

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEO

"COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE FLUJO BIDIMENSIONAL
DE UNA FASE EN UN YACIMIENTO"

TESIS DE GRADO

PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO
DE
INGENIERO DE PETROLEO

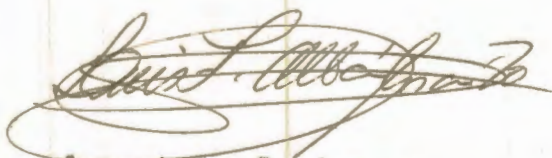
POR:
ITALO CEDEÑO CEDEÑO

GUAYAQUIL-ECUADOR

MAYO DE 1.976

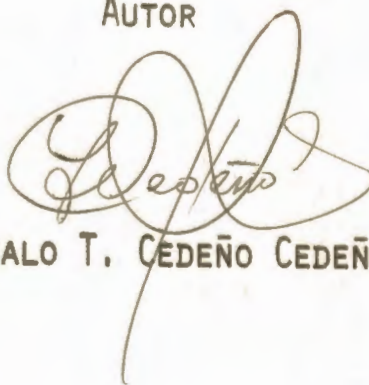
"COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE FLUJO BIDIMENSIONAL
DE UNA FASE EN UN YACIMIENTO"

DIRECTOR DE TESIS



ING. LUIS F. ALBAN

AUTOR



ITALO T. CEDEÑO CEDEÑO

DECLARACION EXPRESA:

DECLARO QUE: Hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis son de mi exclusiva responsabilidad y que el patrimonio intelectual de la misma corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LI
TORAL.

(Reglamento de Exámenes y Títulos Profesionales de la ESPOL).

DEDICATORIA

Con el más profundo cariño y respeto dedico esta tesis a mis queridos padres:

SR. DN. ITALO J. CEDENO CAMPOS
SRA. DÑA. THALIA CEDENO DE CEDENO

quienes con su abnegación y permanente apoyo supieron inculcar en mí responsabilidad para poder cristalizar mis ideales.

Con todo mi amor a mi Señora esposa
y a mi pequeño hijo

A mis hermanos que con su acertada orientación constituyen un apoyo para el cumplimiento de mis propósitos.

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DEL LITORAL

AL M.S. LUIS ALBAN G., Director
de Tesis, por su valiosa ayuda
académica en el desarrollo de
este trabajo.

A mis profesores y compañeros
de todos los años de estudio,
que de una manera u otra han
colaborado en la elaboración
de esta Tesis.

Para todo el personal del
Centro de Computación de la
ESPOL mis agradecimientos -
por su sincera actitud de co
laboración con mi persona.

A Cecilia Pazmiño B.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
RESUMEN	4
CAPITULO 1	6
FORMULACION DEL MODELO MATEMATICO Y METODOS DE SOLUCION	
1.1. Solución de las ecuaciones de balance de materiales.	6
1.2. Representación por medio de diferencias finitas.	7
1.3. Procedimiento del PSOR.	8
1.4. Procedimiento del ADIP iterativo.	18
1.5. Procedimiento del ADEP.	27
1.6. Procedimiento del ADIP no iterativo.	31
1.7. Convergencia, estabilidad y consistencia.	36
1.8. Error de truncación.	46
1.9. Chequeo	49
CAPITULO 2	
PROCEDIMIENTO EN LOS PROGRAMAS DE COMPUTACION	51
2.1. Diagramas de flujo	51
2.2. Descripción de los programas principales y Subrutinas.	63

CAPITULO 3	
CARACTERISTICAS DEL YACIMIENTO ANALIZADO	73
3.1. Datos descriptivos del yacimiento y de la malla.	73
3.2. Condiciones iniciales y de frontera	74
CAPITULO 4	
DISCUSION DE RESULTADOS	76
4.1. Consideraciones generales	76
4.2. Efecto de la viscosidad del petróleo	78
4.3. Efecto del factor de tolerancia.	81
4.4. Efecto de las dimensiones de la malla.	84
4.5. Efecto de la presión inicial del yacimiento.	85
4.6. Efecto del caudal de inyección.	87
4.7. Efecto de la presión en los pozos productores.	89
4.8. Efecto del número de pozos en el yacimiento.	90
CAPITULO 5	
5.1. Conclusiones	93
5.2. Recomendaciones	95
5.3. Apendices	97
A. Solución de las Ecuaciones de Balance de Materiales.	97

	Pág.
B. Esquemas de diferencias finitas	
Usualmente usadas.	110
C. Algoritmo de Thomas	113
D. Listados.	118
5.4. Nomenclatura	136
5.5. Tablas	140
5.6. Figuras	242
- Vacimiento	
- Permeabilidades	
5.7. Bibliografía	244

INTRODUCCION

La simulación numérica de los problemas ocurridos en el yacimiento ha llegado a ser una práctica muy común en la Ingeniería de Yacimientos petroleros. La formulación matemática de problemas extremadamente difíciles de resolver analíticamente, ha sido tratada haciendo uso de técnicas numéricas y de computadores muy rápidos en su ejecución.

La Simulación Numérica consiste en la elaboración y operación de un modelo matemático, el cual reflejará el comportamiento actual de un yacimiento.

Una de las ventajas del modelo matemático es que permite simular el yacimiento bajo diferentes condiciones de desarrollo y producción, lo cual es de gran ayuda en la selección de las condiciones óptimas de explotación.

El contenido de este trabajo es el de investigar la variación de presión en un yacimiento hipotético, debido al efecto del caudal de inyección o producción, viscosidad, tolerancia, dimensiones de la malla, presión inicial, número de pozos y a partir de esas variaciones establecer comparaciones entre diferentes técnicas numéricas.

Con la finalidad de realizar este proyecto, formulaciones matemáticas estables y métodos numéricos eficientes han sido utilizados, los cuales son necesarios debido a la complejidad del problema. Soluciones numéricas pueden ser obtenidas por medio de la aplicación de diferencias finitas a la resolución de las ecuaciones diferenciales. Como consecuencia de esta aproximación un conjunto de ecuaciones simultáneas es obtenido. Este conjunto de ecuaciones puede ser resuelto, ya sea por métodos directos de eliminación o por técnicas iterativas. Este último procedimiento es muy aceptado como el más eficiente, especialmente cuando el número de ecuaciones a ser resuelto es numeroso.

Los métodos iterativos utilizados en esta investigación son: El método puntual de sobrerelajamiento sucesivo (PSOR), el procedimiento implícito de dirección alternante (tanto el ADIP iterativo como el ADIP no iterativo) y el procedimiento explícito de dirección alternante (ADEP). Estos algoritmos han sido desarrollados con mucho éxito y las ventajas y comparaciones entre estas técnicas son discutidas en la literatura.

El uso adecuado de los parámetros de iteración empleados para acelerar la convergencia es un factor impor-

tante en este trabajo. Es necesario anotar que a pesar de sus múltiples ventajas, la simulación matemática de yacimientos no es siempre la herramienta de estudio más adecuada y por lo tanto, el problema a resolverse debe ser analizado para de esta manera evitar el mal uso de esta técnica.

RESUMEN

El procedimiento utilizado para predecir el comportamiento de un yacimiento, mediante el uso de un modelo matemático a ser resuelto numéricamente consta de las siguientes etapas:

1. Derivación de las ecuaciones que gobiernan el flujo: Estas ecuaciones serán utilizadas para el flujo bidimensional de una fase fluyendo a través de un medio poroso.
2. Representación en diferencias finitas: Debido a la no-linealidad de las ecuaciones diferenciales parciales a utilizarse, la representación de las mismas por medio de diferencias finitas, hace posible encontrar una solución mediante la discretización de las variables del espacio y del tiempo.
3. Procedimientos de solución: Las ecuaciones algebraicas así obtenidas son resueltas utilizando los siguientes métodos: Puntual de sobrerelajación sucesiva (PSOR), procedimiento explícito de dirección alternante (ADEP) y procedimiento implícito de dirección alternante (ADIP). La estabilidad, convergencia y consistencia de los esquemas son

analizados en esta etapa.

4. *Chequeo de los resultados: La solución obtenida es controlada por medio del valor de los residuos de las ecuaciones en diferencias finitas, de la convergencia, del balance de materiales y por último, mediante comparaciones entre los diversos métodos.*

5. *Discusión de Resultados: Se establecen consideraciones generales y se analizan los efectos de la viscosidad del petróleo, del factor de tolerancia, de las dimensiones de la malla, de la presión inicial del yacimiento, del caudal de inyección, de la presión en los pozos productores y del número de pozos en el yacimiento.*

La sensibilidad de los resultados obtenidos variando los parámetros anteriores, son aspectos que se estudian en esta etapa con la finalidad de lograr una mejor explotación del yacimiento.

CAPITULO 1

FORMULACION DEL MODELO MATEMATICO Y METODOS DE SOLUCION

1.1. SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE BALANCE DE MATERIALES

La Ecuación diferencial que describe el flujo bidimensional en régimen permanente, considerando un fluido incompresible, de viscosidad constante, fluyendo a través de un medio poroso heterogéneo, anisotrópico, y despreciando los efectos gravitacionales es;

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x h \frac{\partial P}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y h \frac{\partial P}{\partial y}) + \text{COEF1} \frac{\mu B q c \cdot s}{(\Delta x) (\Delta y)} = 0 \quad (1.1)$$

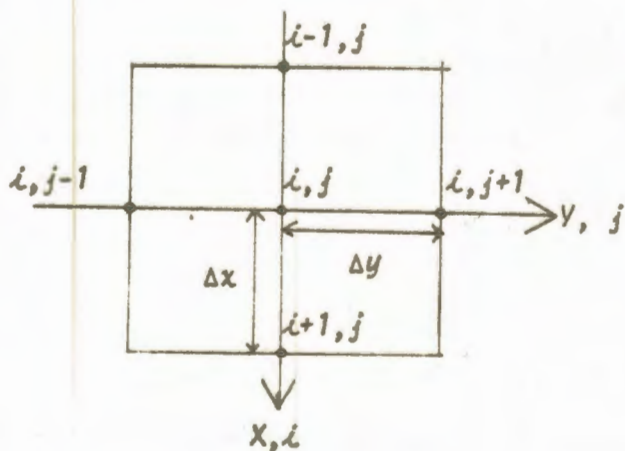
La ecuación que describe el flujo en régimen transitorio de un fluido ligeramente compresible, de viscosidad constante, que fluye a través de un medio poroso heterogéneo, no isotrópico, incluyendo fuentes y sumideros es;

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x h \frac{\partial P}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y h \frac{\partial P}{\partial y}) + \text{COEF1} \frac{\mu B q c \cdot s}{(\Delta x) (\Delta y)} = \text{COEF3} \phi \mu c h \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1.2)$$

La deducción de estas ecuaciones se muestra en el Apéndice A.

1.2. REPRESENTACION EN DIFERENCIAS FINITAS

Utilizando la siguiente representación, se procede a aproximar las ecuaciones diferenciales parciales (1.1) y (1.2) en diferencias finitas, de acuerdo a las fórmulas del Apéndice B.



Aproximación de la ecuación (1.1.):

$$\frac{(K_{xh})_{i+1/2, j} (P_{i+1, j} - P_{i, j}) - (K_{xh})_{i-1/2, j} (P_{i, j} - P_{i-1, j})}{(\Delta x)^2} +$$

$$\frac{(K_{yh})_{i, j+1/2} (P_{i, j+1} - P_{i, j}) - (K_{yh})_{i, j-1/2} (P_{i, j} - P_{i, j-1})}{(\Delta y)^2} +$$

$$\frac{\text{COEF1 u B0 (q.c.s.)}_{i, j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = 0$$

(1.3)

Aproximación a la ecuación (1.2):

$$\frac{(K_x h)_{i+1/2, j} (P_{i+1, j} - P_{i, j}) - (K_x h)_{i-1/2, j} (P_{i, j} - P_{i-1, j})}{(\Delta x)^2} +$$

$$\frac{(K_y h)_{i, j+1/2} (P_{i, j+1} - P_{i, j}) - (K_y h)_{i, j-1/2} (P_{i, j} - P_{i, j-1})}{(\Delta y)^2} +$$

$$\frac{\text{COEF1} \mu \beta o(\text{q.c.s.})_{i, j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = \text{COEF3} \mu c (\phi h)_{i, j} \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j}^n}{\Delta t} \quad (1.4)$$

SOLUCION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES EN DIFERENCIAS FINITAS MEDIANTE LOS METODOS: Puntual de Sobrerelajamiento Sucesivo (PSOR), Procedimiento Explícito de Dirección Alternante (ADEP) y Procedimiento Implícito de Dirección Alternante (ADIP).

1.3. METODO PUNTUAL DE SOBRELAJACION SUCESIVA (PSOR):

Este método encuentra la solución del sistema $\bar{A} \bar{x} = \bar{b}$, mediante aproximaciones sucesivas. Comenzando con una aproximación arbitraria $\bar{x}^{(0)}$ y utilizando una determinada fórmula iterativa. Se determinan las respectivas aproxi-

maciones $\bar{x}^{(1)}, \bar{x}^{(2)}, \dots, \bar{x}^{(m)}$ cada vez más próximas a la solución verdadera, si es que esta existe y el método converge hacia ella, el criterio de convergencia más simplificado es el siguiente:

$$\left| x_i^{(m+1)} - x_i^{(m)} \right| < \varepsilon \quad (1.5)$$

para $i = 1, 2, 3, \dots, n$; siendo n el número de incógnitas, ε la aproximación deseada y m el número de iteraciones.

En general, el proceso iterativo aplicado al sistema $\bar{A} \cdot \bar{x} = \bar{b}$, puede expresarse como:

$$\bar{x}^{(m+1)} = \bar{H} \bar{x}^{(m)} + \bar{b}' \quad (1.6)$$

Donde \bar{H} es una matriz cuadrada de orden n , la cual es determinada en base a la matriz A y al método iterativo y \bar{b}' es el vector \bar{b} multiplicado por cierta matriz que depende del método iterativo.

Si \bar{x} es la solución exacta de la ecuación matricial $\bar{A}\bar{x} = \bar{b}$, la ecuación (1.6) puede expresarse como:

$$\bar{x} = \bar{H}\bar{x} + \bar{b}' \quad (1.7)$$

Puesto que el proceso iterativo involucra ciertos errores, éstos en las iteraciones (m) y $(m+1)$ son:

$$\bar{e}^{(m)} = \bar{x} - \bar{x}^{(m)} \quad (1.8)$$

$$\bar{e}^{(m+1)} = \bar{x} - \bar{x}^{(m+1)} \quad (1.9)$$

Sustituyendo el valor de \bar{x} del lado izquierdo de la ecuación (1.7) por la ecuación (1.9) y la del lado derecho de la misma ecuación, por la ecuación (1.8) se obtiene:

$$\bar{e}^{(m+1)} + \bar{x}^{(m+1)} = \bar{H} (\bar{e}^{(m)} + \bar{x}^{(m)}) + b' \quad (1.10)$$

pero como:

$$\bar{x}^{(m+1)} = \bar{H}\bar{x}^{(m)} + b'$$

Restando, el valor del vector error \bar{e} para la iteración $(m+1)$ resulta ser:

$$\bar{e}^{(m+1)} = \bar{H}\bar{e}^{(m)}$$

Así:

$$\bar{e}^{(1)} = \bar{H}\bar{e}^{(0)}$$

$$\bar{e}^{(2)} = \bar{H}\bar{e}^{(1)} = \bar{H}^2 \bar{e}^{(0)}$$

$$\bar{e}^{(3)} = \bar{H}\bar{e}^{(2)} = \bar{H}^{(3)} \bar{e}^{(0)}$$

$$\bar{e}^{(m)} = \bar{H}\bar{e}^{(m-1)} = \bar{H}^{(m)} \bar{e}^{(0)}$$

El error en la iteración (m), dependerá solamente del valor obtenido de \bar{H} y del error obtenido en la primera aproximación.

La condición necesaria y suficiente para que exista convergencia, utilizando un $\bar{x}^{(0)}$ arbitrario como primera aproximación, es que el $\lim_{m \rightarrow \infty} \bar{e}^{(m)} = 0$, lo que quiere decir que $\lim_{m \rightarrow \infty} \bar{H}^{(m)} = 0$. Basado en los fundamentos del álgebra matricial, lo anteriormente expuesto se cumple siempre y cuando el valor del radio espectral de la matriz \bar{H} resulta ser menor que la unidad; definiéndose como radio espectral de una matriz al valor característico de mayor valor escalar.

$$\rho(H) = \max_i |\lambda_i|$$

Donde $\rho(H)$ es el radio espectral de H y λ_i los valores característicos de la matriz H .

El cálculo del radio espectral para matrices de mayor orden es sumamente laborioso, por lo que en general lo que se hace es estimarlo. La estimación se realiza en base a la norma del vector residual en dos iteraciones sucesivas:

$$\rho(H) = \frac{\bar{\kappa}^{(m+1)}}{\bar{\kappa}^{(m)}} \quad (1.11)$$

Siendo $\bar{\kappa}^{(m+1)} = \bar{e}^{(m+1)} - \bar{e}^{(m)}$. La norma comunmente utilizada es:

$$\|\bar{\kappa}^{(m+1)}\| = \max_i |x_i^{(m+1)} - x_i^{(m)}|$$

Sustituyendo esta última relación en (1.11). El valor estimado del radio espectral es:

$$\rho(H) = \frac{\max_i |x_i^{(m+1)} - x_i^{(m)}|}{\max_i |x_i^{(m)} - x_i^{(m-1)}|} \quad (1.12)$$

O sea la razón del cambio máximo en el valor de las incógnitas en una iteración, al cambio máximo en la iteración previa.

Aplicando todos estos conceptos anteriores válidos para cualquier método de solución iterativa, específicamente al método puntual de sobrerelajación sucesiva (PSOR) y haciendo uso del siguiente sistema de ecuaciones para llegar a la fórmula recursiva final tenemos:

$$a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,n}x_n = b_1$$

$$a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,n}x_n = b_2$$

$$a_{n,1}x_1 + a_{n,2}x_2 + \dots + a_{n,n}x_n = b_n$$

Las fórmulas iterativas son:

$$x_1^{(m+1)} = (b_1 - a_{1,2}x_2^{(m)} - a_{1,3}x_3^{(m)} - \dots - a_{1,n}x_n^{(m)}) / a_{1,1}$$

$$x_2^{(m+1)} = (b_2 - a_{2,1}x_1^{(m+1)} - a_{2,3}x_3^{(m)} - \dots - a_{2,n}x_n^{(m)}) / a_{2,2}$$

$$x_n^{(m+1)} = (b_n - a_{n,1}x_1^{(m+1)} - a_{n,2}x_2^{(m+1)} - \dots - a_{n,n-1}x_{n-1}^{(m+1)}) / a_{n,n}$$

Las cuales pueden expresarse como:

$$\bar{x}_i^{(m+1)} = \left(b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{i,j} x_j^{(m+1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{i,j} x_j^{(m)} \right) / a_{i,i} \quad (1.13)$$

La ecuación (1.13) nos da una aproximación auxiliar que es en realidad la aproximación del método Iterativo de Gauss - Seidel⁽⁵⁾.

Las componentes de la aproximación verdadera $x_i^{(m+1)}$ del método puntual de sobrerelajación son definidas por:

$$x_i^{(m+1)} = x_i^{(m)} + w \left[\bar{x}_i^{(m+1)} - x_i^{(m)} \right] \quad (1.14)$$

$$x_i^{(m+1)} = (1 - w) x_i^{(m)} + w \bar{x}_i^{(m+1)} \quad (1.15)$$

Donde w es un factor de relajación, el cual es mayor que la unidad, si w es menor que la unidad, entonces el método se denomina de baja relajación.

Sustituyendo (1.13) en (1.15), se obtiene la fórmula iterativa del método de sobrerelajación puntual;

$$x_i^{(m+1)} = (1-w) x_i^{(m)} + w \left[\frac{b_i - \sum_{j=1}^{i-1} a_{i,j} x_j^{(m+1)} - \sum_{j=i+1}^n a_{i,j} x_j^{(m)}}{a_{i,i}} \right] / a_{i,i} \quad (1.16)$$

La cual puede escribirse en forma matricial como:

$$\bar{D}\bar{x}^{(m+1)} = (1-W)\bar{D}\bar{x}^{(m)} + W\bar{b} - W\bar{L}\bar{x}^{(m+1)} - W\bar{U}\bar{x}^{(m)} \quad (1-17)$$

de donde se obtiene:

$$\bar{x}^{(m+1)} = \underbrace{(\bar{D}+W\bar{L})^{-1} ((1-W)\bar{D}-W\bar{U})}_{\text{matriz HSOR}} \bar{x}^{(m)} + \underbrace{(\bar{D}+W\bar{L})^{-1} W\bar{b}}_{\text{vector } \bar{b}'} \quad (1-18)$$

Así, la matriz característica del método de sobrerelajación puntual es:

$$H_{SOR} = (\bar{D} + W\bar{L})^{-1} \left\{ (1-W)\bar{D} - W\bar{U} \right\} \quad (1-19)$$

La cual debe tener un radio espectral menor que la unidad a fin de que el método sea convergente. En este método el radio espectral dependerá de W , por lo tanto existirá un W óptimo, para el cual el radio espectral será mínimo y la velocidad de convergencia será máxima. En general $1 < W \text{ óptimo} < 2$ y puede calcularse por:⁽⁵⁾

$$W_{opt.} = \frac{2.0}{1 + \sqrt{1 - \rho_{GS}}} \quad (1-20)$$

Donde ρ_{GS} es el radio espectral de la matriz característica del método de Gauss-Seidel. Así, el procedimiento

to para obtener W óptimo es hacer algunas iteraciones con el método de Gauss-Seidel ($W = 1.0$) para estimar P_{GS} y luego calcular W óptimo de la ecuación (1-20). Continuar luego el procedimiento iterativo utilizando después el método de sobrerelajación puntual.

