven por el método implícito de las direcciones alternantes desarrollado por Peaceman y Rachford, (12). Este método

resuelve el campo de la variable en cuestión, temperatura o vorticidad para un nuevo instante de tiempo $t + \Delta t$ en dos pasos. En el primer paso se calcula el campo de la variable para un tiempo intermedio $t + \Delta t/2$ a partir del campo de la variable al tiempo t . Para ello se discretiza la ec 5 o 6 en forma implícita en y . Recordemos que "implícita en y " significa que los valores de la variable temperatura para el tiempo desconocido $t + \Delta t/2$ a lo largo de la dirección y están ligados por un sistema de ecuaciones simultáneas.

Se obtiene entonces un sistema de ecuaciones por cada fila (implícito en y) que se resuelve mediante el algoritmo de Thomas. Se resuelve luego, una por una, cada fila. Resuelto el campo de la variable para el tiempo intermedio se discretiza la ec. 5 o 6 en forma implícita en x y se procede de igual manera. De esta forma, la solución es estable para cualquier intervalo t .

Para discretizar las ec. 5 y 6 en forma implícita en y se reemplazan las derivadas primeras por su discretización utilizando diferencias centradas.

Las derivadas segundas se reemplazan por diferencias segundas, la $\partial^2/\partial y^2$ en términos de la variable para el tiempo $t + \Delta t/2$, mientras que la $\partial^2/\partial x^2$ en términos de las variables para el tiempo conocido t .

Haciendo esto y reordenando los términos tenemos que las formas discretas de las ecuaciones 6 y 7 implícitas en y son

$$16 \ a T_{i,j,t}^* + b T_{i,j,t}^* + c T_{i,j,t}^* = d T_{i,j,t}^* + e T_{i,j,t}^* + f T_{i,j,t}^* \\ y$$

$$17 \ a S_{i,j,t}^* + b S_{i,j,t}^* + c S_{i,j,t}^* = d S_{i,j,t}^* + e S_{i,j,t}^* + f S_{i,j,t}^* \\ + Gr/4 \Delta X (T_{i,j,t}^* - T_{i,j,t}^*)$$

y las mismas ecuaciones implícitas en x son

$$18 \ a T_{i,j,t}^{n+1} + b T_{i,j,t}^{n+1} + c T_{i,j,t}^{n+1} = d T_{i,j,t}^{n+1} + e T_{i,j,t}^{n+1} + f T_{i,j,t}^{n+1} \\ y$$

$$19 \ a S_{i,j,t}^{n+1} + b S_{i,j,t}^{n+1} + c S_{i,j,t}^{n+1} = d S_{i,j,t}^{n+1} + e S_{i,j,t}^{n+1} + f S_{i,j,t}^{n+1} \\ + Gr/4 \Delta X (T_{i,j,t}^{n+1} - T_{i,j,t}^{n+1})$$

donde los coeficientes a, b, c, d, e, f se dan en las tablas II, III.

Las condiciones de borde para el caso de temperaturas conocidas se introducen modificando los términos independientes primero y último (lado derecho de las ecuaciones 16-19) como sigue para el caso implícito en y

$$D_i^* = D_i = a_i T_{i,0}^* \quad y \quad D_{i,R}^* = D_{i,R} = a_{i,R} T_{i,R}^*$$

Para condición de borde de tipo flujo se usa un método de reflexión (12).

Una vez obtenido el campo de vorticidad en los puntos interiores de la grilla podemos

calcular los valores de las líneas de corriente.

Para ello debemos resolver la ec 7 de Poisson escrita para la función de corriente:

$$7 \quad \partial^2 \psi / \partial x^2 + \partial^2 \psi / \partial y^2 = -S$$

En el trabajo original (11), la ecuación de Poisson se resuelve por el método de sobrerelajación sucesiva mediante la fórmula:

$$20 \quad \psi_{i,j}^{n+1} = \psi_{i,j}^n + w/4 (\Delta X)^2 S_{i,j}^n + \\ \psi_{i,j}^n + \psi_{i+1,j}^n + \psi_{i-1,j}^n + \psi_{i,j+1}^n - 4\psi_{i,j}^n$$

en donde w es el parámetro de relajación se encuentra por tanteo para cada grilla. Este valor debe estar comprendido entre $1 < w < 2$. Cuando $w=1$ el método toma el nombre de Gauss-Seidel, es más lento pero más estable. Por el momento hemos tomado $w=1$.