Aplicada a la ecuación diferencial original (1.1), y puesta en diferencias finitas (1.3) y haciendo uso de una malla de igual espaciamento en las direcciones X y Y , la forma iterativa del método de sobrerelajación puntual es:

$$P_{i,j}^{(m+1)} = \left\{ \frac{1}{K_{Hx_{i+1/2,j}} + K_{Hx_{i-1/2,i}} + K_{Hy_{i,j+1/2}} + K_{Hy_{i,j-1/2}}} \right. \\ \left. (K_{Hx_{i+1/2,j}} P_{i+1,j}^m + K_{Hx_{i-1/2,i}} P_{i-1,j}^{m+1} + K_{Hy_{i,j+1/2}} P_{i,j+1}^m \right. \\ \left. + K_{Hy_{i,j-1/2}} P_{i,j-1}^{m+1} + \text{COEF1} \mu B O q_{i,j}) + W + (1-W) P_{i,j}^m \right\} \quad (1-21)$$

Mediante el uso de la ecuación (1.21) y una vez que se haya alcanzado la convergencia se logrará la distribución verdadera de presiones en el yacimiento. Si un proceso de inyección de agua ocurre, tendremos ciertos pozos de

nuestro yacimiento a los que les fijamos la cuota de inyección o producción y a otros pozos a los cuales les podemos fijar presiones, cuando esto último sucede se calculan los caudales en los pozos a los que se les fijó la presión con la ecuación:

$$q_{i,j} = \left\{ (P_{i,j} - P_{i+1,j}) (Kxh)_{i+1/2,j} + (P_{i,j} - P_{i-1,j}) (Kxh)_{i-1/2,j} \right. \\ \left. + (P_{i,j} - P_{i,j+1}) (Kyh)_{i,j+1/2} + (P_{i,j} - P_{i,j-1}) (Kyh)_{i,j-1/2} \right\} \\ / \text{COEF1} * \mu * B_0 \quad (1.22)$$

PROCEDIMIENTO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNADA (ADIP)

El ADIP es utilizado para encontrar la solución de las ecuaciones (1.1) y (1.2) y puede ser iterativo y no iterativo.

Breve explicación del método: Este procedimiento solo es aplicable a yacimientos de dos o tres dimensiones. Cuando se emplea para resolver ecuaciones diferenciales parciales como la ecuación (1.1), los valores más refina-

dos de presión están continuamente reemplazando los valores anteriores (antiguos), hasta que la convergencia a la solución (hasta un grado deseado de exactitud) es obtenida.

Básicamente el ADIP es un procedimiento de dos etapas, involucrando dos ecuaciones en vez de una y pudiendo ser utilizado en forma iterativa y no iterativa. El ADIP iterativo es usado para encontrar la solución a la ecuación (1.1) (Regimen permanente), y el ADIP no iterativo se usa en la solución de la ecuación (1.2) (Regimen transitorio), siendo en este caso cada iteración un incremento de tiempo. Este procedimiento es incondicionalmente estable.

1.4. PROCEDIMIENTO DEL ADIP ITERATIVO:

Para resolver la ecuación (1.1) utilizando el ADIP iterativo, hay que plantear dos etapas de cálculo una en la dirección x en la que se emplea una ecuación implícita en x y otra en la dirección y en donde se emplea una ecuación implícita en y .

Escribiendo la ecuación (1.3) para estos dos pasos

tenemos:

Implícita en x

$$\begin{aligned}
 & \frac{(K_{xh})_{i+1/2,j} (p_{i+1,j}^{n+1/2} - p_{i,j}^{n+1/2}) - (K_{xh})_{i-1/2,j} (p_{i,j}^{n+1/2} - p_{i-1,j}^{n+1/2})}{(\Delta x)^2} \\
 & + \frac{(K_{yh})_{i,j+1/2} (p_{i,j+1}^n - p_{i,j}^n) - (K_{yh})_{i,j-1/2} (p_{i,j}^n - p_{i,j-1}^n)}{(\Delta y)^2} \\
 & + \frac{\text{COEF 1} \mu_B (q_{c.s})_{i,j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = 0 \qquad (1.23)
 \end{aligned}$$

Implícita en y

$$\begin{aligned}
 & \frac{(K_{xh})_{i+1/2,j} (p_{i+1,j}^{n+1/2} - p_{i,j}^{n+1/2}) - (K_{xh})_{i-1/2,j} (p_{i,j}^{n+1/2} - p_{i-1,j}^{n+1/2})}{(\Delta x)^2} \\
 & + \frac{(K_{yh})_{i,j+1/2} (p_{i,j+1}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) - (K_{yh})_{i,j-1/2} (p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j-1}^{n+1})}{(\Delta y)^2} \\
 & + \frac{\text{COEF 1} \mu_B (q_{c.s})_{i,j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = 0 \qquad (1.24)
 \end{aligned}$$

En las ecuaciones (1.23) y (1.24), n y $n+1$ son dos iteraciones sucesivas y $n+1/2$ es un nivel intermedio de

cálculo. Es necesario recalcar que la iteración $n+1/2$ no tiene ningún significado, por lo que no se puede utilizar para evaluar propiedades de los fluidos o algún parámetro de las ecuaciones de flujo.

Usando $\Delta x = \Delta y$ e introduciendo el uso de los parámetros de iteración (factores para acelerar la convergencia), que reemplacen al término $\text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{\frac{\Delta t}{2}} (\phi h)_{i,j}$ de la ecuación en régimen transitorio, se podrán escribir las ecuaciones (1.23) y (1.24) como:

$$\begin{aligned}
 & (Kxh)_{i-1/2,j} p_{i-1,j}^{n+1/2} - [(Kxh)_{i-1/2,j} + (Kxh)_{i+1/2,j} + \gamma_m] p_{i,j}^{n+1/2} \\
 & + (Kxh)_{i+1/2,j} p_{i+1,j}^{n+1/2} = - (Kyh)_{i,j-1/2} p_{i,j-1}^n + [(Kyh)_{i,j-1/2} \\
 & + (Kyh)_{i,j+1/2} - \gamma] p_{i,j}^n - (Kyh)_{i,j+1/2} p_{i,j+1}^n \\
 & - \text{COEF1} \mu B q_{i,j} \tag{1.25}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (Kyh)_{i,j-1/2} p_{i,j-1}^{n+1} - [(Kyh)_{i,j-1/2} + (Kyh)_{i,j+1/2} + \gamma] p_{i,j}^{n+1} \\
 & + (Kyh)_{i,j+1/2} p_{i,j+1}^{n+1} = - (Kxh)_{i-1/2,j} p_{i-1,j}^{n+1/2} + [(Kxh)_{i-1/2,j} \\
 & + (Kxh)_{i+1/2,j} - \gamma] p_{i,j}^{n+1/2} - \text{COEF1} \mu B q_{i,j} \tag{1.26}
 \end{aligned}$$

En donde γ es un parámetro de iteración, y:

$$(Kxh)_{i-1/2,j} = \frac{1}{2} [(Kxh)_{i,j} + (Kxh)_{i-1,j}]$$

$$(Kxh)_{i+1/2,j} = \frac{1}{2} [(Kxh)_{i,j} + (Kxh)_{i+1,j}]$$

$$(Kyh)_{i,j-1/2} = \frac{1}{2} [(Kyh)_{i,j} + (Kyh)_{i,j-1}]$$

$$(Kyh)_{i,j+1/2} = \frac{1}{2} [(Kyh)_{i,j} + (Kyh)_{i,j+1}]$$

Los parámetros de iteración (γ_m), son un conjunto de números utilizados para acelerar la convergencia del ADIP iterativo. En general estos parámetros se encuentran espaciados en forma geométrica entre un mínimo (γ_{\min}) y un máximo (γ_{\max}), los cuales se utilizan en forma cíclica.

Farouq ALI⁽¹⁾, presentó un método para el cálculo de estos parámetros de iteración con la finalidad de una convergencia máxima, considerando una superficie cuadrada de lado L . Los parámetros obtenidos por medio de este procede

En donde γ es un parámetro de iteración, y:

$$(K_{xh})_{i-1/2,j} = \frac{1}{2} [(K_{xh})_{i,j} + (K_{xh})_{i-1,j}]$$

$$(K_{xh})_{i+1/2,j} = \frac{1}{2} [(K_{xh})_{i,j} + (K_{xh})_{i+1,j}]$$

$$(K_{yh})_{i,j-1/2} = \frac{1}{2} [(K_{yh})_{i,j} + (K_{yh})_{i,j-1}]$$

$$(K_{yh})_{i,j+1/2} = \frac{1}{2} [(K_{yh})_{i,j} + (K_{yh})_{i,j+1}]$$

Los parámetros de iteración (γ_m), son un conjunto de números utilizados para acelerar la convergencia del ADIP iterativo. En general estos parámetros se encuentran espaciados en forma geométrica entre un mínimo (γ_{\min}) y un máximo (γ_{\max}), los cuales se utilizan en forma cíclica.

Farouq All⁽¹⁾, presentó un método para el cálculo de estos parámetros de iteración con la finalidad de una convergencia máxima, considerando una superficie cuadrada de lado L . Los parámetros obtenidos por medio de este procede

dimiento también son valederos siempre y cuando se tenga una superficie rectangular con una relación máxima entre lados de 2 a 1. Si se utiliza la longitud menor como longitud L y se hace $(\Delta x) = (\Delta y)$, el procedimiento es el siguiente:

$$a = 4 \operatorname{Sen}^2 \frac{\pi (\Delta x)}{2L}$$

$$b = 4 \operatorname{Cos}^2 \frac{\pi (\Delta x)}{2L}$$

$$W = \frac{a}{b}$$

El número de parámetros de iteración es igual al valor de t que hace mínimo el valor de St , siendo

$$St = \left[\frac{1 - \sqrt{z}}{1 + \sqrt{z}} \quad e^{-\frac{z^{3/2}}{1-z}} \right]^{\frac{4}{t}}$$

en donde: $z = W^{\frac{1}{t-1}}$, $t = 2, 3, 4, \dots$

Con este valor de t se obtiene:

$$Y_l = \frac{z^{t-1}}{a} \quad , \quad l = 1, 2, \dots, t$$

Donde γ_i son los diferentes parámetros de iteración, sin considerar hasta ahora el sistema de unidades a utilizar, el cual se lo incluye con la relación:

$$\gamma_i = \frac{\text{COEF3 } h}{\gamma_i}$$

Las ecuaciones (1.25) y (1.26) se pueden escribir en la forma siguiente:

$$A_{\ell,j} P_{\ell-1,j}^{(n+1/2)} + B_{\ell,j} P_{\ell,j}^{(n+1/2)} + C_{\ell,j} P_{\ell+1,j}^{(n+1/2)} = D_{\ell,j} \quad (1.27)$$

$$A'_{\ell,j} P_{\ell,j-1}^{(n+1)} + B'_{\ell,j} P_{\ell,j}^{(n+1)} + C'_{\ell,j} P_{\ell,j+1}^{(n+1)} = D'_{\ell,j} \quad (1.28)$$

En donde:

$$A_{\ell,j} = (Kxh)_{\ell-1/2,j}$$

$$A'_{\ell,j} = (Kyh)_{\ell,j-1/2}$$

$$B_{\ell,j} = - [(Kxh)_{\ell-1/2,j} + (Kxh)_{\ell+1/2,j} + \gamma]$$

$$B'_{\ell,j} = - [(Kyh)_{\ell,j-1/2} + (Kyh)_{\ell,j+1/2} + \gamma]$$

$$C_{i,j} = (K_x h)_{i+1/2, i}$$

$$C'_{i,j} = (K_y h)_{i, j+1/2}$$

$$D_{i,j} = \text{Segundo miembro de la ecuación (1.25)}$$

$$D'_{i,j} = \text{Segundo miembro de la ecuación (1.26)}$$

Los valores de los coeficientes A, B y C se conocen en todos los nodos de la malla ya que representan operaciones con las capacidades en los diferentes puntos de la malla (coeficiente A y C), y con los parámetros de iteración calculados con los datos del yacimiento (coeficientes B); mientras que los valores de los coeficientes D, se los calcula previamente en base ya no solo a capacidades y parámetros de iteración, siño también a las presiones que al ser calculadas en una iteración pasan a ser valores conocidos en la iteración siguiente. Por lo que las incógnitas en la ecuación (1.27) son las presiones en los puntos $(i-1, j)$, (i, j) $(i+1, j)$.

Escribiendo estas ecuaciones para todos los nodos de una columna y suprimiendo los superíndices $(n+1/2)$, al calcular la presión P se genera una matriz tridiagonal.

$$A_1 + B_1 P_1 + C_1 P_2 = D_1$$

$$A_2 P_1 + B_2 P_2 + C_2 P_3 = D_2$$

$$A_3 P_2 + B_3 P_3 + C_3 P_4 = D_3$$

$$A_n P_{n-1} + B_n P_n + C_n P_{n+1} = D_n \quad (1.29)$$

En donde A_1 y C_n son siempre iguales a cero.

Las ecuaciones pueden ser resueltas directamente usando el algoritmo de Thomas (apendice C).

Métodos iterativos también pueden ser usados, pero requieren de mucho trabajo computacional.

La ecuación matricial a ser resuelta es:

$$\begin{bmatrix} B_1 & C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & | & 0 \\ A_2 & B_2 & C_2 & 0 & 0 & 0 & | & 0 \\ 0 & A_3 & B_3 & C_3 & 0 & 0 & | & 0 \\ 0 & 0 & A_4 & B_4 & C_4 & 0 & | & 0 \\ \hline & & & A_{n-1} & B_{n-1} & & | & C_{n-1} \\ & & & & A_n & & | & B_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \\ \vdots \\ P_{n-1} \\ P_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \\ D_4 \\ \vdots \\ D_{n-1} \\ D_n \end{bmatrix}$$

Este sistema de ecuaciones puede ser resuelto usando las siguientes relaciones dadas por el algoritmo de Thomas:

$$w_1 = B_1$$

$$w_i = B_i - \frac{A_i C_{i-1}}{w_{i-1}}; \quad i = 2, \dots, N-1, N$$

$$g_1 = \frac{D_1}{w_1}$$

$$g_i = \frac{D_i - A_i g_{i-1}}{w_i}; \quad i = 2, 3, 4, \dots, N-1, N$$

La solución del sistema es:

$$P_N = g_N$$

$$P_i = g_i - \frac{C_i P_{i+1}}{w_i}; \quad i = N-1, N-2, \dots, 3, 2, 1$$

Los valores w_i y g_i son calculados a medida que i aumenta seguido de los valores de P_i que son obtenidos en forma descendente.

La distribución de la presión en el primer paso (barrido en x) de cada iteración, se obtiene repitiendo el proce

so anterior para cada una de las columnas de la malla que representa el yacimiento.

El segundo paso (barrido en Y) es similar al cálculo en la dirección x y se usa la ecuación (1.28) en forma análoga a la ecuación (1.27).

Cálculo de los Caudales: Igual que para el PSOR en el ADIP, una vez que se logra la distribución verdadera de las presiones en el yacimiento, para aquellos nodos (pozos) en los cuales la presión fue un dato fijado, se calculan los caudales mediante la ecuación:

$$q_{L,j} = \left\{ (P_{L,j} - P_{L+1,j}) (Kxh)_{L+1/2,j} + (P_{L,j} - P_{L-1,j}) (Kxh)_{L-1/2,j} \right. \\ \left. + (P_{L,j} - P_{L,j+1}) (Kxh)_{L,j+1/2} + (P_{L,j} - P_{L,j-1}) (Kyh)_{L,j-\frac{1}{2}} \right\}$$

/ COEF $14 B_0$

(1.30)

1.5. PROCEDIMIENTO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE (ADEP) (Esquema de Barakat - Clark)

El esquema de Barakat - Clark, es utilizado en esta

investigación para encontrar la solución de la ecuación (1.2), que puesta en diferencias finitas se presenta en la ecuación (1.4). Es una variante del método ADEP - (procedimiento explícito de dirección alternante), el cual fue propuesto por Saul'yev⁽⁶⁾. La idea general del esquema es dividir cada derivada segunda en dos partes una teniendo el nivel de tiempo n y la otra con $n+1$ y luego escribiendo una segunda ecuación de aproximación con los niveles de tiempo de las dos mitades intercambiadas. El promedio aritmético de los valores calculados de las dos ecuaciones es la solución final.

Las ecuaciones resultantes en diferencias finitas se rán:

$$\begin{aligned}
 & \frac{(K_x h)_{i+1/2, j} (P_{i+1, j}^n - P_{i, j}^n) - (K_x h)_{i-1/2, j} (P_{i, j}^{n+1} - P_{i-1, j}^{n+1})}{(\Delta x)^2} \\
 + & \frac{(K_y h)_{i, j+1/2} (P_{i, j+1}^n - P_{i, j}^n) - (K_y h)_{i, j-1/2} (P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j-1}^{n+1})}{(\Delta y)^2} \\
 + & \frac{\text{COEF1} \mu B^q_{i, j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = \text{COEF3} \mu c(\phi h)_{i, j} \frac{P_{i, j}^{n+1} - P_{i, j}^n}{(\Delta t)} \quad (1.31)
 \end{aligned}$$

Intercambiando los niveles de tiempo de la ecuación (1.31)

$$\begin{aligned}
 & \frac{(K_{xh})_{i+1/2,j} (p_{i+1,j}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) - (K_{xh})_{i-1/2,j} (p_{i,j}^n - p_{i-1,j}^n)}{(\Delta x)^2} \\
 & + \frac{(K_{yh})_{i,j+1/2} (p_{i,j+1}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) - (K_{yh})_{i,j-1/2} (p_{i,j}^n - p_{i,j-1}^n)}{(\Delta y)^2} \\
 & + \frac{\text{COEF 1} \mu q_{i,j}}{(\Delta x)(\Delta y)} = \text{COEF 3} \mu c(\phi h)_{i,j} \frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j}^n}{(\Delta t)} \quad (1.32)
 \end{aligned}$$

En donde los superíndices (n) y (n+1) representan los niveles de tiempo y $q_{i,j}$ ha sido añadido para permitir la inyección o producción en el punto (i,j). Si $\Delta x = \Delta y$, las ecuaciones (1.31) y (1.32) pueden ser escritas en forma más conveniente,

$$\begin{aligned}
 p_{i,j}^{n+1} &= \left\{ (K_{xh})_{i+1/2,j} p_{i+1,j}^n + (K_{xh})_{i-1/2,j} p_{i-1,j}^n + (K_{yh})_{i,j+1/2} p_{i,j+1}^n \right. \\
 & + (K_{yh})_{i,j-1/2} p_{i,j-1}^n + \text{COEF 1} \mu q_{i,j} - \left. \left\{ (K_{xh})_{i+1/2,j} \right. \right. \\
 & + \left. \left. (K_{yh})_{i,j+1/2} - \frac{\text{COEF 3} \mu c(\Delta x)^2 (\phi h)_{i,j}}{(\Delta t)} \right\} p_{i,j}^n \right\} \frac{\text{COEF 3} \mu c(\Delta x)^2 (\phi h)_{i,j}}{(\Delta t)}
 \end{aligned}$$

$$+ (K_{xh})_{i-1/2,j} + (K_{yh})_{i,j-1/2} \quad (1.33)$$

$$p_{i,j}^{n+1} = \left\{ (K_{xh})_{i+1/2,j} p_{i+1,j}^{n+1} + (K_{xh})_{i-1/2,j} p_{i-1,j}^n \right.$$

$$+ (K_{yh})_{i,j+1/2} p_{i,j+1}^{n+1} + (K_{yh})_{i,j-1/2} p_{i,j-1}^n + \text{COEF}_{\mu B} q_{i,j}$$

$$\left. - \left\{ (K_{xh})_{i-1/2,j} + (K_{yh})_{i,j-1/2} \frac{\text{COEF}_{\mu c} (\Delta x)^2 (\phi h)_{i,j}}{(\Delta t)} \right\} p_{i,j}^n \right\}$$

$$/ \frac{\text{COEF}_{\mu c} (\Delta x)^2 (\Delta h)_{i,j}}{\Delta t} + (K_{xh})_{i+1/2,j} + (K_{yh})_{i,j+1/2} \quad (1.34)$$

Las ecuaciones (1.33) y (1.34), son explícitas en las direcciones x y y , por lo que la solución de la distribución de presiones al nivel de tiempo $(n+1)$ se logrará a partir de las siguientes sustituciones:

$$\left. \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, N_x \\ j = 1, 2, \dots, N_y \end{array} \right\} \text{ en la ecuación (1.33)}$$

$$\left. \begin{array}{l} i = N_x, N_x-1, \dots, 3, 2, 1 \\ j = N_y, N_y-1, \dots, 3, 2, 1 \end{array} \right\} \text{ en la ecuación (1.34)}$$

El valor de la presión en cada punto de la malla que representa el reservorio, será un promedio de los valores encontrados por las expresiones (1-33) y (1-34).

$$P_{i,j}^{n+1} \text{ (verdadero)} = \frac{P_{i,j}^{n+1} \text{ (de la expresión 1-33)} + P_{i,j}^{n+1} \text{ (de la exp. 1-34)}}{2} \quad (1.35)$$

1.6. PROCEDIMIENTO DEL ADIP NO ITERATIVO

Las ecuaciones para resolver la ecuación (1.2) y siguiendo la misma secuencia que la solución de la ecuación (1.1) resuelta por el ADIP iterativo son:

Implícita en x :

$$\begin{aligned} & \frac{(Kxh)_{i+1/2,j} (P_{i+1,j}^{n+1/2} - P_{i,j}^{n+1/2}) - (Kxh)_{i-1/2,j} (P_{i,j}^{n+1/2} - P_{i-1,j}^{n+1/2})}{(\Delta x)^2} \\ & + \frac{(Kyh)_{i,j+1/2} (P_{i,j+1}^n - P_{i,j}^n) - (Kyh)_{i,j-1/2} (P_{i,j}^n - P_{i,j-1}^n)}{(\Delta y)^2} \\ & + \frac{\text{COEF1} \mu_B (q.c.s)_{i,j}}{(\Delta x) (\Delta y)} = \text{COEF3} \mu c (\phi h)_{i,j} \frac{P_{i,j}^{n+1/2} - P_{i,j}^n}{\frac{\Delta t}{2}} \quad (1.36) \end{aligned}$$

Implícita en y

$$\begin{aligned}
 & \frac{(K_x h)_{i+1/2,j} (p_{i+1,j}^{n+1/2} - p_{i,j}^{n+1/2}) - (K_x h)_{i-1/2,j} (p_{i,j}^{n+1/2} - p_{i-1,j}^{n+1/2})}{(\Delta x)^2} \\
 & + \frac{(K_y h)_{i,j+1/2} (p_{i,j+1}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1}) - (K_y h)_{i,j-1/2} (p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j-1}^{n+1})}{(\Delta y)^2} \\
 & + \frac{\text{COEF1 } \mu_0}{(\Delta x)} \frac{(q.c.s)_{i,j}}{(\Delta y)} = \text{COEF } 3\mu c(\phi h)_{i,j} \frac{p_{i,j}^{n+1} - p_{i,j}^{n+1/2}}{\frac{\Delta t}{2}} \quad (1.37)
 \end{aligned}$$

En donde n y $n+1$ son dos niveles sucesivos de tiempo y $n+1/2$ es una etapa intermedia del ciclo de cálculo.

Las ecuaciones (1.36) y (1.37) se aplican a todos los nodos de la malla donde la presión es desconocida. Con la ecuación (1.36) se pasa del nivel de tiempo n al nivel intermedio $n+1/2$. Al aplicar la ecuación (1.37) ya se tienen calculadas las presiones en el nivel $n+1/2$, por lo que las incógnitas en esta ecuación son las presiones al nivel de tiempo $n+1$. En esta forma al resolver las ecuaciones (1.36) y (1.37) se completa un ciclo de cálculo cubriendo un intervalo de tiempo (Δt) .

Los ciclos de cálculo necesarios en un problema determinado, dependerán del tiempo de predicción, de las características del yacimiento, de los flujidos, de los gastos de inyección o de producción y del tamaño de las celdas - de la malla. Debe considerarse que al disminuir los incrementos: Δx , Δy y Δt , se reduce el error de truncamiento en la aproximación de las derivadas, pero aumenta el tiempo de cálculo. Hay que tener presente el error de redondeo, el mismo que a veces causa variación en los resultados cuando no se usa "extended precision".

Por otra parte al usar (Δt) grandes, además de aumentar el error de truncamiento, se tiene la posibilidad de que se presente variación en los resultados por efecto del error de redondeo, lo que indica que el método no funciona para estos valores de (Δt). Por lo tanto el valor del paso de tiempo (Δt) adecuado en cada problema se obtendrá haciendo un balance de los factores anotados anteriormente.

Con el fin de presentar el procedimiento de solución de las ecuaciones (1.36) y (1.37), estas se escriben respectivamente para el caso en que $\Delta x = \Delta y$,

$$(Kxh)_{i-1/2,j} (P_{i-1,j}^{n+1/2}) - \left\{ (Kxh)_{i-1/2,j} + (Kxh)_{i+1/2,j} + \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{\left(\frac{\Delta t}{2}\right)} (\phi h)_{i,j} \right\} P_{i,j}^{n+1/2}$$

$$+ (Kxh)_{i+1/2,j} (P_{i+1,j}^{n+1/2}) = - (Kyh)_{i,j-1/2} (P_{i,j-1}^n)$$

$$+ \left\{ (Kyh)_{i,j-1/2} + (Kyh)_{i,j+1/2} - \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{\left(\frac{\Delta t}{2}\right)} (\phi h)_{i,j} \right\} P_{i,j}^n$$

$$- (Kyh)_{i,j+1/2} (P_{i,j+1}^n) - \text{COEF1} \mu B q_{i,j} \quad (1.38)$$

$$(Kyh)_{i,j-1/2} (P_{i,j-1}^{n+1}) - \left\{ (Kyh)_{i,j-1/2} + (Kyh)_{i,j+1/2} \right.$$

$$\left. + \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{\left(\frac{\Delta t}{2}\right)} (\phi h)_{i,j} \right\} P_{i,j}^{n+1} + (Kyh)_{i,j+1/2} (P_{i,j+1}^{n+1})$$

$$= - (Kxh)_{i-1/2,j} (P_{i-1,j}^{n+1/2}) + \left\{ (Kxh)_{i-1/2,j} + (Kxh)_{i+1/2,j} \right.$$

$$\left. - \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{\left(\frac{\Delta t}{2}\right)} (\phi h)_{i,j} \right\} P_{i,j}^{n+1/2} - (Kxh)_{i+1/2,j} (P_{i+1,j}^{n+1/2})$$

$$- \text{COEF1} \mu B q_{i,j} \quad (1.39)$$

Vale anotar, que las ecuaciones (1.38) y (1.39) aplicables a régimen transitorio, son similares a las ecuaciones (1.25) y (1.26) de régimen permanente, en donde el factor COEF3 $\frac{\mu c (\Delta x)^2}{(\frac{\Delta t}{2})} (\phi h)_{i,j}$ se sustituye por un parámetro de iteración.

Las ecuaciones (1.38) y (1.39), se pueden así mismo poner en la forma:

$$A_{i,j} P_{i-1,j}^{n+1/2} + b_{i,j} P_{i,j}^{n+1/2} + C_{i,j} P_{i+1,j}^{n+1/2} = D_{i,j} \quad (1.40)$$

$$A'_{i,j} P_{i,j-1}^{n+1} + b'_{i,j} P_{i,j}^{n+1} + C'_{i,j} P_{i,j+1}^{n+1} = D'_{i,j} \quad (1.41)$$

en donde:

$$A_{i,j} = (Kxh)_{i-1/2,j}$$

$$A'_{i,j} = (Kyh)_{i,j-1/2}$$

$$b_{i,j} = - \left\{ (Kxh)_{i-1/2,j} + (Kxh)_{i+1/2,j} + \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{(\frac{\Delta t}{2})} (\phi h)_{i,j} \right\}$$

$$b'_{i,j} = - \left\{ (Kyh)_{i,j-1/2} + (Kyh)_{i,j+1/2} + \text{COEF3} \frac{\mu c (\Delta x)^2}{(\frac{\Delta t}{2})} (\phi h)_{i,j} \right\}$$

$$C_{i,j} = (K_x h)_{i+1/2,j}$$

$$C'_{i,j} = (K_y h)_{i,j+1/2}$$

$$D_{i,j} = \text{Segundo miembro de la ecuación (1.38)}$$

$$D'_{i,j} = \text{Segundo miembro de la ecuación (1.39)}$$

Los valores de los coeficientes se conocen para todos los nodos y D se calcula previamente, por lo que las incógnitas de la ecuación (1-40) son las presiones en los nodos $(i-1, j)$, (i, j) y $(i+1, j)$.

Escribiendo estas ecuaciones para todos los nodos de una columna (barrido en x), se forman N_x ecuaciones con N_x incógnitas. Es conveniente de igual manera usar el algoritmo de Thomas y el procedimiento en general, es el mismo que en régimen permanente, con la diferencia que los niveles de tiempo n y $n+1$, corresponden a las iteraciones n y $n+1$.

1.7. ANALISIS DE LA CONVERGENCIA, ESTABILIDAD Y CONSISTENCIA DE LOS ESQUEMAS ADIP y ADEP.

Con el objeto de introducir los conceptos de convergencia, estabilidad y consistencia relacionados con

el proceso de solución de una ecuación diferencial mediante aproximación numérica en diferencias finitas, se deben considerar las relaciones existentes entre la solución verdadera de la ecuación diferencial, la solución exacta de la aproximación numérica y la solución calculada de la aproximación numérica.

Se puede distinguir las siguientes soluciones:

P^* = solución verdadera de la ecuación diferencial.

P = solución verdadera de la ecuación en diferencias finitas.

\bar{P} = solución calculada de la ecuación en diferencias.

En base a estos valores se puede establecer las siguientes definiciones:

Convergencia: Implica que $P \rightarrow P^*$ cuando Δx y Δt tienden a cero.

Estabilidad: Implica que $\bar{P} \rightarrow P$ durante el proceso de solución. Esto requiere que el error introducido ($P - \bar{P}$) en algún punto de la malla durante un determinado nivel de tiempo, disminuya a medida que aumenta el tiempo.

Consistencia: También denominada compatibilidad, se refiere a si la ecuación en diferencias se reduce o no a la ecuación diferencial cuando Δx y $\Delta t \rightarrow 0$.

Así el error total introducido en la aplicación de algún esquema numérico para resolver una ecuación diferencial está dado por:

$$(\text{Error})_i^n = (P_i^{*n} - P_i^n) + (P_i^n - \bar{P}_i^n) \quad (1.42)$$

La convergencia es concerniente con el error $P_i^{*n} - P_i^n$ y la estabilidad es concerniente con el crecimiento del error $P_i^n - \bar{P}_i^n$. La estabilidad es una condición más fuerte que la convergencia en general estabilidad y consistencia implican convergencia.

Análisis de Convergencia: Dado que en la mayoría de los casos prácticos, el valor de la solución verdadera de una ecuación en su forma diferencial no se conoce, la única forma de establecer si un esquema es convergente o no, es mediante la solución numérica para varios valores de los intervalos Δx , Δy y Δt .

Si las soluciones para valores sucesivamente mayores o menores de Δx y Δt tienden hacia un cierto valor constante, dentro de una cierta tolerancia de aproximación, debido a la influencia de errores de redondeo, se puede concluir que el esquema de solución utilizado es convergente.

En los programas de computación de que consta la presente investigación, se han analizado estas posibilidades para los métodos PSOR, ADEP y ADIP, e inclusive existen mensajes de error ante la supuesta posibilidad de que no exista convergencia hacia la solución. El resultado de este análisis es de que los tres métodos cumplen los requerimientos de convergencia y la única diferencia existente está relacionada con los diferentes errores de truncación de cada uno de los procedimientos previamente mencionados.

Análisis de Estabilidad: La estabilidad de nuestros procedimientos (ADIP y ADEP) serán analizados mediante el método de Von Neumann, el mismo que consiste de los siguientes pasos:

1. Expresar la ecuación en diferencias en la forma de Series de Fourier, haciendo las siguientes sustituciones:

$$u_{i,j}^n = \frac{\epsilon^n}{\epsilon} e^{i(r_1 x + r_2 y)}$$

$$u_{i,j}^{n+1} = \frac{\epsilon^{n+1}}{\epsilon} e^{i(r_1 x + r_2 y)}$$

$$u_{i,j+1}^n = \frac{\epsilon^n}{\epsilon} e^{i(r_1 x + r_2 (y + \Delta y))}$$

$$u_{i-1,j}^n = \frac{\epsilon^n}{\epsilon} e^{i(r_1 (x - \Delta x) + r_2 y)}$$

etc.

donde $i = \sqrt{-1}$ y r_1 y r_2 son constantes

2. Obtener de la expresión resultante el factor de amplificación dado por:

$$u = \frac{\epsilon^{n+1}}{\frac{\epsilon^n}{\epsilon}}$$

3. La condición requerida para estabilidad es:

$$|u| \leq 1.0$$

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS PASOS DEL ADEP
DE BARAKAT - CLARK POR VON NEUMANN

Primer Paso

$$\frac{u_{i+1,j}^n - u_{i,j}^n - u_{i,j}^{n+1} + u_{i-1,j}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{u_{i,j+1}^n - u_{i,j}^n - u_{i,j}^{n+1} + u_{i,j-1}^{n+1}}{(\Delta y)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t}$$

Haciendo: $A = \frac{\alpha (\Delta t)}{(\Delta x)^2}$

$B = \frac{\alpha (\Delta t)}{(\Delta y)^2}$

u las sustituciones del método de Von Neumann

$$A \left[\xi^n e^{ir_1(x+\Delta x) + ir_2 y} - \xi^n e^{ir_1 x + ir_2 y} - \xi^{n+1} e^{ir_1 x + ir_2 y} + \xi^{n+1} e^{ir_1(x-\Delta x) + ir_2 y} \right]$$

$$+ B \left[\xi^n e^{ir_1 x + ir_2(y+\Delta y)} - \xi^n e^{ir_1 x + ir_2 y} - \xi^{n+1} e^{ir_1 x + ir_2 y} + \xi^{n+1} e^{ir_1 x + ir_2(y-\Delta y)} \right]$$

$$- \left[\xi^{n+1} e^{ir_1 x + ir_2 y} - \xi^n e^{ir_1 x + ir_2 y} \right]$$

Dividiendo para $e^{ir_1 x + ir_2 y}$

$$A \left[\xi^n e^{ir_1 \Delta x} - \xi^n - \xi^{n+1} + \xi^{n+1} e^{-ir_1 \Delta x} \right] + B \left[\xi^n e^{ir_2 \Delta y} - \xi^n - \xi^{n+1} + \xi^{n+1} e^{-ir_2 \Delta y} \right]$$

$$= \xi^{n+1} - \xi^n$$

Definiendo: $r_1 \Delta x = \theta_x$

$r_1 \Delta y = \theta_y$

$$A \left[\xi^n e^{i\theta x} - \xi^n - \xi^{n+1} + \xi^{n+1} e^{-i\theta x} \right] + B \left[\xi^n e^{i\theta y} - \xi^n - \xi^{n+1} + \xi^{n+1} e^{-i\theta y} \right] = \xi^{n+1} - \xi^n$$

Dividiendo para ξ^n y reemplazando $u = \frac{\xi^{n+1}}{\xi^n}$

$$A(e^{i\theta x} - 1) + Au(e^{-i\theta x} - 1) + B(e^{i\theta y} - 1) + Bu(e^{-i\theta y} - 1) = u - 1$$

$$u \left\{ A(e^{-i\theta x} - 1) + B(e^{-i\theta y} - 1) - 1 \right\} + B(e^{-i\theta y} - 1) - 1 + A(e^{i\theta x} - 1) + B(e^{i\theta y} - 1) + 1 = 0$$

$$u = \frac{A(1 - e^{i\theta x}) + B(1 - e^{i\theta y}) - 1}{A(e^{i\theta x} - 1) + B(e^{-i\theta y} - 1) - 1} \leq 1$$

Pero $e^{+i\theta} = \cos \theta + i \operatorname{Sen} \theta$

$$\frac{A(1 - \cos \theta_x - i \operatorname{Sen} \theta_x) + B(1 - \cos \theta_y - i \operatorname{Sen} \theta_y) - 1}{A(\cos \theta_x - i \operatorname{Sen} \theta_x - 1) + B(\cos \theta_y - i \operatorname{Sen} \theta_y - 1) - 1} \leq 1$$

Puesto que el plano imaginario no nos interesa

$$\frac{A(1 - \cos \theta_x) + B(1 - \cos \theta_y) - 1}{A(\cos \theta_x - 1) + B(\cos \theta_y - 1) - 1} \leq 1$$

Debido a que el denominador es negativo:

$$A(1 - \cos \theta_x) + B(1 - \cos \theta_y) - 1 \geq A(\cos \theta_x - 1) + B(\cos \theta_y - 1) - 1$$

Simplificando términos semejantes:

$$2A + 2B \geq 2A \cos \theta_x + 2B \cos \theta_y$$

$$A + B \geq A \cos \theta_x + B \cos \theta_y$$

$$\frac{a(\Delta t)}{(\Delta x)^2} + \frac{a(\Delta t)}{(\Delta y)^2} \geq \frac{a(\Delta t)}{(\Delta x)^2} \cos \theta_x + \frac{a(\Delta t)}{(\Delta y)^2} \cos \theta_y$$

$$\frac{1}{(\Delta x)^2} + \frac{1}{(\Delta y)^2} - \frac{\cos \theta_x}{(\Delta x)^2} - \frac{\cos \theta_y}{(\Delta y)^2} \geq 0$$

$$\text{Si } \Delta x = \Delta y$$

$$2 - \cos \theta_x - \cos \theta_y \geq 0$$

$$\cos \theta_x + \cos \theta_y \leq 2$$

lo cual se cumplió siempre, por lo que el ADEP en su primer paso es incondicionalmente estable.

Segundo Paso:

$$A[u_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n + u_{i-1,j}^n] + B[u_{i,j+1}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1} + u_{i,j-1}^n] = u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n$$

siguiendo el mismo procedimiento que en el paso 1 tenemos:

$$u = \frac{A [1 - e^{-i\theta x}] + B [1 - e^{-i\theta y}] - 1}{A [e^{i\theta x} - 1] + B [e^{i\theta y} - 1] - 1} \leq 1$$

$$A + B \geq A \cos \theta x + B \cos \theta y$$

Para $\Delta x = \Delta y$

$$\frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} (1 - \cos \theta x) + \frac{\alpha (\Delta t)}{(\Delta x)^2} (1 - \cos \theta y) \geq 0$$

$$\cos \theta x + \cos \theta y \leq 2$$

lo que nos indica que el segundo paso del ADEP es incondicionalmente estable.

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD DE LOS DOS PASOS DEL ADIP POR EL METODO DE VON NEUMANN

En forma simplificada, los dos pasos del ADIP pueden ser

escritos como:

$$\Delta x^2 p^{n+1/2} + \Delta y^2 p^n = \frac{2}{\Delta t} (p^{n+1/2} - p^n) \quad (1.43)$$

$$\Delta x^2 p^{n+1/2} + \Delta y^2 p^{n+1} = \frac{2}{\Delta t} (p^{n+1} - p^{n+1/2}) \quad (1.44)$$

Haciendo las sustituciones Von Neumann:

$$-\xi^{n+1/2} \frac{(2 - 2\cos \theta x)}{(\Delta x)^2} - \xi^n \frac{(2 - 2\cos \theta y)}{(\Delta y)^2} = \frac{2}{\Delta t} (\xi^{n+1/2} - \xi^n) \quad (1.45)$$

$$-\xi^{n+1/2} \frac{(2 - \cos \theta x)}{(\Delta x)^2} - \xi^{n+1} \frac{(2 - 2\cos \theta y)}{(\Delta y)^2} = \frac{2}{\Delta t} (\xi^{n+1} - \xi^{n+1/2}) \quad (1.46)$$

Usando la identidad $2 - 2 \cos x = 4 \operatorname{Sen}^2 \left(\frac{x}{2} \right)$ y dividiendo miembro a miembro las ecuaciones (5-3) y (5-4) tenemos:

$$u = \frac{\left[\frac{2}{\Delta t} - \frac{4 \operatorname{Sen}^2 (\theta y/2)}{(\Delta y)^2} \right] \left[\frac{2}{\Delta t} - \frac{4 \operatorname{Sen}^2 (\theta x/2)}{(\Delta x)^2} \right]}{\left[\frac{2}{\Delta t} + \frac{4 \operatorname{Sen}^2 (\theta y/2)}{(\Delta y)^2} \right] \left[\frac{2}{\Delta t} + \frac{4 \operatorname{Sen}^2 (\theta x/2)}{(\Delta x)^2} \right]} \quad (1.47)$$

El requerimiento para estabilidad del método de Von Neumann es que $|u| \leq 1$, lo cual si es cumplido por la ecuación (1.47) por lo que el ADIP es incondicionalmente estable.

8. ANALISIS DEL ERROR DE TRUNCACION DE LOS METODOS DE ADIP Y ADEP.

El error de truncamiento es el error obtenido al reemplazar una ecuación diferencial por su aproximación en diferencias. La solución exacta de una ecuación en diferencias, difiere de la solución de la ecuación diferencial correspondiente, debido a este error. Matemáticamente puede expresarse como:

$$e_T = (\text{ecuación en forma diferencial}) - (\text{Ecuación en forma de diferencias finitas})$$

Error de truncación para Cada Paso del ADEP: Para encontrar el error para este método estudiaremos la ecuación:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t}$$

Paso (1) de Barakat - Clark :

$$\frac{U_{i+1,j}^n - U_{i,j}^n - U_{i,j}^{n+1} + U_{i-1,j}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{U_{i,j+1}^n - U_{i,j}^n - U_{i,j}^{n+1} + U_{i,j-1}^{n+1}}{(\Delta y)^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^n}{(\Delta t)}$$

Si definimos: $A = \frac{\alpha (\Delta t)}{(\Delta x)^2}$ y $B = \frac{\alpha (\Delta t)}{(\Delta y)^2}$

$$e_T = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t} \right) - \left[A (U_{i+1,j}^n - U_{i,j}^n - U_{i,j}^{n+1} + U_{i-1,j}^{n+1}) + \right.$$

$$\left. B (U_{i,j+1}^n - U_{i,j}^n - U_{i,j}^{n+1} + U_{i,j-1}^{n+1}) - U_{i,j}^{n+1} + U_{i,j}^n \right]$$

Expandiendo por Taylor y simplificando términos semejantes tenemos:

$$e_T = O((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta t))$$

Paso (2) de Barakat - Clark:

$$\frac{U_{i+1,j}^{n+1} - U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^n + U_{i-1,j}^n}{(\Delta x)^2} + \frac{U_{i,j+1}^{n+1} - U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^n + U_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{U_{i,j}^{n+1} - U_{i,j}^n}{(\Delta t)}$$

El error de truncación para el paso (2) puede ser determinado de la misma manera que para el paso (1) y su valor es:

$$e_T = O((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta t))$$

ERROR DE TRUNCACION PARA CADA PASO DEL ADIP

Este análisis de igual manera lo hacemos para la ecuación:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t}$$

Paso (1) del ADIP: Desde $U_{i,j}^n$ a $U_{i,j}^{n+1/2}$

$$e_T = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t} \right) - \left[\frac{U_{i+1,j}^{n+1/2} - 2U_{i,j}^{n+1/2} + U_{i-1,j}^{n+1/2}}{(\Delta x)^2} + \frac{U_{i,j+1}^n - 2U_{i,j}^n + U_{i,j-1}^n}{(\Delta y)^2} - \frac{2}{\alpha (\Delta t)} (U_{i,j}^{n+1/2} - U_{i,j}^n) \right]$$

expandiendo por Taylor y simplificando términos semejantes, obtenemos:

$$e_T = O((\Delta x)^4 + (\Delta y)^4 + (\Delta t)^2)$$

Paso (2) del ADIP: Desde $U_{i,j}^{n+1/2}$ a $U_{i,j}^{n+1}$

$$e_T = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{1}{\alpha} \frac{\partial U}{\partial t} \right) - \left\{ \frac{U_{i+1,j}^{n+1/2} - 2U_{i,j}^{n+1/2} + U_{i-1,j}^{n+1/2}}{(\Delta x)^2} + \right.$$

$$\frac{u_{i,j+1}^{n+1} - 2u_{i,j}^{n+1} + u_{i,j-1}^{n+1}}{(\Delta y)^2} - \frac{2}{\alpha (\Delta t)} (u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^{n+1/2}) \quad]$$

Expandiendo por Taylor y simplificando términos semejantes obtenemos:

$$e_T = O((\Delta x)^4 + (\Delta y)^4 + (\Delta t)^2)$$

1.9. CHEQUEO

En general, existen cuatro fuentes de error en los resultados computados por un modelo numérico. Primero, el modelo mismo es por lo general aproximado, ya que envuelve una serie de suposiciones, las cuales solo son parcialmente válidas. Segundo, la aproximación numérica de las ecuaciones diferenciales introduce un error de truncamiento, es to es, la solución exacta de las ecuaciones en diferencias, difiere de la solución de las ecuaciones diferenciales. Tercero, la solución exacta de las ecuaciones en diferencias, (ecuaciones algebraicas resultantes) no es posible obtener, debido al error de redondeo introducido por el número finito de dígitos con los cuales trabaja el computador. Cuarto, los datos descriptivos del yacimiento rara vez son conoci-

dos con la precisión requerida.