En el cálculo de la vorticidad se tomó la vorticidad inicial y en los bordes como igual a 0.

Una vez efectuado el mismo se dispone de nuevos valores de vorticidad para los puntos interiores de la grilla. Resta calcular los nuevos valores de la vorticidad en los bordes. Para ello se desarrolla en serie de Taylor la función de corriente en el borde en consideración y a partir de allí se obtiene la siguiente expresión para la vorticidad en el borde:

$$21 \quad S_{i,0}^{n+1} = -8 \psi_{i,1}^n - \psi_{i,2}^n / 2 \Delta Y^2$$

IMPLEMENTACION COMPUTACIONAL

Se ha desarrollado un programa BASIC que resuelve las ecuaciones 5 a 9 mediante la técnica de Wilkes y Churchill (11) que se ha desarrollado precedentemente, y según el diagrama de flujo de la fig 2.

Si bien nuestros resultados no concuerdan todavía con los del trabajo original, al menos cuantitativamente, si lo hacemos cualitativamente. A título de ejemplo mostramos en la fig 3a y 3b las isolinias para temperatura, vorticidad, función de corriente y componentes x e y de la velocidad para $N=5$ y $N=180$ para el caso de la cavidad cuadrada de bordes horizontales adiabáticos calculados con

$$\Delta x = \Delta y = .1$$

$$L = 1$$

$$\Delta \tau = 0.001$$

$$Gr = 20000$$

$$Pr = .71$$

El tiempo de cálculo aproximado para pasar de un nivel de tiempo a otro es de unos segundos, corriendo el programa en BASIC compilado en una microcomputadora Wang con coprocesador 8087. Dicho tiempo incluye el acceso a disquete, pero se anuló para las salidas por pantalla o impresas.

CONCLUSION

Se ha desarrollado un programa BASIC ejecutable en microcomputadoras pequeñas que puede calcular flujos convectivos no estacionarios en cavidades cuadradas. Al presente el programa proporciona resultados cualitativamente correctos y se corrige errores que afectan su bondad cuantitativa. El alcance del programa ha sido extendido con éxito a la resolución de lazos convectivos cuadrados y se trabaja en la resolución de figuras triangulares y lazos convectivos que las incluyan.

REFERENCIAS

1. Weber D.D., Kearney R. J., Natural Convective Heat Transfer Through an Aperture in Passive Solar Heated Buildings, 1st National Passive Solar Conference, Amherst, 1980.
2. Balcomb J. D., Heating Remote Rooms in Passive Solar Buildings, Proc. Solar World Forum, Brighton, 1981.
3. Balcomb J. D., Heat Distribution by Natural Convection, Intersol85 Extended Abstracts, Montreal, Canada, 1985.
4. Cordier A. et al., Natural Convection in a Test Cell- The Use of a Reduced Scale Model, Intersol85, Montreal, Canada, 1985.
5. Cesini G. et al., An Experimental Correlation for Internal Convective Heat Transfer Coefficients in Flat-Plate Collectors, Tagungsbericht Proceedings, 5. Internationales Sonnenforum, Berlin 1984, Vol 1, pag. 182.
6. Bois J.M., Blay D., Tuhaut J.L., Natural Ventilation Between Adjacent Rooms in Passive Heating, Intersol85 Extended Abstracts, Montreal, Canada, 1985.
7. Nansteel M. W., Greif R., Natural Convection in Unidivided and Partially Divided Rectangular Enclosure, Journal of Heat Transfer, Vol 103, November, 1981, pag. 63.
8. Ruberg K. Heat Distribution of Natural Convection: A Modeling Procedure for Enclosed Spaces, Master thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 1978.
9. Akbari H., Borgers, Free Convective Laminar Flow Within the Trombe Wall Channel, Solar Energy Vol 22 Nro 2, 1979.
10. Gadgil A., Bauman F., Kammerud R., Natural Convection in Passive Solar Buildings: Experiments, Analysis, and Results, Passive Solar Journal Vol 1 Nro 1, pag. 1, 1982.
11. Converse A. O., Steady-State Analysis of the Convective Loop, Solar Energy Vol 26, pag. 61, 1981.
12. Wilkes J. O., Churchill S. W., The Finite-difference Computation of Natural Convection in a Rectangular Enclosure, A.I.Ch.E. Journal, Vol 12, Nro 1, pag. 61, 1966.