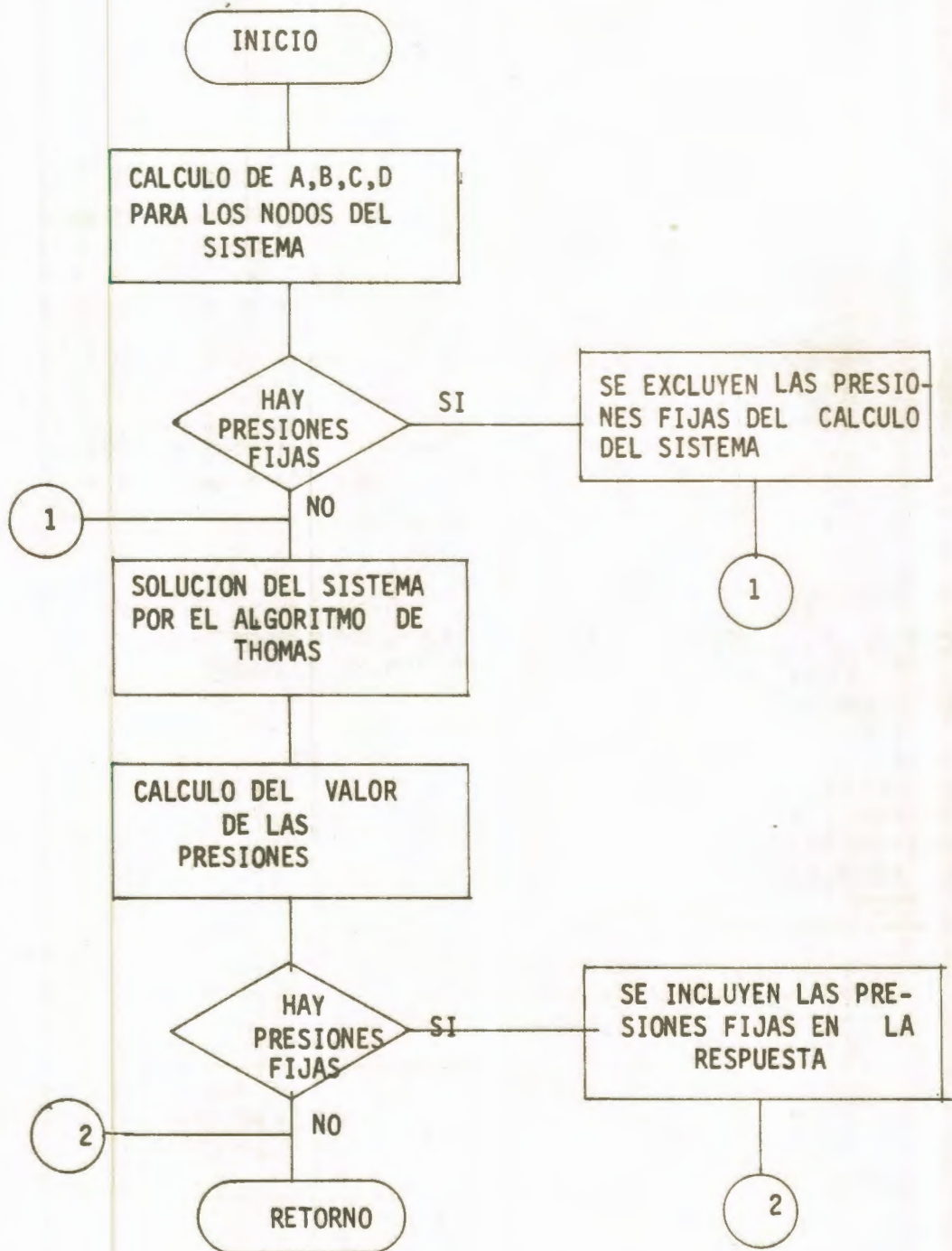
Debido a estos posibles errores, se hace necesario disponer de ciertos chequeos para verificar la validez de la solución obtenida. Estos chequeos son los valores de los residuos de las ecuaciones en diferencias, la tolerancia en la convergencia de presiones y el balance de materiales entre lo que se inyecta y se produce del yacimiento. El error introducido debido a una descripción errada del yacimiento es difícil de obtener, dado que la descripción verdadera de un yacimiento nunca es completamente conocida.

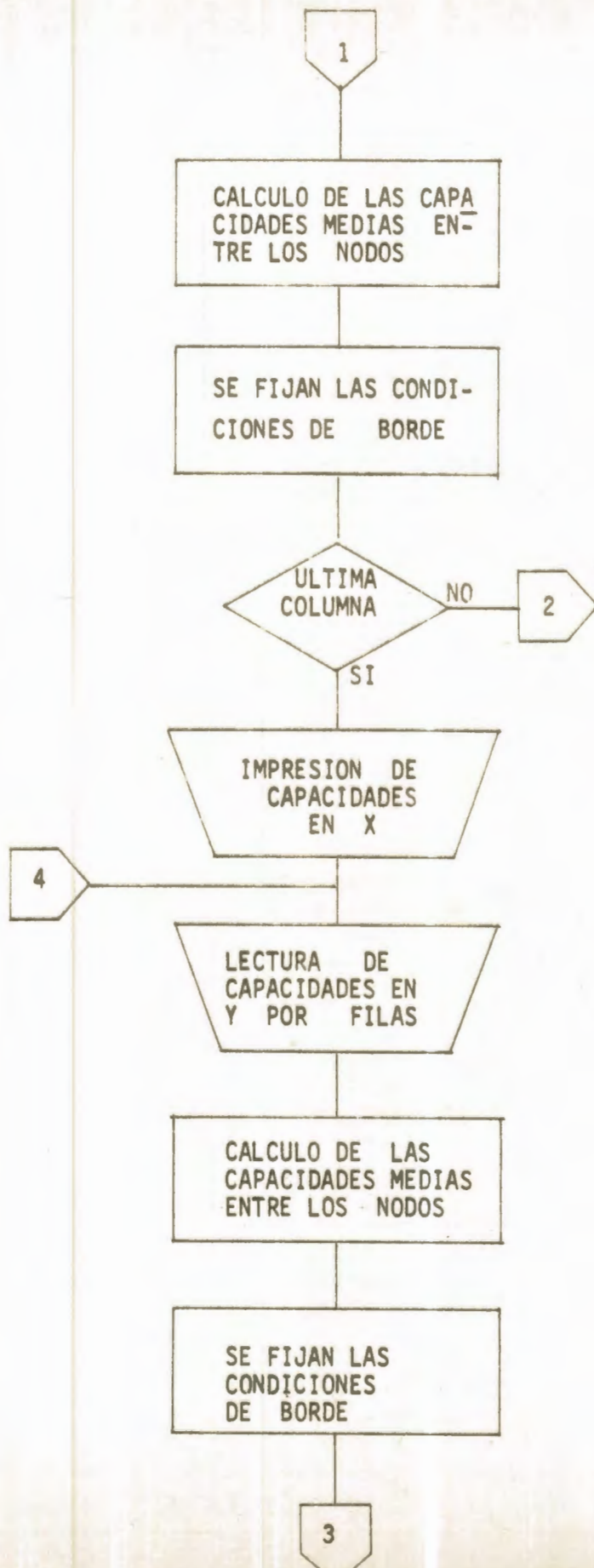
Un chequeo final se establece por comparaciones de los resultados obtenidos por los diferentes métodos.

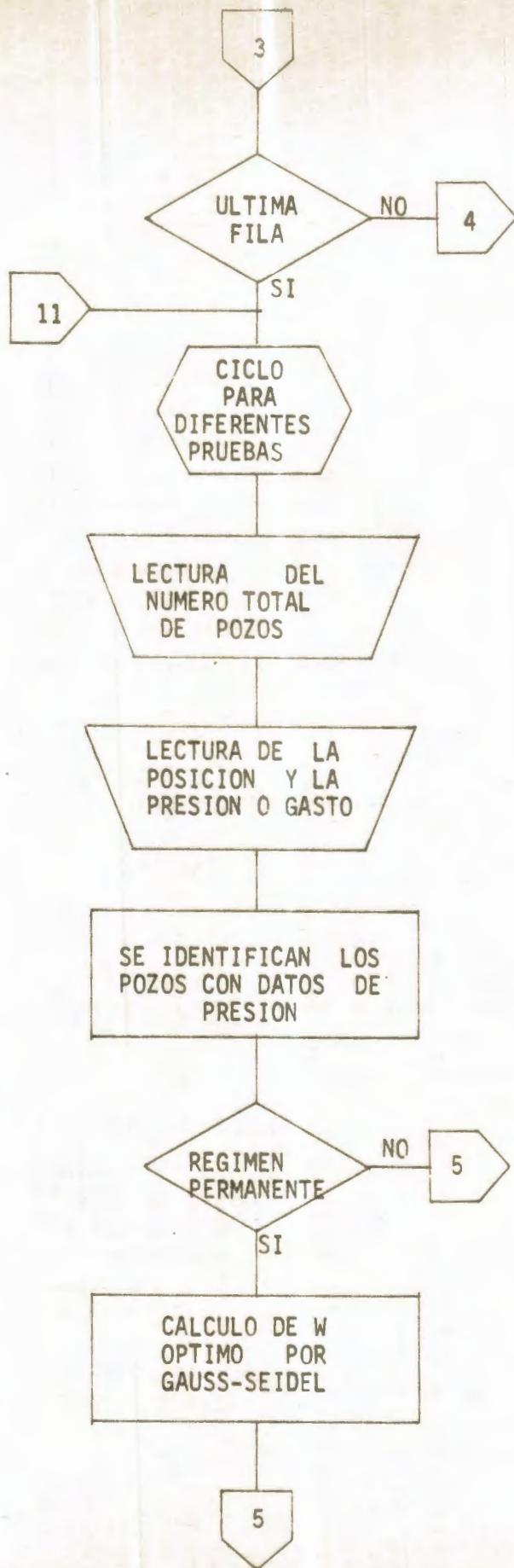
PROCEDIMIENTO EN LOS PROGRAMAS DE COMPUTACION

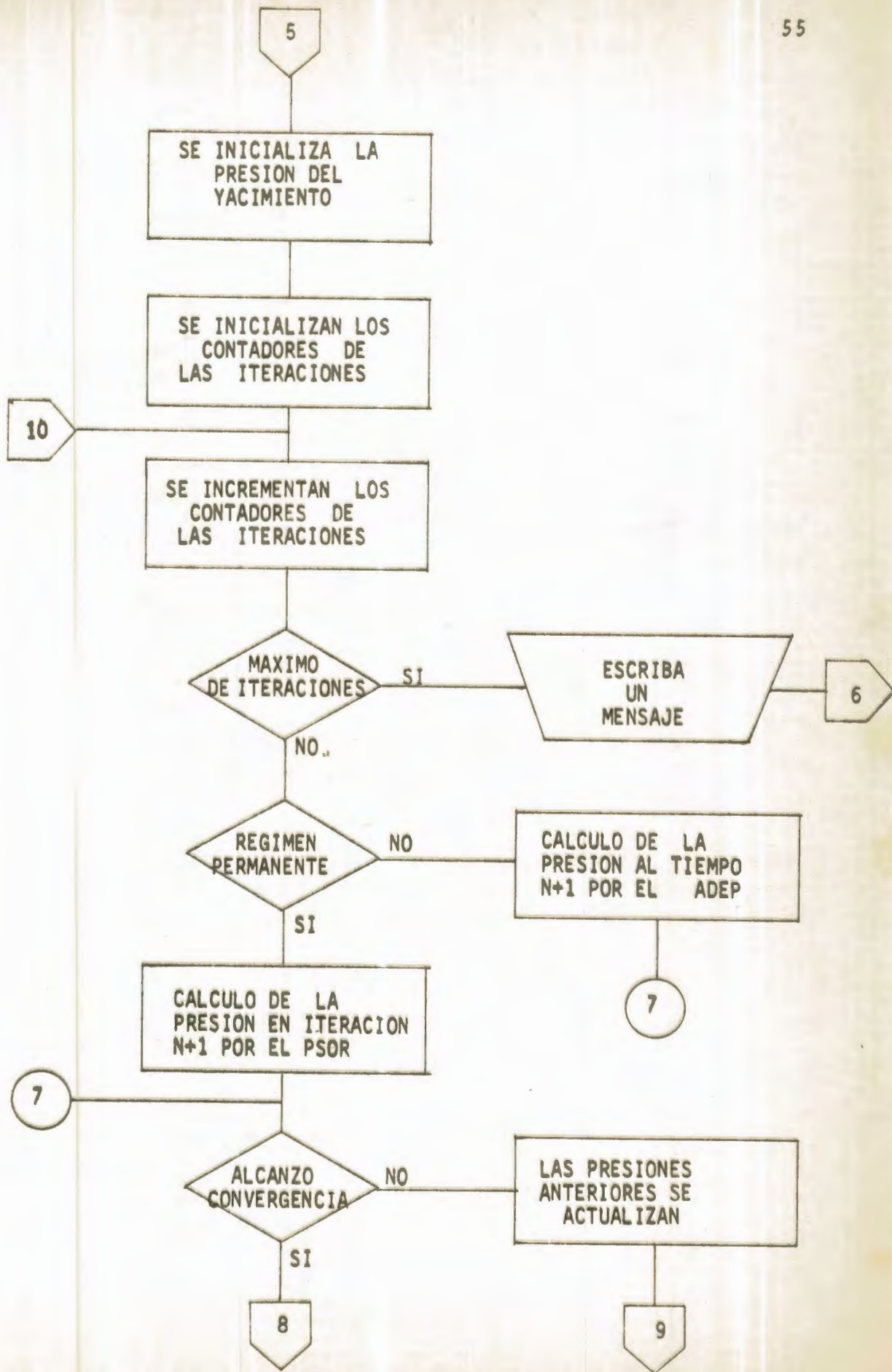
2.1. DIAGRAMAS DE FLUJO

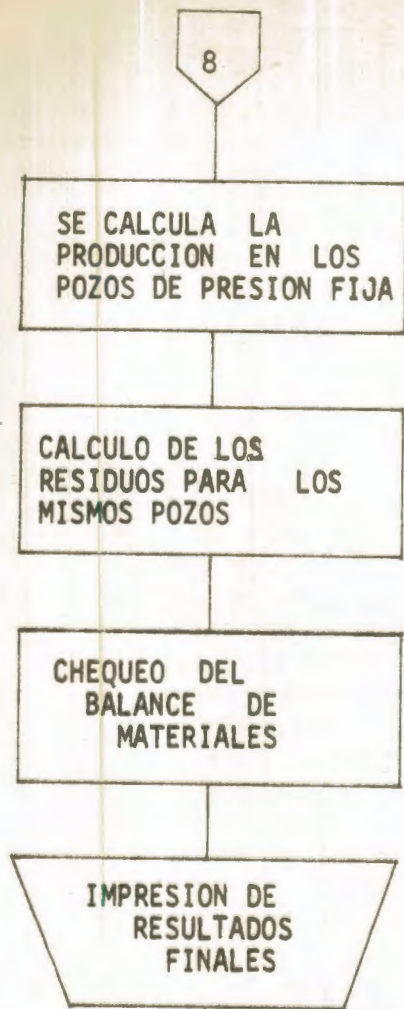
SUBROUTINA ALGOT

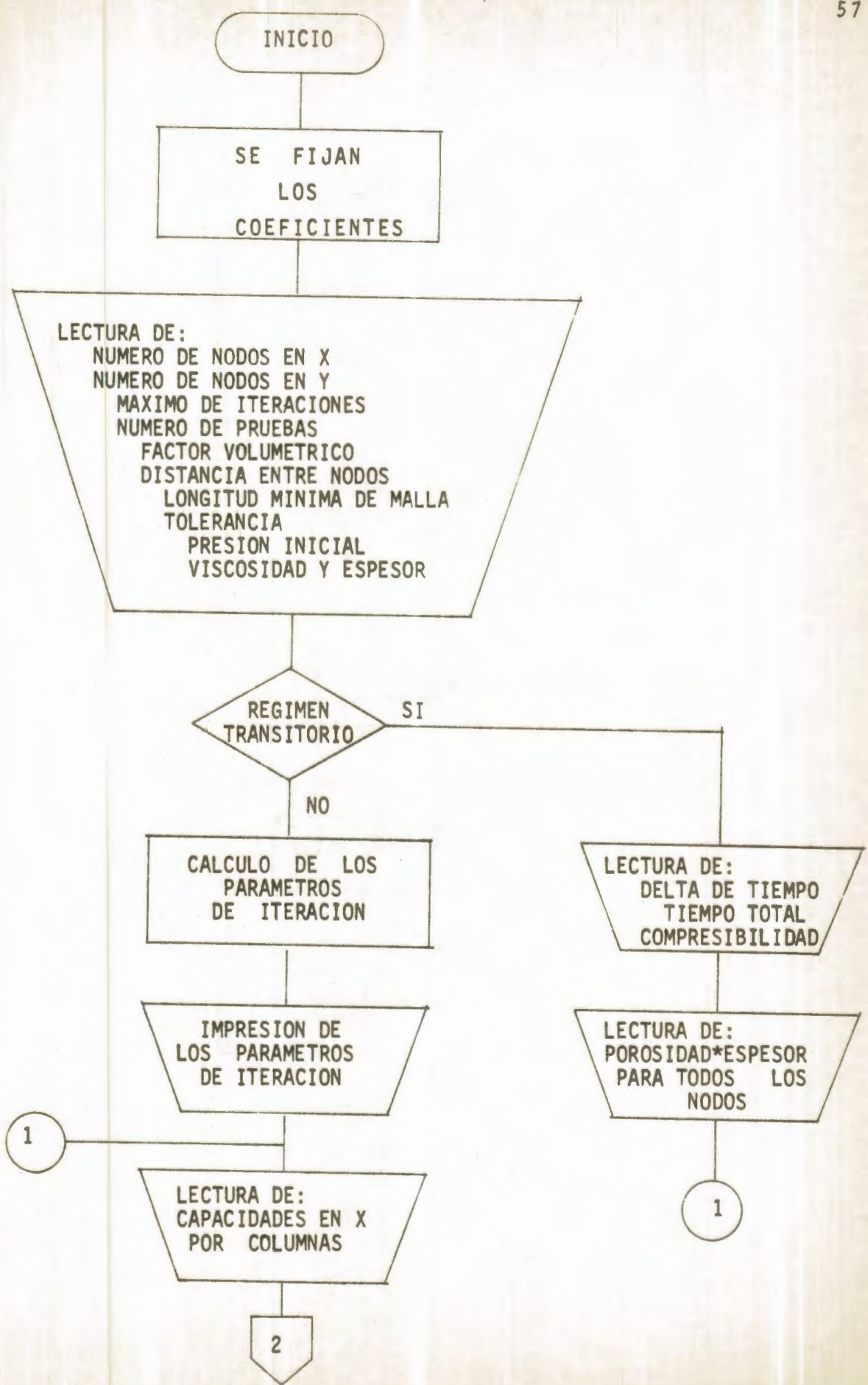


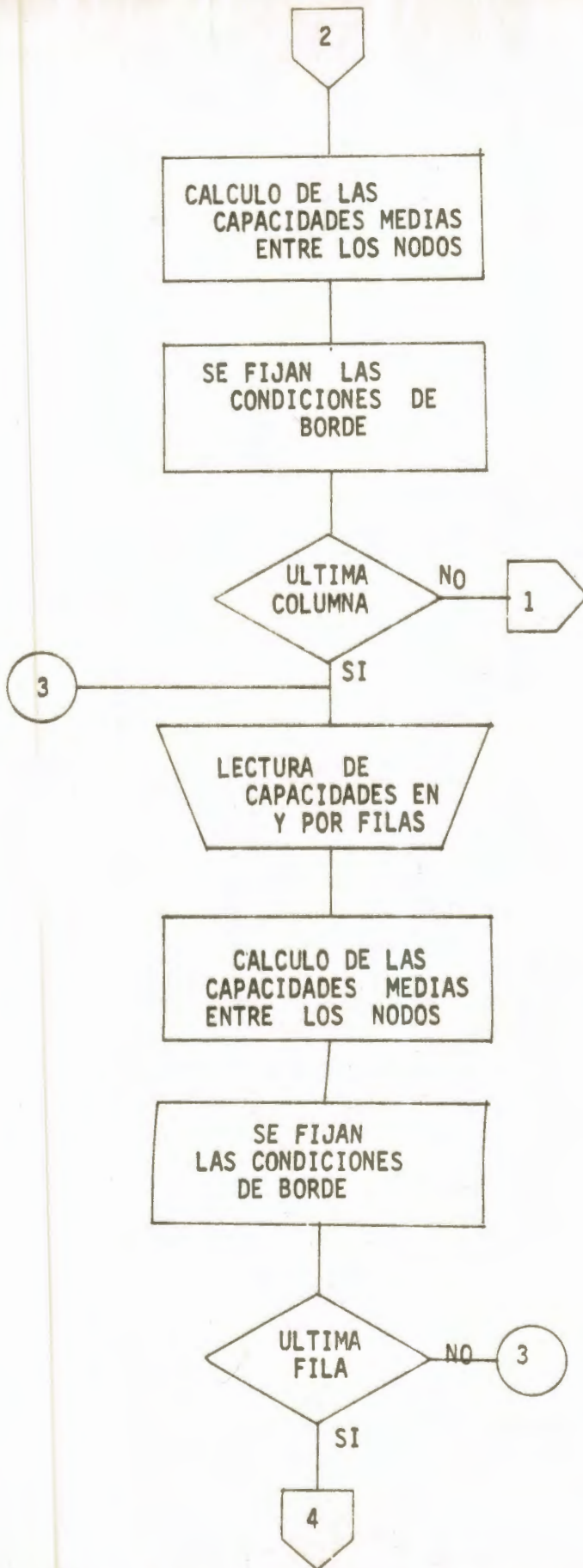












4

CICLO
PARA
DIFERENTES
PRUEBAS

LECTURA DEL
NUMERO
TOTAL DE POZOS

SE INICIALIZA LA
PRESION

LECTURA DE LA
POSICION Y LA
PRESION O GASTO

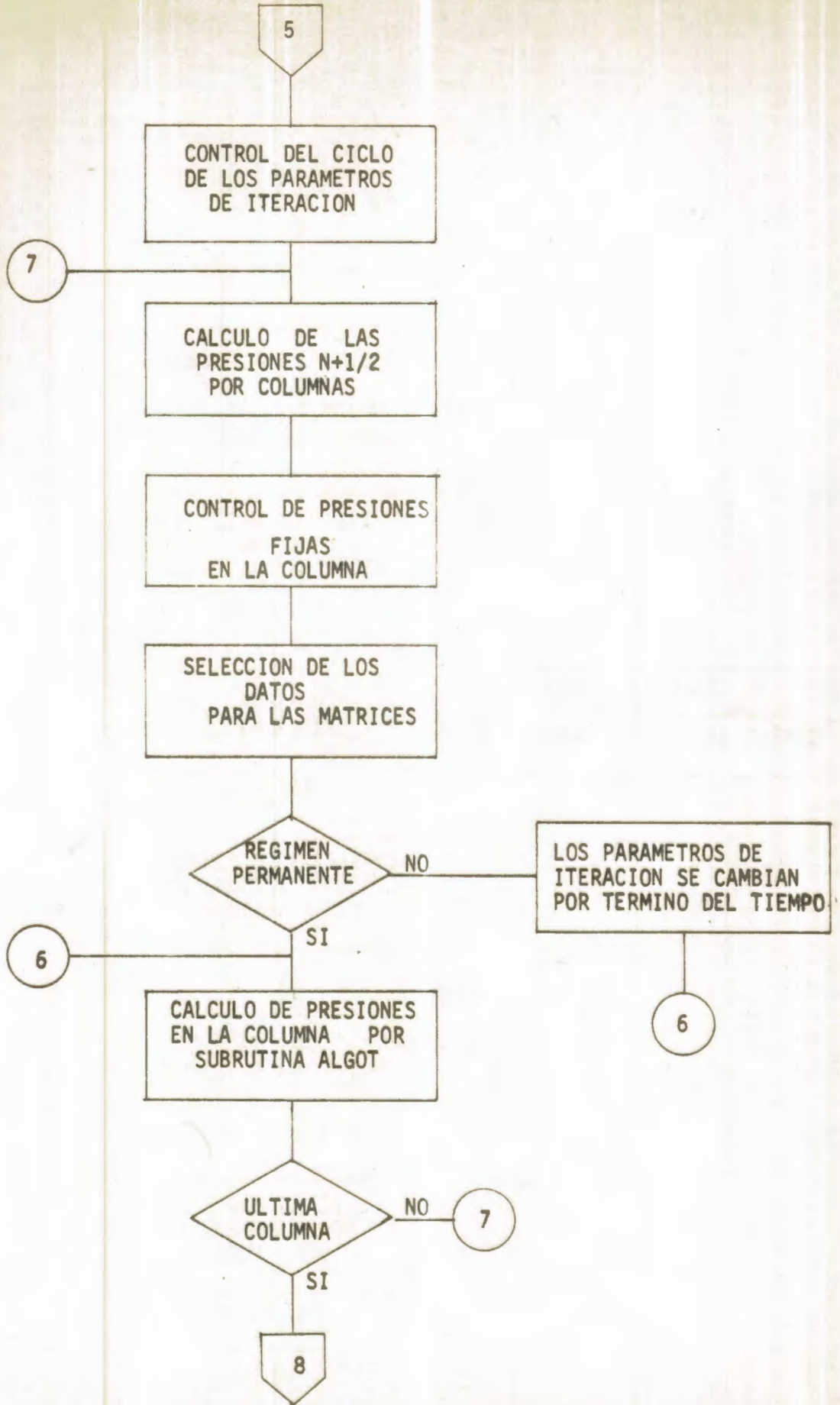
SE IDENTIFICAN LOS
POZOS CON DATOS DE
PRESION

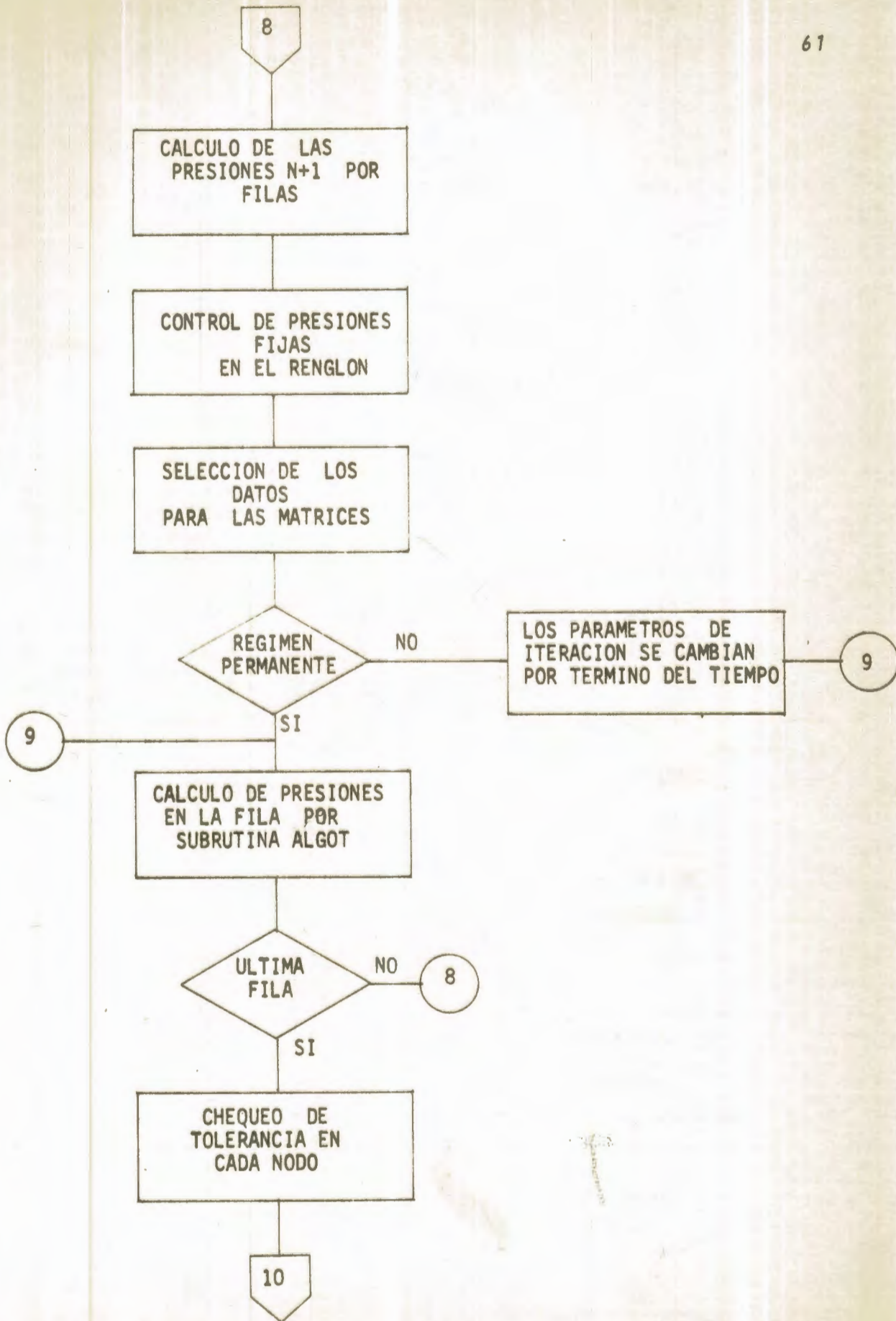
SE INICIALIZAN LOS
CONTADORES DE LAS
ITERACIONES

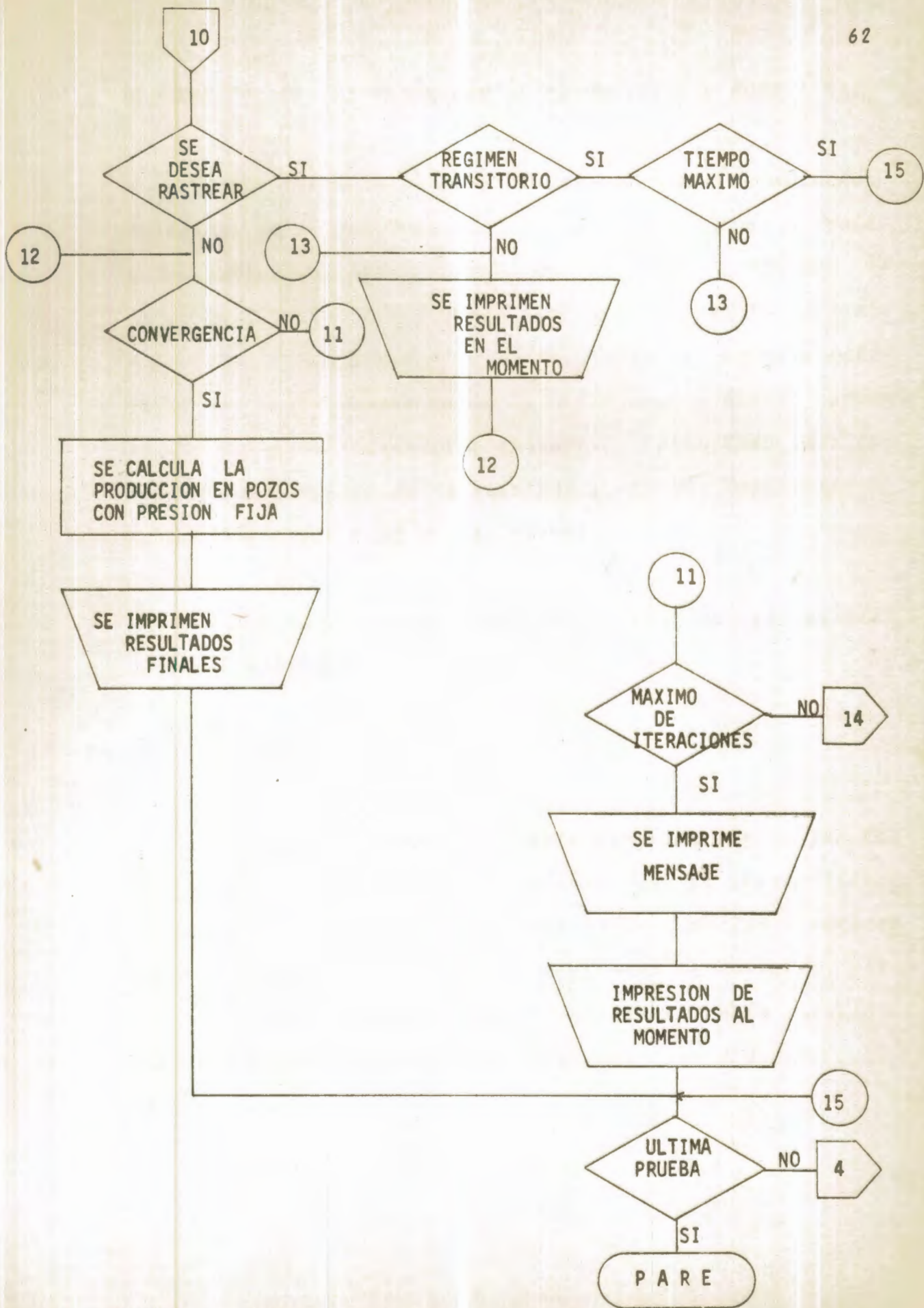
14

SE INCREMENTAN LOS
CONTADORES DE LAS
ITERACIONES

5







2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN Y SUBROUTINAS

Usando las ecuaciones y el procedimiento de solución descritos en el capítulo previo, dos programas principales y dos subrutinas han sido escritos en lenguaje FORTRAN IV para resolver las ecuaciones (1.1) y (1.2) por los diferentes métodos enunciados. El propósito básico de esta multiplicación de esfuerzos es el de obtener un análisis comparativo entre los diferentes esquemas y sobre todo para conseguir una comparación de resultados, lo que implicaría una confiabilidad o no en los mismos.

La siguiente es una breve descripción del procedimiento computacional:

PROGRAMA ISAB:

En la primera sección de este programa, se fijan los coeficientes para el tipo de unidades que se usarán (sistema inglés o métrico); se lee toda la información involucrada con el reservorio, así como el tamaño de la malla, presión inicial y otras constantes necesarias en la solución. Estos datos se imprimen para tener referencia de los mismos.

En la segunda sección se establece si se trata de un problema de flujo continuo o de flujo transitorio. Para este último caso se lee la matriz de porosidades*espesor, la compresibilidad, el incremento de tiempo y el tiempo total de predicción.

En la tercera sección del programa se calculan las capacidades medias entre los nodos tanto en la dirección X - como en la dirección Y y se establece la condición de no flujo en las fronteras del yacimiento haciendo la permeabilidad cero.

En la cuarta sección se realiza el cálculo para los diferentes programas de explotación. El desarrollo para un problema en flujo continuo se efectúa por el método puntual de sobrerelajación sucesiva y para un problema de flujo - transitorio mediante el método explícito de dirección alternante.

En la quinta y última sección se imprimen los resultados de las iteraciones (paso en el tiempo) y se continúa la predicción hasta que se alcanza la convergencia en el caso de flujo continuo o el tiempo máximo en el caso de flujo - transitorio.

PROGRAMA SIMUL

La primera sección es similar a la del programa ISAB.

En la segunda sección se establece si se trata de un problema de flujo continuo o transitorio. En el primer caso se calculan los parámetros de aceleración de convergencia (parámetros de iteración) mediante la Subrutina PARAM y en el segundo caso se leen la matriz de porosidades*espesor, el incremento de tiempo, la compresibilidad y el tiempo total de predicción.

La Tercera sección es similar a la del programa ISAB.

En la cuarta sección se realizan los cálculos para los diferentes programas de explotación. La solución para un problema en flujo continuo se efectúa mediante el ADIP iterativo, método en el que es necesario utilizar el algoritmo de Thomas, que se encuentra desarrollado en la subrutina ALGOT. Para un problema de flujo transitorio la solución es obtenida mediante el ADIP no iterativo.

La quinta y última sección es similar a la del programa ISAB.

DESCRIPCION DE LA ENTRADA Y SALIDA DE LOS
PROGRAMAS ISAB Y SIMUL

Se hará a la vez, tanto para el programa ISAB como para el programa SIMUL, ya que en realidad, lo único que varía es el método de solución, mientras que el objetivo de ambos es el mismo y por lo tanto parten de iguales datos llegando a respuestas muy similares.

ENTRADA: Se hará a través de tarjetas perforadas cuyo orden es el siguiente:

A) Tarjeta 1; tarjeta de títulos

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>FORTRAN</u>	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-60	Clase de régimen (permanente o transitorio). Método a usar (SOR, ADEP, ADIP)	TITUL	10A6

B) Tarjeta 2; Información del yacimiento y de la malla

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	<u>FORTRAN</u>	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-5	Números de nodos en la dirección x	NMX	15
6-10	Número de nodos en la dirección y	NMY	15
11-13	Número máximo de iteraciones	NITE	13
14-15	Número de programas de explotación	NCO	12

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
16-20	Factor volumétrico del petróleo.	BO	F5.2
21-30	Delta X de la malla	DX	F10.2
31-40	Longitud mínima de la malla	XL	F10.2
41-50	Tolerancia permitida	EPSIL	F10.2
51-60	Presión inicial	PI	F10.2
61-70	Viscosidad	MU	F10.2
71-80	Espesor	H	F10.2

C) Tarjeta 3; Datos necesarios solo en régimen transitorio.

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-5	Incremento de tiempo (paso en el tiempo)	DT	F5.0
6-10	Tiempo máximo de predicción	TMAX	F5.0
11-25	Compresibilidad	COMPR	F15.0

D) Tarjetas 4 hasta 3+NMX; Datos necesarios solo en régimen transitorio.

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1 - 80	Porosidad*espesor para cada nodo	FIH(I,J)	10F8.2

E) Tarjetas 4+NMX hasta 3+NMX+NMY: Capacidades del yacimiento en X. (3 hasta 2+NMY)*.

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-80	Arreglo que contiene las capacidades en la dirección X para todos los <u>no</u> dos.	KNODO(I)	10F8.2

F) Tarjetas 4+NMX+NMY hasta 3+2NMX+NMY; capacidades del yacimiento en Y. (3+NMY hasta 2+ NMX+NMY)*

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-80	Arreglo que contiene las capacidades en la dirección Y para todos los <u>no</u> dos.	KNODO(J)	10F8.2

G) Tarjeta 4+2NMX+NMY; Número de pozos (3+NMX+NMY)*.

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-5	Número de pozos <u>productores</u> o <u>inyectores</u>	NPP	I5

H) Tarjetas 5+2NMX+NMY hasta 4+2NMX+NMY+NPP: Datos descriptivos de cada pozo (4+NMX+NMY hasta 3+NMX+NMY+NPP)*.

* Las variaciones en el número de tarjetas para el caso de régimen permanente con respecto al régimen transitorio.

<u>COLUMNAS</u>	<u>DESCRIPCION</u>	FORTRAN	
		<u>VARIABLE</u>	<u>FORMATO</u>
1-5	Número de la fila en la que se encuentra el pozo	I	15
6-10	Número de columna en que se encuentra el pozo.	J	15
11-20	Presión (si se perfora se omite el gasto).	PRE	F10.2
21-30	Gasto (si se perfora se omite la presión)	GASTO	F10.2

Si los programas de explotación (NCO) son más de 1, se repiten los grupos de tarjetas G y H tantas veces como programas de explotación existan.

SALIDA:

La salida se efectúa por la impresora del computador IBM 1130; a través de documentos impresos, en los que al principio de la página se encuentra el título del trabajo y a continuación los caudales de los pozos y la distribución de presiones en el yacimiento a un determinado paso en el tiempo (iteración).

OPCIONES:

Los programas han sido elaborados para un sistema IBM-1130, por lo tanto las opciones que incluyen se controlan por medio de interruptores cuya identificación y objetivos se enumeran a continuación:

- 1 Operar con unidades métricas.
- 2 Trabajar en régimen transitorio
- 3 Imprimir presiones al final de cada iteración

SUBROUTINA PARAM:

Utilizada para calcular los parámetros de iteración del ADIP iterativo. El procedimiento matemático seguido, está descrito en el capítulo previo.

Argumentos de Entrada

- DX = delta X de la malla
 XL = longitud mínima de la malla

Argumentos de Salida:

- NI = número de parámetros de iteración calculados
 GAMA = arreglo que contiene los parámetros de iteración

SUBROUTINA ALGOT:

Utilizada en el ADIP iterativo para calcular la solución de un sistema de ecuaciones tridiagonales utilizando el algoritmo de Thomas. El procedimiento matemático está descrito en el capítulo previo.

Argumentos de entrada:

- ADIP: Número de puntos en la dirección X o Y de la malla
- KHA, KHB, KHC, PREA, PREB, PREC: Son datos necesarios de las matrices para calcular las presiones de la fila o columna según el caso a resolver.
- GAMA: Parámetro de aceleración de convergencia del ADIP iterativo.
- Q: Arreglo que contiene el término de inyección o producción.
- ITE: Número del parámetro de convergencia utilizado.
- IDC: Arreglo que contiene la posición de los pozos con presión fija.
- L: Total de presiones fijas en la fila o columna a resolver.
- ITAL: Indicador que nos permite tratar el problema como régimen transitorio o permanente según tome el valor 1 o 2 respectivamente.

Argumento de Salida:

P: Arreglo que contiene las presiones calculadas.

CAPITULO 3

CARACTERISTICAS DEL YACIMIENTO ANALIZADO

3.1. DATOS DESCRIPTIVOS DEL YACIMIENTO Y DE LA MALLA

Una representación gráfica que muestra los datos descriptivos del yacimiento y de la malla se muestra en la fig. 1. Los valores allí dados, son los que van a servir de base, para las diversas variaciones que se establezcan con el fin de analizar el efecto que causa en los métodos y en el yacimiento en sí, cambios en la viscosidad del petróleo, factor de tolerancia, dimensiones de la malla, presión inicial del yacimiento, caudal de inyección, presión en los pozos productores y número de pozos en el yacimiento. Los datos que se emplean son hipotéticos, aunque los valores numéricos utilizados son los que se pueden esperar en la práctica.

Los datos necesarios para operar el modelo numérico - forman cinco matrices correspondiendo cada uno de sus elementos a los puntos de la malla. Estas matrices son: capacidad en la dirección X, capacidad en la dirección Y, gastos de los pozos y dos para presiones. La forma de estas matrices se muestra en la figura 2.