12. Douglas J. Jr., Peaceman D. W., Numerical Solution of Two-Dimensional Heat-Flow Problems, A.I.Ch.E Journal Vol 1, Nro 4, pag. 505, 1955.
13. De Vahl Davis G., Jones J. P., Natural Convection in a Square Cavity: A Comparison Exercise, International Journal of Numerical Methods in Fluids, Vol 3 pag. 227, 1983.
14. Hirt, C.W. et al., SOLA Numerical Solution Algorithm for Transient Fluid Flow, UC-34, Los Alamos Scientific Laboratory 1975.
15. Martinez b., Ferreri J.C., Convección Natural en un Recipiente Lleno con un Líquido y un Sólido, Revista Latinoamericana de Transferencia de Calor y Materia, Vol 6 Nro 1/2, pag. 1, 1982.
17. Hallermayer R., Free Convective Heat Transfer in Flat Plate Collectors.

NOMENCLATURA

x, y : coordenada vertical y horizontal.
 X, Y : cordenadas adimensionales.
 L, d : alto y ancho de la cavidad.
 L : L/d
 U, V : velocidad en la dirección x e y .
 U, V : velocidades adimensionales
 t, τ : tiempo y tiempo adimensional
 g : aceleración de la gravedad.
 β : coef. vol. de expansión térmica.
 θ, T : temperatura y temp. adimensional.
 S : vorticidad.
 ψ : función de corriente adimensional.
 Gr, Pr : Grashoff, Prandlt.

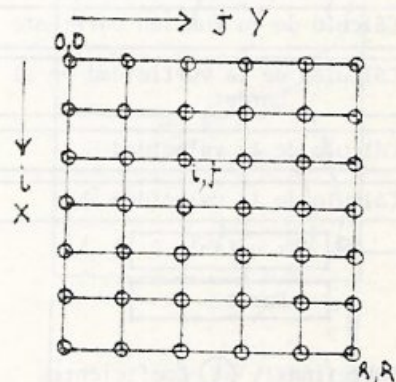


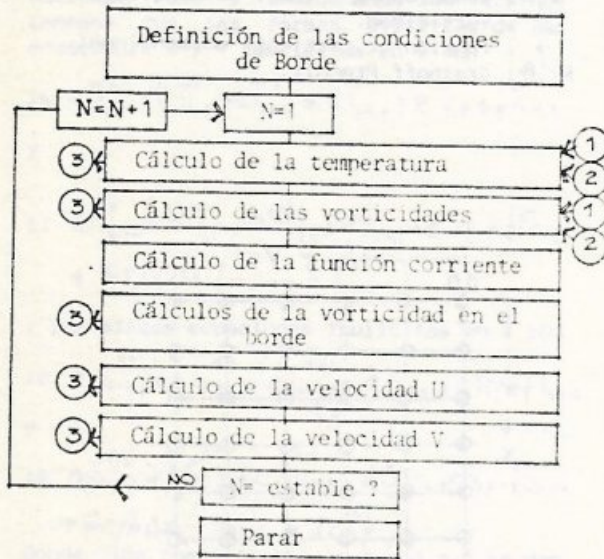
Fig. 1

TABLA II : Temperatura

	implícito y	implícito x
a	$-\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} - \frac{1}{\Delta Y^2}$	$-\frac{U_{ij}}{2\Delta X} - \frac{1}{\Delta X^2}$
b	$\frac{2}{\Delta\tau} + \frac{2}{\Delta Y^2}$	$\frac{2}{\Delta\tau} + \frac{1}{\Delta X^2}$
c	$\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} - \frac{1}{\Delta Y}$	$\frac{U_{ij}}{2\Delta X} - \frac{1}{\Delta X^2}$
d	$\frac{U_{ij}}{2\Delta X} + \frac{1}{\Delta X^2}$	$\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} + \frac{1}{\Delta Y^2}$
e	$\frac{2}{\Delta\tau} - \frac{1}{\Delta X^2}$	$\frac{2}{\Delta\tau} - \frac{1}{\Delta Y^2}$
f	$-\frac{U_{ij}}{2\Delta X} + \frac{1}{\Delta X^2}$	$-\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} + \frac{1}{\Delta Y^2}$