3.2. CONDICIONES INICIALES Y DE FRONTERA

La solución de las ecuaciones de flujo requiere de la especificación de condiciones iniciales y de frontera en la región de interés.

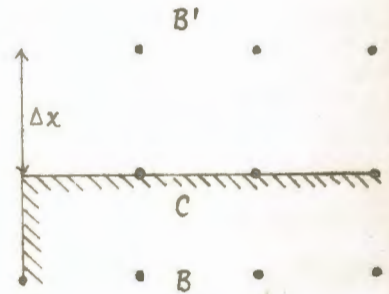
Cuando se trata de un problema de flujo en régimen transitorio, para obtener su solución se necesitan condiciones iniciales y de frontera (en régimen permanente la condición inicial puede variar). En los problemas propuestos que consisten en calcular la distribución de presión a diferentes tiempos de explotación, la condición inicial es la presión inicial del yacimiento y los resultados que se obtienen por variaciones de la misma se muestran en las tablas (4 - 1), (4-2) y (4-3).

Si se conoce la presión y/o las primeras derivadas espaciales de la misma, en determinadas regiones de un yacimiento, para todo valor del tiempo, a estas se les llama condiciones de frontera. El caso más simple es aquel en el cual se conoce la presión en la frontera, pero es muy poco frecuente en yacimientos. Otro caso es aquel en el que se especifica el valor de la primera derivada normal en la frontera. En la mayor parte de los problemas de yacimientos se

emplea la condición de no flujo (primera derivada normal igual a cero), que se puede simular en dos formas:

a. Mediante nodos de reflexión (método de reflexión)

Considérese la figura de la derecha. Para simular la condición cero flujo a través - del nodo C, mediante este método se coloca el nodo de reflexión B' fuera de la malla con igual valor de presión - que B.



Así:

$$\left. \frac{\partial P}{\partial X} \right|_C = \frac{P_{B'} - P_B}{2 \Delta X} = 0$$

b. Haciendo cero la permeabilidad (método de cero permeabilidad).

Se ha encontrado que la segunda forma es la más práctica y es la que se utilizará en el desarrollo de los problemas planteados. Su uso es muy sencillo y consiste en hacer cero el valor de la permeabilidad para todos aquellos nodos que se encuentren en las fronteras del yacimiento.

CAPITULO 4

DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de empezar a discutir específicamente los resultados obtenidos por cada método, para las diversas variaciones que se establecen, conviene aclarar que existe una diferencia básica entre resolver la ecuación que define el flujo en régimen permanente de una fase en dos dimensiones y la ecuación que gobierna el mismo proceso en régimen transitorio. Esta diferencia consiste en que, el primer caso establece iteraciones que no nos dan una idea de lo que ocurre en el yacimiento hasta que se alcanza el estado continuo, mientras que en el segundo estas iteraciones representan pasos en el tiempo que a partir de condiciones iniciales valederas, podemos llegar a conocer el comportamiento del yacimiento hasta alcanzar el mencionado estado continuo.

Con este preámbulo se pueden precisar comparaciones justas por un lado entre el ADIP iterativo y el PSOR, los mismos que en este trabajo resuelven la ecuación (1-1) (ecuación en régimen permanente) y por otro lado el ADIP no iterativo

junto al ADEP que dan solución a la ecuación (1-2) (Ecuación en régimen transitorio).

El término "comparación justa" se emplea por cuanto los dos primeros métodos son muy rápidos en su ejecución, mientras que los dos últimos son más lentos, pero en cambio nos exponen lo que ocurre en el yacimiento en el tiempo que transcurren hasta que se consigue el estado continuo. Es decir que, si se quieren únicamente conocer los resultados al momento de la convergencia (estado continuo) se utilizaría el ADIP iterativo o el PSOR, pero si nos interesa saber lo que ocurre hasta llegar a ese punto usaríamos el ADIP no iterativo o el ADEP.

En los problemas formulados, el tiempo promedio por iteración para cada una de estas técnicas es el siguiente:

PSOR	=	3.33 segundos
ADIP iterativo	=	3.48 segundos
ADEP	=	2.78 segundos
ADIP no iterativo	=	4.63 segundos

A pesar de la aparente ventaja del ADEP sobre el ADIP no iterativo, para resolver problemas de flujo

en régimen transitorio, debe tenerse presente el efecto que ocasiona el Δt sobre cada uno de estos métodos (error de truncación - Cap. 1), ya que a medida que el intervalo de tiempo entre dos iteraciones sucesivas se incrementa, los resultados del ADEP son menos válidos, mientras que los del ADIP continúan satisfactorios para un rango de variación de valores de Δt mucho mayor.

Restricciones para cada uno de estos procedimientos y ventajas de unos sobre otros en aplicaciones particulares - veremos en los siguientes párrafos. Las comparaciones se harán analizando el efecto de las diversas variaciones, al problema planteado en la figura (1), en el número de iteraciones, tiempo de ejecución, balance de materiales y distribución de presiones obtenidos por cada uno de los métodos.

4.2. EFECTO DE LA VISCOSIDAD DEL PETROLEO

Los datos y resultados del problema propuesto se muestran en las tablas 1-1, 1-2 y 1-3; en las cuales la viscosidad toma valores de 2.0, 5.0 y 15.0 centipoises respectivamente.

De los resultados allí expuestos podemos sacar en con-

clusión que:

- a) La viscosidad no afecta al número de iteraciones para lograr convergencia tanto en el PSOR (27 iteraciones) como en el ADIP iterativo (25 iteraciones).

Para los valores de viscosidad analizados, el ADEP alcanza convergencia en 79, 176 y 450 iteraciones (días) y el ADIP no iterativo en 76, 173 y 440 iteraciones (días).

El número de iteraciones en el ADEP y ADIP no iterativo debiera de ser exactamente igual ya que representa el número de días para alcanzar el estado continuo ($t = día$) sin embargo, la similitud de los resultados nos permite esperar el estado continuo en estos tiempos, para valores de viscosidad de 2.0, 5.0 y 15.0 centipoises (cps) y los datos del yacimiento de la Figura 1.

- b) Los tiempos totales de ejecución en cada uno de los métodos para las variaciones de viscosidad (2.0, 5.0 y 15.0 cps.) fueron los siguientes:

PSOR	=	90, 90, 90 segundos
ADIP iterativo	=	87, 87, 87 segundos
ADEP	=	210, 490, 1240 segundos
ADIP no iterativo	=	355, 801, 2027 segundos

Hay una ligera ventaja en el tiempo de ejecución del ADIP iterativo sobre el PSOR y aún mayor en favor del ADEP sobre el ADIP no iterativo.

- c) Los caudales obtenidos en los pozos productores son casi los mismos para los tres valores de viscosidad, es decir que la misma no afecta la distribución del flujo en el yacimiento. El balance de materiales en los tres casos para cada uno de los métodos es chequeado con los siguientes porcentajes de error (%):

PSOR	= 0.0001%, 0.000042%, -0.0001%
ADIP iterativo	= 0.0007%, 0.0002%, 0.0%
ADEP	= 0.0162%, 0.0203%, 0.0219%
ADIP no iterativo	= 0.0186%, 0.0200%, 0.0219%

- d) Como es de esperarse la distribución de presiones al momento del estado continuo es mayor, cuando mayor es la viscosidad del petróleo; si el petróleo es más pesado la presión de inyección debe ser mayor y eso se refleja claramente en los resultados expuestos en las tablas 1-1, 1-2, 1-3. A este respecto los cuatro métodos coinciden en valores casi iguales de presión para cada uno de los nodos de la malla que representa el yacimiento.

81

Entre el PSOR y el ADIP iterativo la diferencia máxima es de 0.01 Lpc en muy pocos nodos, mientras que en la gran mayoría los valores son exactamente iguales.

De igual manera ocurre entre el ADEP y ADIP no iterativo.

La diferencia entre los valores de presión de las dos primeras técnicas iterativas con respecto a las segundas, alcanza un máximo de diferencia en muy pocos nodos de 0.05 Lpc. con una diferencia promedio de 0.01 Lpc.

De los valores anotados anteriormente se deduce que en todos estos métodos existe una buena convergencia, es decir que la solución verdadera de la ecuación en diferencia tiende a la solución verdadera de la ecuación diferencial cuando Δx y Δt tienden a cero.

4.3. EFECTO DEL FACTOR DE TOLERANCIA

Los resultados se muestran en las tablas 2-1, 2-2 y 2-3. La conclusión es lógica y consiste en que mientras menor es el valor de la tolerancia, los resultados son más

exactos, per en cambio el número de iteraciones incrementa.

De los resultados mostrados podemos anotar que para valores de tolerancia de 0.1, 0.01 y 0.001 se obtiene que:

- a) El PSOR converge en 23, 27 y 30 iteraciones.
 El ADIP iterativo en 19, 25 y 27 iteraciones.
 El ADEP en 135, 176 y 217 iteraciones (días)
 y el ADIP no iterativo en 132, 173 y 213 iteraciones (días).
- b) Los tiempos de ejecución fueron:

PSOR	= 84, 90, 95 segundos.
ADIP iterativo	= 67, 87, 94 segundos.
ADEP	= 375, 490, 600 segundos.
ADIP no iterativo	= 610, 801, 987 segundos.

A medida que la tolerancia se hace más exigente el PSOR se hace más ventajoso y sus tiempos acortan diferencias con respecto al ADIP iterativo. Entre el ADEP y el ADIP no iterativo la ventaja se mantiene en igual proporción en favor del ADEP.

c. Mientras mas fuerte es la exigencia en la tolerancia los gastos obtenidos en los pozos productores son más exactos y por lo tanto el balance de materiales tiene un error porcentual menor, que es el siguiente:

PSOR = 0.0015%, 0.000042%, -0.0001%

ADIP iterativo = 0.0198%, 0.0002%, 0.0003%

ADEP = 0.2125%, 0.0203%, 0.0019%

ADIP no iterativo = 0.2134%, 0.0200%, 0.0020%

d. Igual consideración de exactitud puede hacerse en cuanto a la distribución de presiones en el yacimiento aunque es de anotar que a medida que la tolerancia es más estricta los valores de presión se estabilizan, pues mientras para una tolerancia de 0.01 Lpc. existe una diferencia promedia de 0.02 Lpc. con respecto a una tolerancia de 0.1, esta diferencia prácticamente ya no existe cuando la tolerancia toma valores de 0.01 y 0.001.

Los resultados expuestos en las tablas 2-1, 2-2, y 2-3 también nos muestran que todos los métodos llegan a similares soluciones con variaciones que se pueden estimar como negligibles.

4.4. EFECTO DE LAS DIMENSIONES DE LA MALLA:

Los resultados se muestran en las tablas (3-1), (3-2) y (3-3) en las que Delta X de la malla toma valores de 300, 600 y 1200 pies; de los resultados expuestos podemos concluir que:

- a. La longitud entre nodos (ΔX) no afecta al PSOR y ADIP iterativo en la solución de la ecuación (1-1), en la misma que puesta en diferencias finitas y asumiendo $\Delta X = \Delta Y$ anula este parámetro.

En cuanto al ADEP y ADIP no iterativo se obtiene que - mientras mayor es ΔX , mayor es el número de iteraciones (días) que necesitan para alcanzar el estado continuo.

ADEP = 51, 176 y 600 iteraciones (días)

ADIP no iterativo = 49, 173, 590 iteraciones (días)

a medida que aumenta ΔX , también aumenta la diferencia entre el ADEP y el ADIP no iterativo por efecto del valor diferente del error de truncación para cada uno de estos métodos. Vale anotar que las respuestas del ADIP no iterativo van a ser más exactas debido a su menor error de truncación.

b. Los tiempos durante el proceso fueron:

ADEP = 80, 490, 1665 segundos

ADIP no iterativo = 227, 801, 2731 segundos.

La ventaja del ADEP en tiempo se mantiene, pero se pierde en exactitud.

c. El balance de materiales muestra los siguientes porcentajes de error para los tres valores de Δx :

PSOR = 0.000042%, 0.000042%, 0.000042%

ADIP iterativo = 0.0002%, 0.0002%, 0.0002%

ADEP = 0.0032%, 0.0203%, 0.0879%

ADIP no iterativo = 0.0039%, 0.0200%, 0.0883%

d. En cuanto a la distribución de presiones podemos indicar que mientras mayor es Δx sus resultados se vuelven menos exactos, teniendo en cuenta que el efecto es más pronunciado en el ADEP con respecto al ADIP, lo cual puede ser observado en las tablas (3-1), (3-2) y (3-3) en el valor del tiempo para alcanzar la convergencia.

4.5. EFECTO DE LA PRESION INICIAL DEL YACIMIENTO

Este efecto tiene mucho que ver con la distribución produ

medio de presiones que se obtenga en la convergencia pues mientras la presión inicial esté más cerca de este valor, menos serán las iteraciones (el número de días en caso de regimen transitorio) que necesite cada uno de los métodos.

En las tablas (4-1), (4-2) y (4-3) podemos observar los resultados para variaciones de la presión inicial de 1000, 2000 y 3000 Lpc y a través de ellas podemos ánotar:

- a. El PSOR en 24, 26 y 30 iteraciones logra convergencia.
 El ADIP iterativo converge en 20, 21 y 25 iteraciones.
 El ADEP en 135, 165 y 176 iteraciones (días).
 El ADIP no iterativo en 125, 161 y 173 iteraciones.

- b. Los tiempos de ejecución fueron:

PSOR	= 85.5, 88, 90 segundos
ADIP iterativo	= 70, 73, 87 segundos
ADEP	= 375, 470, 490 segundos
ADIP no iterativo	= 579, 748, 801 segundos

La ventaja del ADIP iterativo sobre el PSOR se incrementa mientras la presión inicial (asumida) está más cerca de la presión de convergencia.

c. El balance de materiales presenta los siguientes errores porcentuales (%) para los tres valores de presión inicial (1000, 2000 y 3000 Lpc).

PSOR = 0.0000%, -0.000042%, 0.000042%

ADIP iterativo = -0.0032%, -0.0090%, 0.0002%

ADEP = 0.0207%, 0.0208%, 0.0203%

ADIP no iterativo = 0.0204%, 0.0213%, 0.0200%

d. La distribución de presiones prácticamente no es afectada por el valor de la presión inicial, manteniéndose las mismas diferencias entre cada método, enunciadas en el inciso (4.2.d).

4.6. EFECTO DEL CAUDAL DE INYECCION

Los resultados se muestran en las tablas (5-1), (5-2) y (5-3). Para variaciones de Q inyección de 300, 600 y 1200 BPD para cada uno de los cuatro pozos inyectoras, se puede observar que:

- a) EL PSOR en 27, 27, 27 iteraciones logra convergencia.
EL ADIP iterativo en 25, 25, 25 iteraciones
EL ADEP en 177, 176 y 173 iteraciones (días)

El ADIP no iterativo en 174, 173 y 170 iteraciones (días)

b. Los tiempos de proceso fueron:

PSOR	= 90, 90, 90 segundos
ADIP iterativo	= 87, 87, 87 segundos
ADEP	= 493, 490, 482 segundos
ADIP no iterativo	= 815, 801, 787 segundos

c. El balance de materiales muestra los siguientes porcentajes de error (%):

PSOR	= 0.00%, 0.000042%, 0.00%
ADIP iterativo	= 0.0004%, 0.0002%, 0.0001%
ADEP	= 0.0406%, 0.0203%, 0.0105%
ADIP no iterativo	= 0.045%, 0.0200%, 0.0102%

d. La distribución de presiones es mayor, mientras mayor es el caudal de inyección y las diferencias entre los valores de cada método son las mismas que las enunciadas en el inciso (4.2.d).

Vale anotar que a medida que aumenta el caudal de inyección, menor es el tiempo que transcurre para alcanzar el estado continuo, pero este efecto es mínimo y su influencia pasa casi desapercibida.

4.7. EFECTO DE LAS PRESIONES FIJAS

Las soluciones se pueden observar en las tablas (6-1), (6-2) y (6-3) para variantes en las presiones fijadas a los pozos productores de 300, 500 y 1000 Lpc.

Del análisis de estos resultados observamos:

- a. El PSOR en 27, 27, 27 iteraciones logra convergencia,
 El ADIP iterativo en 25, 25, 25 iteraciones
 El ADEP en 177, 176 y 171 iteraciones (días)
 El ADIP no iterativo en 174, 173 y 167 iteraciones (días)

- b. Los tiempos de proceso fueron:

PSOR	= 90, 90, 90 segundos.
ADIP Iterativo	= 87, 87, 87 segundos
ADEP	= 493, 490, 476 segundos
ADIP no iterativo	= 805, 801, 775 segundos

- c. El balance de materiales muestra los siguientes errores porcentuales (%) para las variaciones indicadas (P fija = 300, 500. y 1000 Lpc).

PSOR	= 0.000042%, 0.000042%, 0.000%
ADIP iterativo	= 0.0002%, 0.0002%, 0.0002%

ADEP = 0.0208%, 0.0203%, 0.0208%

ADIP no iterativo = 0.0209%, 0.0200%, 0.0209%

- d) La distribución de presiones en el estado continuo incrementa con el aumento del valor de la presión fija en los pozos productores, pero este aumento lo muestran en igual proporción todos los métodos por lo que se mantienen las diferencias enunciadas en el inciso (4.2d)

Conviene manifestar que es mayor el tiempo que transcurre para alcanzar el estado continuo si mayor es el valor de las presiones fijas, pero ese aumento en este caso tampoco es muy significativo.

4.8. EFECTO DEL NUMERO DE POZOS EN EL YACIMIENTO

Los resultados se encuentran en las tablas (7-1), (7-2), (7-3) y (7-4) en las cuales el número de pozos tomados en dos, cuatro, seis y ocho respectivamente.

Las siguientes observaciones se pueden enunciar:

- a) El número de iteraciones en cada método por lo general es mayor mientras menor es el número de pozos en el yacimiento y la solución para el caso de dos, cuatro, seis y ocho pozos es encontrada luego de:

PSOR = 103, 32, 30, 27 iteraciones.
 ADIP iterativo = 69, 26, 20 y 25 iteraciones.
 ADEP = 538, 244, 195 y 176 iteraciones
 (días).

ADIP no iterativo = 535, 242, 191 y 173 iteraciones
 (días).

b) Los tiempos de iteración fueron:

PSOR = 330, 100, 95, 90 segundos
 ADIP iterativo = 241, 91, 105, 87 segundos
 ADEP = 1495, 682, 543, 490 segundos
 ADIP no iterativo = 2475, 1120, 885, 801 segundos

c) El balance de materiales nos da los siguientes porcentajes de error (%):

PSOR = 0.017%, 0.0020%, 0.0005%, 0.000042%
 ADIP iterativo = 0.0368%, 0.0063%, 0.0002%, 0.0002%
 ADEP = 0.1848%, 0.0958%, 0.0549%, 0.0203%
 ADIP no iterativo = 0.1860%, 0.095%, 0.0573%, 0.0200 %

d) La distribución de presiones muestra valores diferentes dependiendo del número de pozos en el yacimiento. Mientras menor es el número de pozos, mayor es la diferencia entre los valores obtenidos por uno u otro método. A pe-

sar de estas variaciones, las mismas se encuentran dentro del rango de lo aceptable.

Con respecto al tiempo que transcurre para hallar la distribución de presiones del estado continuo, podemos decir que es menor mientras mayor es el número de pozos, de acuerdo con los resultados del ADEP y ADIP no iterativo.

CONCLUSIONES

Las consideraciones que se enuncian a continuación, es tán basadas en la discusión de resultados del capítulo 4 y en las características que gobiernan el uso de cada una de las técnicas numéricas aquí analizadas.

1. Para la totalidad de los problemas resueltos, podemos in dicar, que por los cuatro métodos se obtuvieron soluciones satisfactorias.
2. El valor que tome $W_{\text{óptimo}}$ es fundamental en el PSOR.
3. El valor de los parámetros de iteración es fundamental en el ADIP iterativo.
4. Para $W_{\text{óptimo}}$ aproximado (cálculo hecho a partir del radio espectral estimado, de la matriz de Gauss Seidel), el ADIP iterativo es más eficiente que el PSOR.
5. Para el verdadero valor de $W_{\text{óptimo}}$ (calculado mediante el radio espectral real), el PSOR en este tipo de ecuaciones es más conveniente que el ADIP iterativo.
6. El PSOR chequea balance de materiales con mucha más pre cisión que los otros métodos.

7. Para valores de ΔX y Δt pequeños, el ADEP es más conveniente que el ADIP no iterativo por:
 - Menor esfuerzo computacional
 - Más fácil aplicación.
8. Para valores de ΔX y Δt grandes, es mejor usar el ADIP no iterativo debido a que el error de truncación hace que los resultados del ADEP no sean válidos.
9. El balance de materiales es chequeado en porcentajes bien similares por el ADEP y ADIP no iterativo

RECOMENDACIONES

1. Hacer una investigación de los parámetros de aceleración de convergencia, debido a la gran influencia de los mis mos, en la rapidez de los métodos.
2. Aplicar cualquiera de los procedimientos, dentro de las condiciones en las que mejor trabaja, a valores reales de un yacimiento, siempre y cuando éste se ajuste a las limitaciones impuestas por el uso de las ecuaciones (1-1) o (1-2).
3. Extender el empleo de los métodos a otras ecuaciones de flujo (dos fases, dos dimensiones; dos fases, tres dimensiones; etc.) y chequear la eficiencia de cada uno de ellos en esas condiciones.
4. Incrementar la rapidez y exactitud de los resultados mediante el uso de mejores sistemas de computación que el IBM 1130.
5. Investigar la eficiencia de otras técnicas numéricas para simulación de yacimientos y compararlas con las aquí descritas.

6. Formar un equipo de investigación que estudie y lleve a delante, la mayor cantidad de proyectos de análisis del comportamiento de los yacimientos petrolíferos mediante el uso de la simulación numérica.

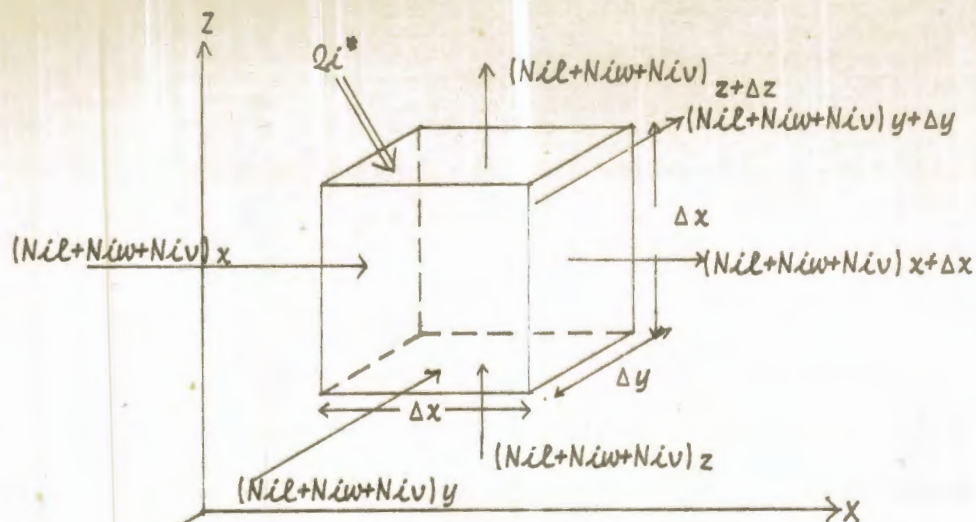
APENDICE A

SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE BALANCE DE MATERIALES

A.1. DERIVACION DE LAS ECUACIONES DE FLUJO PARA TRES FASES Y TRES DIMENSIONES.

La descripción matemática del flujo de fluidos en medios porosos, puede obtenerse a partir del principio de conservación de la masa, de la ecuación de Darcy y de las ecuaciones de estado apropiadas. El principio de conservación de la masa puede aplicarse a cada una de las fases, considerando su composición constante, o desde un punto de vista composicional, aplicada a la conservación de la masa de cada uno de los componentes que constituyen las fases fluyendo en el medio poroso.

Considérese el flujo de tres fases, dos líquidas (l, w) y una gaseosa (v); cada una con n componentes en su composición, fluyendo simultáneamente a través de un elemento de volumen localizado en el punto (x, y, z) de un medio poroso de dimensiones $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ en las direcciones X, Y, Z respectivamente.



Supóngase también que una cantidad del componente "i" está siendo inyectada al elemento de volumen a una tasa Q_i^* moles/día por pie^3 de volumen del elemento.

Procedimiento: Desarrollar el balance molar, considerando un elemento unidad de un medio poroso, a través del cual fluyen las tres fases (l, w, v), en las tres direcciones (x, y, z).

Notación: N_{il} , N_{iw} , N_{iv} = Rata de flujo del componente i en la fase líquida y en la fase gaseosa (v) en moles/día.

Q^*_i = Rata de inyección del elemento i en moles/día/
pie³.

Definición del Flujo molar:

- N_{il} = Flujo molar del componente (i) en la fase líquida (l) y es igual a la rata de flujo molar por unidad de área (moles/día-pie²).
- N_{iw} = Flujo molar del componente (i) en la fase líquida (w) en (moles/día-pie²).
- N_{iv} = Flujo molar del componente (i) en la fase gaseosa (v) en (moles/día-pie²).
- S_l = Saturación fraccional de la fase líquida (l) en el elemento.
- S_w = Saturación fraccional de la fase líquida (w) en el elemento.
- S_v = Saturación fraccional de la fase gaseosa (v) en el elemento.
- C_{il} = Concentración del componente (i) en la fase líquida (l).
- C_{iw} = Concentración del componente (i) en la fase líquida (w).
- C_{iv} = Concentración del componente (i) en la fase vapor (v).

$\Delta x \Delta y \Delta z (\phi) = \text{Volumen poroso del elemento}$

$\Delta x \Delta y \Delta z (\phi) \left[(C_{il} S_l)_t + (C_{iw} S_w)_t + (C_{iv} S_v)_t \right] = \text{moles totales del componente (i) al tiempo (t) en el elemento poroso.}$

$\Delta x \Delta y \Delta z (\phi) \left[(C_{il} S_l)_{t+\Delta t} + (C_{iw} S_w)_{t+\Delta t} + (C_{iv} S_v)_{t+\Delta t} \right] = \text{moles totales - del componente (i) al tiempo (t+\Delta t) en el elemento poroso.}$

BALANCE MOLAR:

$\left[\text{Moles que entran en el elemento poroso} \right] - \left[\text{moles que salen del elemento poroso} \right] = \left[\text{moles acumulados en el elemento poroso} \right]$

$\left[(N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_x \Delta t + (N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_y \Delta t + (N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_z \Delta t + Q_i^* \Delta x \Delta y \Delta z \Delta t \right]$

$- \left[(N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_{x+\Delta x} \Delta t + (N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_{y+\Delta y} \Delta t + (N_{il} + N_{iw} + N_{iv})_{z+\Delta z} \Delta t \right] =$

$\Delta x \Delta y \Delta z (\phi) \left[\left[(C_{il} S_l)_{t+\Delta t} + (C_{iw} S_w)_{t+\Delta t} + (C_{iv} S_v)_{t+\Delta t} \right] - \right.$

$\left. \left[(C_{il} S_l)_t + (C_{iw} S_w)_t + (C_{iv} S_v)_t \right] \right]$

(A-1)

teniendo en cuenta que:

$(N_{il})_x$, $(N_{il})_y$, $(N_{il})_z$ representan las tasas de flujo molares del componente i en las direcciones x , y , z .

tenemos que:

$$(N_{il})_x = n_{il} \Delta y \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{il})_y = n_{il} \Delta x \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{il})_z = n_{il} \Delta x \Delta y \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{iw})_x = n_{iw} \Delta y \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{iw})_y = n_{iw} \Delta x \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{iw})_z = n_{iw} \Delta x \Delta y \quad (\text{moles/día})$$

(A-2)

$$(N_{iv})_x = n_{iv} \Delta y \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{iv})_y = n_{iv} \Delta x \Delta z \quad (\text{moles/día})$$

$$(N_{iv})_z = n_{iv} \Delta x \Delta y \quad (\text{moles/día})$$

Reemplazando (A-2) en (A-1) y dividiendo para $\Delta x \Delta y \Delta z$ resulta:

$$-\frac{[(n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_{x+\Delta x} - (n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_x]}{\Delta x} \frac{[(n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_{y+\Delta y} - (n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_y]}{\Delta y} - \frac{[(n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_{z+\Delta z} - (n_{il} + n_{iw} + n_{iv})_z]}{\Delta z} + Q_i =$$

$$\frac{\phi}{\Delta t} \left[(C_{il} S_l)_{t+\Delta t} + (C_{iw} S_w)_{t+\Delta t} + (C_{iv} S_v)_{t+\Delta t} - (C_{il} S_l + C_{iw} S_w + C_{iv} S_v) \right]_t \quad (\text{A-3})$$

tomando el límite cuando Δx , Δy , Δz y Δt tienden a cero se obtienen:

$$-\frac{\partial}{\partial x} (n_{il} + N_{iw} + n_{iv}) - \frac{\partial}{\partial y} (n_{il} + n_{iw} + n_{iv}) - \frac{\partial}{\partial z} (n_{il} + n_{iw} + n_{iv}) +$$

$$Q^*_i = \phi \frac{\partial}{\partial t} (C_{il} S_l + C_{iw} S_w + C_{iv} S_v) \quad (A-4)$$

La ecuación anterior expresa matemáticamente la conservación de la masa del componente "i" en el sistema, las tasas de flujo molares por unidad de área n_{il} , n_{iw} , n_{iv} , pueden expresarse en función de las fracciones molares x_{il} , x_{iw} y x_{iv} , del componente "i" en cada una de las fases; de las velocidades volumétricas U_l , U_w , U_v de cada fase; de las concentraciones molares de las fases en el sistema.

$$C_{il} U_l = n_{il} = x_{il} C_l U_l$$

$$C_{iw} U_w = n_{iw} = x_{iw} C_w U_w \quad (A-5)$$

$$C_{iv} U_v = n_{iv} = x_{iv} C_v U_v$$

Donde las concentraciones C_l , C_w y C_v pueden expresarse como el cociente de la densidad de cada fase por su peso molecular respectivo.

Reemplazando C_l , C_w y C_v por ρ_l/M_l , ρ_w/M_w y ρ_v/M_v res-

pectivamente en las ecuaciones (A-5) y sustituyendo en la ecuación (A-4) se tiene:

$$\begin{aligned}
 & - \frac{\partial}{\partial x} \left[X_{il} \frac{\rho_l}{M_l} u_{lx} + X_{iw} \frac{\rho_w}{M_w} u_{wx} + X_{iv} \frac{\rho_v}{M_v} u_{vx} \right] \\
 & - \frac{\partial}{\partial y} \left[X_{il} \frac{\rho_l}{M_l} u_{ly} + X_{iw} \frac{\rho_w}{M_w} u_{wy} + X_{iv} \frac{\rho_v}{M_v} u_{vy} \right] \\
 & - \frac{\partial}{\partial z} \left[X_{il} \frac{\rho_l}{M_l} u_{lz} + X_{iw} \frac{\rho_w}{M_w} u_{wz} + X_{iv} \frac{\rho_v}{M_v} u_{vz} \right] \\
 & + Q^* i = \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(X_{il} \frac{\rho_l}{M_l} s_l + X_{iw} \frac{\rho_w}{M_w} s_w + X_{iv} \frac{\rho_v}{M_v} s_v \right) \right] \quad (A-6)
 \end{aligned}$$

Las velocidades volumétricas de flujo de cada una de las fases, en cada una de las direcciones, pueden expresarse por la ecuación de Darcy, así se tiene:

$$u_{fs} = - \frac{K_s K_{rf}}{\mu_f} \frac{\partial P_f}{\partial s} \quad (A-7)$$

Donde f se refiere a l , w , v y s se refiere a x , y , z respectivamente.

Así sustituyendo la ecuación (A-7) en la ecuación (A-6) resulta:

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial}{\partial x} \left(X_{il} \frac{\rho l}{Ml} \frac{K_x K_{rl}}{\mu l} \frac{\partial P_l}{\partial x} + X_{iw} \frac{\rho w}{Mw} \frac{K_x K_{rw}}{\mu w} \frac{\partial P_w}{\partial x} + X_{iv} \frac{\rho v}{Mv} \frac{K_x K_{rv}}{\mu v} \frac{\partial P_v}{\partial x} \right) \\
& + \frac{\partial}{\partial y} \left(X_{il} \frac{\rho l}{Ml} \frac{K_y K_{rl}}{\mu l} \frac{\partial P_l}{\partial y} + X_{iw} \frac{\rho w}{Mw} \frac{K_y K_{rw}}{\mu w} \frac{\partial P_w}{\partial y} + X_{iv} \frac{\rho v}{Mv} \frac{K_y K_{rv}}{\mu v} \frac{\partial P_v}{\partial y} \right) \\
& + \frac{\partial}{\partial z} \left(X_{il} \frac{\rho l}{Ml} \frac{K_z K_{rl}}{\mu l} \frac{\partial P_l}{\partial z} + X_{iw} \frac{\rho w}{Mw} \frac{K_z K_{rw}}{\mu w} \frac{\partial P_w}{\partial z} + X_{iv} \frac{\rho v}{Mv} \frac{K_z K_{rv}}{\mu v} \frac{\partial P_v}{\partial z} \right) \\
& + \frac{Q^* l}{5.615} = \frac{1}{5.615} \frac{\partial}{\partial t} \left[\phi \left(X_{il} \frac{\rho l S_l}{Ml} + X_{iw} \frac{\rho w S_w}{Mw} + X_{iv} \frac{\rho v S_v}{Mv} \right) \right] \quad (A-8)
\end{aligned}$$

Donde el factor 5.615 ha sido introducido para balancear las unidades, las cuales son:

densidades en lbs/pie³

peso molecular en lbs/mol

viscosidad en centipoises

permeabilidades absolutas en 1.127 Darcy

permeabilidades relativas en fracción

distancias en pies

presiones en Lpc.

Saturaciones, fracciones molares y porosidades en fracción,
tasa de inyección en moles/día-pie³ de volumen - tiempo en días.

Las incógnitas de la ecuación (A-8) son:

$X_{1l}, X_{2l}, X_{3l}, \dots, X_{nl}$	n
$X_{1w}, X_{2w}, X_{3w}, \dots, X_{nw}$	n
$X_{1v}, X_{2v}, X_{3v}, \dots, X_{nv}$	n
P_l, P_w, P_v	3
S_l, S_w, S_v	<u>3</u>
Total de incógnitas para n componentes	$3n+6$

Las ecuaciones disponibles para la solución son:

Ecuación (A-8) aplicada a cada componente "i" ——— n

Constante de equilibrio	$K_{il-w} = X_{il}/X_{iw}$	
para cada componente entre	$K_{il-v} = X_{il}/X_{iv}$	$2n$
cada dos fases	$K_{iv-w} = X_{iv}/X_{iw}$	

Sumatoria de las fracciones molares de cada componente.	$\sum_{i=1}^n X_{il} = 1$	
	$\sum_{i=1}^n X_{iw} = 1$	3
	$\sum_{i=1}^n X_{iv} = 1$	

Sumatoria de las saturaciones

$$\text{de las fases: } S_l + S_w + S_v = 1.0$$

1

Presiones capilares en el sistema, $P_{cl-w} = P_l - P_w$

2

asumiendo el agua como fase mojante $P_{cv-l} = P_v - P_l$

Total de ecuaciones: $3n+6$

Como se observa se tienen tantas ecuaciones como incógnitas, por lo tanto la solución de la ecuación (A-8) es posible, sin embargo la cantidad de datos requeridos es de tal magnitud que prácticamente su uso es muy limitado en la forma composicional como fue presentada.

El uso de la ecuación (A-8) radica en que a partir de ella pueden obtenerse las ecuaciones para todos los casos prácticos de flujo de fluidos que ocurren en yacimientos de petróleo y gas.

Deduciremos a partir de esa ecuación la del flujo de una sola fase incompresible y la de una sola fase ligeramente compresible que necesitamos en el presente trabajo.

A.2. FLUJO DE UNA SOLA FASE INCOMPRESIBLE

Considérese una fase líquida, compuesta de un solo

componente, con propiedades promedias ρ_l y M_l , las cuales son constantes. En este caso las fracciones molares X_{il} , X_{iv} y X_{iv} son 1.0, 0.0 y 0.0 respectivamente. $S_l = 1.0$ y por lo tanto $K_{rl} = 1.0$. Bajo estas condiciones y considerando ϕ constante, la ecuación (A-8) se reduce a:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K_{xh}}{\mu_l} \frac{\partial P_l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{K_{yh}}{\mu_l} \frac{\partial P_l}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K_{zh}}{\mu_l} \frac{\partial P_l}{\partial z} \right) + \frac{\beta_l q_l}{\Delta x \Delta y} = 0 \quad (A-9)$$

donde Q^*i ha sido reemplazado por $\left(\frac{q_l \beta_l \rho_l / M_l}{\Delta x \Delta y h} \right) * 5.615$.

Se ha incorporado el espesor h como variable y se han cancelado ρ_l y M_l por ser constantes.

El q_l de la ecuación (A-9) viene en BPD y β_l en BV/BN.

En este caso las condiciones de yacimiento y las condiciones normales solo difieren debido a efecto de temperatura, ya que la presión no influye por ser fluido incompresible.

Considerando μ constante, dos dimensiones y suprimiendo el subíndice l ya que se trata de una fase tendremos:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xh} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yh} \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{q \mu \beta}{(\Delta x) (\Delta y)} = 0 \quad (A-10)$$

A.3. FLUJO DE UNA SOLA FASE LIGERAMENTE COMPRESIBLE

Se dice que una fase es ligeramente compresible cuando su cambio de volumen con presión es pequeño y la compresibilidad se considera independiente de la presión.

En este caso se tiene que X_{il} , X_{iw} y X_{iv} son 1.0, 0.0 y 0.0 respectivamente.

$$S_l = 1.0 \text{ y por lo tanto } K_{rl} = 1.0$$

ϕ se considera constante y M_l igual a una constante ya que no existen cambios de composición en la fase fluyendo.

Reemplazando estas condiciones en la ecuación (A-8) se tiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{K_x}{\mu_l} \rho_l \frac{\partial P_l}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{K_y}{\mu_l} \rho_l \frac{\partial P_l}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K_z}{\mu_l} \rho_l \frac{\partial P_l}{\partial z} \right) + \frac{Q^*}{5.615} = \frac{\phi}{5.615} \frac{\partial \rho_l}{\partial t} \quad (A-11)$$

Para un fluido ligeramente compresible

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = c_p \frac{\partial P}{\partial t}$$

y suprimiendo el subíndice l , considerando $\mu = \text{constante}$, 2 dimensiones, reemplazando $Q^* = \left(\frac{q_l B_l \rho_l / M_l}{\Delta x \Delta y h} \right) * 5.615$ e incor

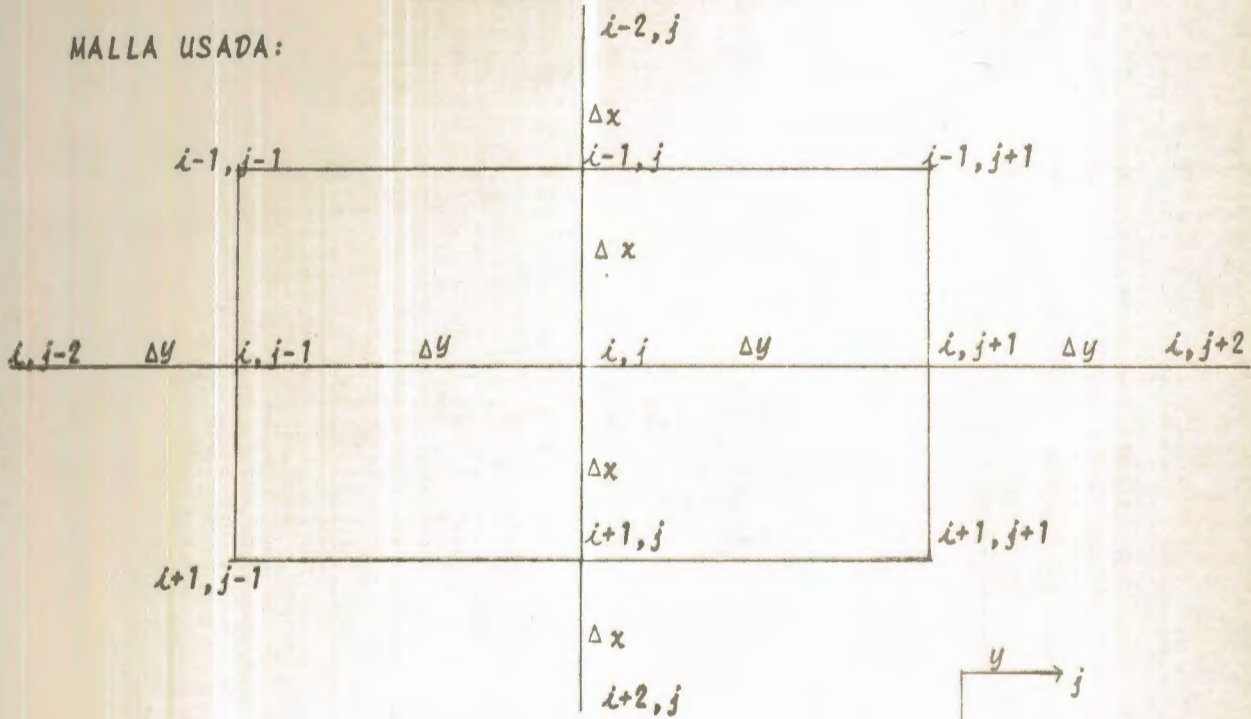
porando la variación del espesor tendremos:

$$\frac{\partial (K_x h \frac{\partial P}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial (K_y h \frac{\partial P}{\partial y})}{\partial y} + \frac{q \mu B}{(\Delta x)(\Delta y)} = \frac{\phi \mu c h}{5.615} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (A-12)$$

ALGUNOS ESQUEMAS DE DIFERENCIAS FINITAS

COMUNMENTE USADOS

MALLA USADA:



$$\begin{aligned}
 1. \frac{\partial b}{\partial x} \Big|_{i,j} &= \frac{b_{i+1,j} - b_{i,j}}{\Delta x} + O(\Delta x) \\
 &= \frac{b_{i,j} - b_{i-1,j}}{\Delta x} + O(\Delta x) \\
 &= \frac{b_{i+1,j} - b_{i-1,j}}{2 \Delta x} + O((\Delta x)^2) \\
 &= \frac{b_{i+1,j+1} - b_{i-1,j+1} + b_{i+1,j-1} - b_{i-1,j-1}}{4 \Delta x} \\
 &\quad + O((\Delta x)^2) \\
 &= \frac{-b_{i+2,j} + 4b_{i+1,j} - 3b_{i,j}}{2 \Delta x} + O((\Delta x)^2)
 \end{aligned}$$



$$4. \left. \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right|_{i,j} = \frac{\delta_{i,j+1} - 2\delta_{i,j} + \delta_{i,j-1}}{(\Delta y)^2} + O((\Delta y)^2)$$

$$= \frac{1}{12(\Delta y)^2} (-\delta_{i,j+2} + 16\delta_{i,j+1} - 30\delta_{i,j} + 16\delta_{i,j-1} - \delta_{i,j-2}) + O((\Delta y)^4)$$

$$= \frac{1}{3(\Delta y)^2} (\delta_{i+1,j+1} - 2\delta_{i+1,j} + \delta_{i+1,j-1} + \delta_{i,j+1} - 2\delta_{i,j} + \delta_{i,j-1} + \delta_{i-1,j+1} - 2\delta_{i-1,j} + \delta_{i-1,j-1}) + O((\Delta y)^4)$$

$$5. \left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \right) \Big|_{i,j} = \frac{1}{6h^2} (\delta_{i+1,j+1} + 4\delta_{i,j+1} + \delta_{i-1,j+1} + 4\delta_{i+1,j} - 20\delta_{i,j} + 4\delta_{i-1,j} + \delta_{i+1,j-1} + 4\delta_{i,j-1} + \delta_{i-1,j-1}) + O(h^4),$$

donde $h = \Delta x = \Delta y$.