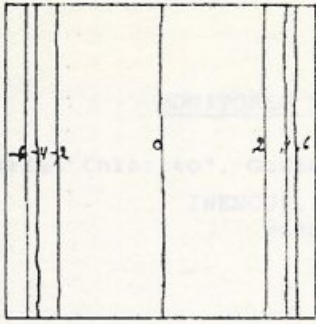
TABLA III : Vorticidad

	implícito y	implícito x
a	$-\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} - \frac{1}{Pr\Delta Y^2}$	$-\frac{U_{ij}}{2\Delta X} - \frac{1}{Pr\Delta X^2}$
b	$\frac{2}{\Delta\tau} + \frac{2}{Pr\Delta Y^2}$	$\frac{2}{\Delta\tau} + \frac{2}{Pr\Delta X^2}$
c	$\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} - \frac{1}{Pr\Delta Y^2}$	$\frac{U_{ij}}{2\Delta X} - \frac{1}{Pr\Delta X^2}$
d	$\frac{U_{ij}}{2\Delta X} + \frac{1}{Pr\Delta X^2}$	$\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} + \frac{1}{Pr\Delta Y^2}$
e	$\frac{2}{\Delta\tau} - \frac{2}{Pr\Delta X^2}$	$\frac{2}{\Delta\tau} - \frac{2}{Pr\Delta Y^2}$
f	$-\frac{U_{ij}}{2\Delta X} + \frac{1}{Pr\Delta X^2}$	$-\frac{V_{ij}}{2\Delta Y} + \frac{1}{Pr\Delta Y^2}$

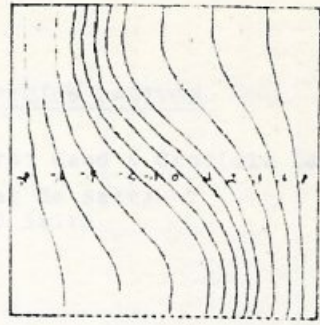


- Subrutinas: (1) Coeficientes
 (2) Thomas
 (3) Linivel

fig. 2

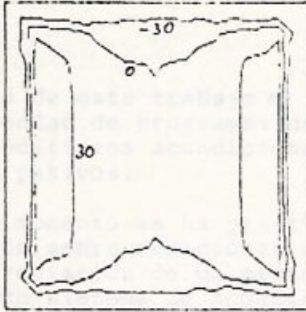


N=5

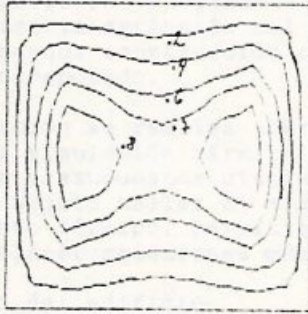
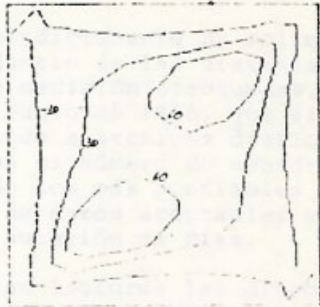


N=180

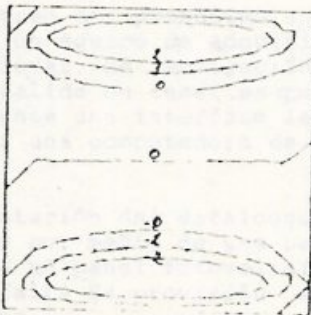
Temperatura



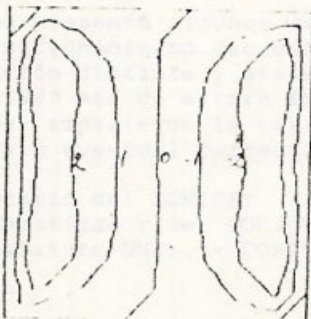
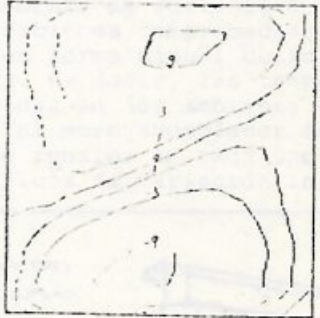
Vorticidad



Función
Corriente



Velocidad U



Velocidad V

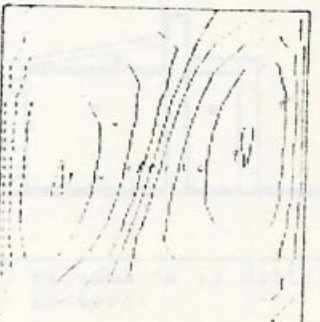


fig. 3