$$6. \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \right|_{i,j} = \frac{\delta_{i+1,j+1} - \delta_{i+1,j-1} - \delta_{i-1,j+1} + \delta_{i-1,j-1}}{4\Delta x \Delta y} + O((\Delta x)^2)$$

$$7. \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} = \frac{1}{\Delta x^4} (\delta_{i+2,j} - 4\delta_{i+1,j} + 6\delta_{i,j} - 4\delta_{i-1,j} + \delta_{i-2,j}) + O((\Delta x)^2)$$



$$8. \frac{\partial^4 f}{\partial y^4} \Big|_{i,j} = \frac{1}{\Delta y^4} (\delta_{i,j+2} - 4\delta_{i,j+1} + 6\delta_{i,j} - 4\delta_{i,j-1} + \delta_{i,j-2}) + O(|\Delta y|^2)$$



$$9. \frac{\partial^4 f}{\Delta x^2 \Delta y^2} \Big|_{i,j} = \frac{1}{\Delta x^2 \Delta y^2} (\delta_{i+1,j+1} + \delta_{i-1,j+1} + \delta_{i+1,j-1} + \delta_{i-1,j-1} - 2\delta_{i+1,j} - 2\delta_{i-1,j} - 2\delta_{i,j+1} - 2\delta_{i,j-1} + 4\delta_{i,j}) + O(|\Delta x|^2)$$



$$10. \frac{\partial}{\partial x} [a(x,y) \frac{\partial f}{\partial x}] = \frac{1}{\Delta x^2} [a_{i+1/2,j} (\delta_{i+1,j} - \delta_{i,j}) - a_{i-1/2,j} (\delta_{i,j} - \delta_{i-1,j})]$$



$$11. \frac{\partial}{\partial y} [a(x,y) \frac{\partial f}{\partial y}] = \frac{1}{\Delta y^2} [a_{i,j+1/2} (\delta_{i,j+1} - \delta_{i,j}) - a_{i,j-1/2} (\delta_{i,j} - \delta_{i,j-1})]$$



APENDICE C

DEDUCCION DE LAS FORMULAS DEL ALGORITMO DE THOMAS PARA RESOLVER UN SISTEMA TRIDIAGONAL DE ECUACIONES LINEALES

Consideremos un sistema tridiagonal de 3 ecuaciones lineales con 3 incógnitas, P_1 , P_2 y P_3 .

$$\begin{aligned} b_1 P_1 + c_1 P_2 &= d_1 \\ a_2 P_1 + b_2 P_2 + c_2 P_3 &= d_2 \\ a_3 P_2 + b_3 P_3 &= d_3 \end{aligned}$$

puesto en forma matricial

$$Ax = D \quad (C-1)$$

siendo

$$A = \begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ 0 & a_3 & b_3 \end{bmatrix}, \quad P = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{bmatrix}$$

para resolver este sistema usamos el método de eliminación de Gauss partiendo de la matriz aumentada.

$$C = [A \mid D]$$

Puesta en forma desarrollada

$$C = \begin{bmatrix} b_1 & c_1 & 0 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ 0 & a_3 & b_3 & d_3 \end{bmatrix}$$

Si dividimos la primera fila por $b_1 = w_1$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & \frac{d_1}{w_1} \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ 0 & a_3 & b_3 & d_3 \end{bmatrix}$$

Haciendo $\frac{d_1}{w_1} = g_1$ y restando de la segunda fila la primera multiplicada por a_2 .

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & g_1 \\ 0 & (b_2 - \frac{a_2 c_1}{w_1}) & c_2 & (d_2 - a_2 g_1) \\ 0 & a_3 & b_3 & d_3 \end{bmatrix}$$

Si hacemos $b_2 - \frac{a_2 c_1}{w_1} = w_2$ y dividimos la segunda fila por w_2

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & g_1 \\ 0 & 1 & \frac{c_2}{w_2} & \left(\frac{d_2 - a_2 g_1}{w_2}\right) \\ 0 & a_3 & b_3 & d_3 \end{bmatrix}$$

Haciendo $\frac{d_2 - a_2 g_1}{w_2} = g_2$, restamos de la tercera fila la segunda multiplicada por a_3

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & g_1 \\ 0 & 1 & \frac{c_2}{w_2} & g_2 \\ 0 & 0 & \left(b_3 - \frac{a_3 c_2}{w_2}\right) & (d_3 - a_3 g_2) \end{bmatrix}$$

Si hacemos $b_3 - \frac{a_3 c_2}{w_2} = w_3$ y dividimos la tercera fila por w_3 .

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & g_1 \\ 0 & 1 & \frac{c_2}{w_2} & g_2 \\ 0 & 0 & 1 & \left(\frac{d_3 - a_3 g_2}{w_3}\right) \end{bmatrix}$$

Finalmente, si hacemos $\frac{d_3 - a_3 g_2}{w_3} = g_3$, se obtiene

$$C = \begin{bmatrix} 1 & \frac{c_1}{w_1} & 0 & g_1 \\ 0 & 1 & \frac{c_2}{w_2} & g_2 \\ 0 & 0 & 1 & g_3 \end{bmatrix}$$

de donde pueden evaluarse las incógnitas de la siguiente manera.

$$P_3 = g_3$$

$$P_2 = g_2 - \frac{c_2}{w_2} P_3$$

$$P_1 = g_1 - \frac{c_1}{w_1} P_2$$

El procedimiento anterior es aplicable a un sistema de N ecuaciones con N incógnitas generalizando la solución anterior con las siguientes fórmulas.

$$P_N = g_N$$

$$P_i = g_i - \frac{c_i P_{i+1}}{w_i}, \quad i = N-1, N-2, \dots, 1 \quad (C-2)$$

usando las fórmulas recursivas

$$w_1 = b_1$$

$$g_1 = d_1/w_1$$

$$w_i = b_i - \frac{a_i c_{i-1}}{w_{i-1}}, \quad i = 2, 3, \dots, N$$

$$g_i = \frac{d_i - a_i g_{i-1}}{w_i}, \quad i = 2, 3, \dots, N \quad (C-3)$$

Las fórmulas (C-2) y (C-3) fueron utilizadas en el cálculo de los sistemas de ecuaciones que se forman durante la aplicación del método implícito de dirección alternante.

PAGE 2

```

C *****
133 READ(2,65)NMX,NMY,NITE,NCO,BO,DX,XL,EPSIL,PI,MU,H
65  FORMAT(2I5,I4,I1,F5.1,6F10.2)
   WRITE(3,121)NMX,NMY,NITE,BO,DX,XL,EPSIL,PI,MU,H
121  FORMAT('1',54X,7('*'),/,56X,'DATOS',/,55X,7('*'),//,50X,'NUMERO DE
1  NODOS EN X',I7,/,40X,'NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y',I7,/,42X,'N
2  UMERO MAXIMO DE ITERACIONES',I7,/,39X,'FACTOR VOLUMETRICO DEL PETR
10  OLEO',F7.3,/,63X,'DELTA X',F7.1,/,43X,'LONGITUD MINIMA DE LA MALLA
1  ',F7.1,/,63X,'EPSILON',F7.4,/,55X,'PRESION INICIAL',F7.1,/,47X,'VI
15  SCOSIDAD DEL PETROLEO',F7.2,/,48X,'ESPESOR DEL YACIMIENTO',F7.2//)
   CALL DATSW(2,ICC)
   GO TO(711,712),ICC

C *****
C
C SI ESTA PRENDIDO EL INTERRUPTOR 2 SE LEEN LOS SIGUIENTES DATOS
C NECESARIOS UNICAMENTE EN REGIMEN TRANSITORIO
C
C DT      INCRFMENTO DE TIEMPO ENTRE DOS ITERACIONES SUCEASIVAS (DIAS)
C TMAX    TIEMPO MAXIMO DE PREDICCION
C COMPR   COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION EN 1/PSI (1/KG/CM2)
C FIH     ARREGLO QUE CONTIENE EL PRODUCTO DE LA POROSIDAD POR EL
          ESPFSOR DE LA FORMACION , PARA CADA NODO DE LA MALLA
C
C *****
711  READ(2,709)DT,TMAX,COMPR
709  FORMAT(2F5.0,F15.0)
   READ(2,713)((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)
713  FORMAT(10F8.3)
   WRITE(3,946)
946  FORMAT(20X,' ((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)',/)
   WRITE(3,122)((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)
122  FORMAT(20X,10F7.2)
   DO 715 I=1,NMX
   DO 715 J=1,NMY
715  FIH(I,J)=CO3*MU*COMPR*DX**2*FIH(I,J)/DT
712  WRITE(3,123)
123  FORMAT(//20X,' ((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)',/)

C
C SF LEEN LAS CAPACIDADES EN LA DIRECCION X POR COLUMNAS
C
   DO 1 J=1,NMY
   READ(2,2)(KNODO(I),I=1,NMX)
2   FORMAT(10F8.2)
   WRITE(3,122)(KNODO(I),I=1,NMX)
   DO 3 I=2,NMX
   IF(KNODO(I))4,4,5
5   IF(KNODO(I-1))4,4,6
4   KX(I,J)=0.0
   GO TO 3
6   KX(I,J)=COFF2*(KNODO(I)+KNODO(I-1))
3   CONTINUE
   KX(1,J)=0.0
   KX(NMX+1,J)=0.0
1   CONTINUE
   WRITE(3,124)
124  FORMAT(//,20X,' ((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)',/)

```


SE LEEN LAS CAPACIDADES EN LA DIRECCION Y POR COLUMNAS

```

DO 7 I=1,NMX
  RFAD(2,2)(KNODO(J),J=1,NMY)
  WRITE(3,122)(KNODO(J),J=1,NMY)
  DO 8 J=2,NMY
    IF(KNODO(J-1))9,9,10
10  IF(KNODO(J))9,9,11
    9 KY(I,J)=0.0
    GO TO 8
11  KY(I,J)=COEF2*(KNODO(J)+KNODO(J-1))
    8 CONTINUE
    KY(I,1)=0.0
    KY(I,NMY+1)=0.0
    7 CONTINUE

```

 EMPIEZA EL CALCULO PARA LOS DIFERENTES PROGRAMAS DE EXPLOTACION

```

DO 134 IGD=1,NCO
DO 1777 I=1,NMX
DO 1777 J=1,NMY
1777 QD(I,J)=0.

```

SE LEE EL NUMERO DE POZOS PRODUCTORES O INYECTORES = NPP

```

  RFAD(2,98)NPP
  98 FORMAT(15)
  WRITE(3,945)TITUL,IGD
  945 FORMAT(1H1,40X,'ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL',/,39X,'
  1COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS',/,44X,'EN LA SIMULACI
  2ON DE UN YACIMIENTO',/,33X,'SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN RE
  3GIMEN '2A6,/,31X,'DE UNA FASE POR EL METODO '6A6,/,45X,'PROGRAMA D
  4E EXPLOTACION NUMERO',I2,/)
  WRITE(3,135)
  135 FORMAT(52X,'GASTOS DE LOS POZOS',/)
  DO 15 L=1,NPP

```

 SE LEEN LOS SIGUIENTES DATOS PARA CADA POZO

```

I      NUMERO DE LA FILA EN LA QUE SE ENCUENTRA EL POZO
J      NUMERO DE LA COLUMNA EN LA QUE SE ENCUENTRA EL POZO
PRE    PRESION DEL POZO EN PSI (KG/CM2). SI SE FIJA ESTE DATO,
        EL SIGUIENTE SE DEBE OMITIR
GASTO  PRODUCCION O INYECCION DEL POZO SEGUN EL SIGNO. SI SE FIJA
        ESTE DATO, EL ANTERIOR SE DEBE OMITIR EN BPD (M3/DIA)

```

```

*****
  READ(2,14)I,J,PRE,GASTO
  14  FORMAT(2I5,2F10.2)
  QD(I,J)=GASTO*MU*BO*COEF1
  IF(GASTO)137,138,137
  137 WRITE(3,139)I,J,GASTO
  139 FORMAT(52X,'Q('',I2,'',',',I2,'')='',F9.3)
  138 P1(I,J)=PRE

```

P2(I,J)=PRE

P4(I,J)=PRE

P3(L)=PRE

PPP(L,1)=I

PPP(L,2)=J

15 CONTINUE

GO TO(34,2001),ICC

2001 W=1.0

GAUSS=1

ITGAU ITERACIONES QUE SE DEBEN TOMAR PARA GAUSS-SEIDEL ANTES
DE TRABAJAR CON EL SOR (SE LEE SOLO EN CASO DE REGIMEN PERMANENTE)

READ(2,2000)ITGAU

2000 FORMAT(I3)

34 DO 12 I=1,NMX

DO 12 J=1,NMY

DO 30 L=1,NPP

IF(P3(L))30,30,47

47 IF(PPP(L,2)=J)30,32,30

32 IF(PPP(L,1)=I)30,12,30

30 CONTINUE

P1(I,J)=PI

12 CONTINUE

SE INICIALIZA EL CONTADOR DE LAS ITERACIONES

ICONT=0

ITE=0

SUMQ=0.0

DMAX2=0.0

ICONV=2

16 ITE=ITE+1

IF(ITE=NITE)51,51,279

279 WRITE(3,280)NITE

280 FORMAT(/// 'DESPUES DE ',I5,' ITERACIONES NO CONVERGE',//)

GO TO 134

51 DMAX1=DMAX2

DMAX2=0.0

DO 18 I=1,NMX

DO 18 J=1,NMY

DO 20 L=1,NPP

IF(P3(L))20,20,49

49 IF(PPP(L,2)=J)20,22,20

22 IF(PPP(L,1)=I)20,18,20

20 CONTINUE

GO TO(802,801),ICC

SE CALCULA LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN LA
ITERACION N+1 MEDIANTE EL S O R

801 $P2(I,J) = (1.0 / (KX(I+1,J) + KX(I,J) + KY(I,J+1) + KY(I,J))) * (KX(I+1,J) * P1(I+1,J) + KX(I,J) * P2(I-1,J) + KY(I,J+1) * P1(I,J+1) + KY(I,J) * P2(I,J-1) + QD(I,J)) * W + (1-W) * (P1(I,J))$
DIF=ABS(P2(I,J)-P1(I,J))
IF(DIF=DMAX2)18,18,26

26 DMAX2=DIF
GO TO 18

SE CALCULA LA DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO AL
TIEMPO N+1 MEDIANTE EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNADA

802 $P_2(I,J) = ((KX(I+1,J)*P_1(I+1,J) + KX(I,J)*P_2(I-1,J) + KY(I,J+1)*P_1(I,J+1) + KY(I,J)*P_2(I,J-1) + QD(I,J)) - ((KX(I+1,J) + KY(I,J+1)) - F_{IH}(I,J)) * P_1(I,J)) / (F_{IH}(I,J) + KX(I,J) + KY(I,J))$

18 CONTINUE

GO TO(59,803),ICC

59 DO 6231 I=1,NMX

DO 6231 J=1,NMY

M=NMX-I+1

N=NMY-J+1

DO 6232 L=1,NPP

IF(P3(L))6232,6232,6233

6233 IF(PPP(L,2)-N)6232,6234,6232

6234 IF(PPP(L,1)-M)6232,6231,6232

6232 CONTINUE

$P_4(M,N) = ((KX(M+1,N)*P_4(M+1,N) + KX(M,N)*P_1(M-1,N) + KY(M,N+1)*P_4(M,N+1) + KY(M,N)*P_1(M,N-1) + QD(M,N)) - ((KX(M,N) + KY(M,N)) - F_{IH}(M,N)) * P_1(M,N)) / (F_{IH}(M,N) + KX(M+1,N) + KY(M,N+1))$

6231 CONTINUE

DO 581 I=1,NMX

DO 581 J=1,NMY

$P_2(I,J) = 0.5 * (P_2(I,J) + P_4(I,J))$

DIF=ABS(P2(I,J)-P1(I,J))

IF(DIF-DMAX2)581,581,6237

6237 DMAX2=DIF

581 CONTINUE

GO TO 73

803 GO TO(72,73),GAUSS

72 IF(ITE-ITGAU)70,71,71

70 DO 80 I=1,NMX

DO 80 J=1,NMY

80 $P_1(I,J) = P_2(I,J)$

GO TO 16

71 ROGS=DMAX2/DMAX1

SE CALCULA W OPTIMO DE LA MATRIZ DE GAUSS-SFIDEL

$W = 2.0 / (1.0 + \text{SQRT}(1.0 - \text{ROGS}))$

GAUSS=2

GO TO 34

73 IF(DMAX2-EPSIL)27,27,56

56 DO 57 I=1,NMX

DO 57 J=1,NMY

57 $P_1(I,J) = P_2(I,J)$

CALL DATSW(3,IICG)

GO TO(3111,16),IICG

SI SE ALCANZA LA CONVERGENCIA SE IMPRIMEN LOS RESULTADOS

27 RO=DMAX2/DMAX1

ICONV=1

```

DO 45 L=1,NPD
IF(P3(L))45,45,46
46 I=PPP(L,1)
J=PPP(L,2)
C
C SF CALCULA LA PRODUCCION O INYECCION EN LOS POZOS CON DATOS
C DE PRESION FIJADOS
C
QD(I,J)=(P2(I,J)-P2(I+1,J))*KX(I+1,J)+(P2(I,J)-P2(I-1,J))*KX(I,J)
1+(P2(I,J)-P2(I,J+1))*KY(I,J+1)+(P2(I,J)-P2(I,J-1))*KY(I,J)
GASTO=QD(I,J)/MU/COEF1/BO
WRITE(3,139)I,J,GASTO
RFS(I,J)=P2(I,J)*(KY(I,J+1)+KY(I,J)+KX(I+1,J)+KX(I,J))-(KY(I,J+1)*
1P1(I,J+1)+KY(I,J)*P2(I,J-1))-(KX(I+1,J)*P1(I+1,J)+KX(I,J)*P2(I-1,
2))-QD(I,J)
RFS(I,J)=RES(I,J)/DX**2/H
WRITE(3,2030)I,J,RES(I,J)
2030 FORMAT(46X,'RESIDUO(',I2,',',I2,')=',E14.6)
45 CONTINUE
WRITE(3,271)W
271 FORMAT(52X,'W OPTIMO=',F9.5)
DO 29 I=1,NMX
DO 29 J=1,NMY
29 SUMQ=SUMQ+QD(I,J)
3111 GO TO(984,985),ICC
984 TIME=ITE*DT
WRITE(3,986)TIME
986 FORMAT(//,21X,'TIEMPO = ',F5.1,' DIAS',/)
GO TO 987
985 WRITE(3,988)ITE
988 FORMAT(//,21X,'ITERACION NUMERO',I4,/)
987 WRITE(3,270)
270 FORMAT(21X,27('*'), '(((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)',27('*'),20X,/)
WRITE(3,28)((P2(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)
28 FORMAT(20X,10F8.2,20X,/)
WRITE(3,681)
681 FORMAT(21X,80('*'),4(/))
ICONT=ICONT+1
GO TO(943,944),ICONT
944 WRITE(3,945)TITUL,IGD
ICONT=0
943 GO TO(3002,3001),ICC
3002 IF(TIME-TMAX)3001,134,134
3001 GO TO(134,16),ICONV
134 CONTINUE
CALL EXIT
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
EXTENDED PRECISION
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 0 VARIABLES 2692 PROGRAM 2734

END OF COMPILATION

// DUP

*DELETE ISAB
CART ID 0001 DB ADDR 5F5F DB CNT 00C7

*STORE WS UA ISAB
CART ID 0001 DB ADDR 6039 DB CNT 00C7

9

// JOB

125

LOG DRIVE CART SPEC CART AVAIL PHY DRIVE
 0000 0001 0001 0000

V2 M10 ACTUAL 8K CONFIG 8K

// FOR

*ONE WORD INTEGERS

*EXTENDED PRECISION

*LIST SOURCE PROGRAM

C SUBPROGRAMA QUE CALCULA LOS PARAMETROS DE ITERACION DEL ADIP
 C ITERATIVO

SUBROUTINE PARAM(DX,XL,NI)

DIMENSION S(10),Z(10)

COMMON XIA(31),GAMA(10)

A=4.*(SIN(3.1416*DX/(2.*XL)))*2

B=4.*(COS(3.1416*DX/(2.*XL)))*2

SIG=A/B

GAMA(1)=A

S(1)=0.1E 20

I=2

C SF CALCULA EL VALOR MINIMO DE S. 6

3 Z(I)=SIG**((1./(I-1.))

ELEV=4./I

S(I)=((1.-SQRT(Z(I)))/(1.+SQRT(Z(I)))*EXP(-Z(I)**1.5/(1.-Z(I))))**

1 ELEV

IF(S(I)-S(I-1))1,1,2

1 I=I+1

C SI LOS PARAMETROS DE ITERACION SON MAS DE 10 SE SUSPENDE EL CALCULO

IF(I-10)3,3,4

4 WRITE(3,304)

304 FORMAT(//10X,'MAS DE 10 PARAMETROS DE ITERACION')

NI=-1

GO TO 8

2 NI=I-1

DO 5 I=2,NI

GAMA(I)=A/Z(NI)**(I-1)

5 CONTINUE

8 RETURN

END

FEATURES SUPPORTED

ONE WORD INTEGERS

EXTENDED PRECISION

CORE REQUIREMENTS FOR PARAM

COMMON 124 VARIABLES 94 PROGRAM 314

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 008A (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

126

```
*DELETE          PARAM
CART ID 0001    DB ADDR 5F5F    DB CNT  0017
```

```
*STORE          WS  UA  PARAM
CART ID 0001    DB ADDR 60E9    DB CNT  0017
```

```
// FOR
*ONE WORD INTEGERS
*EXTENDED PRECISION
*LIST SOURCE PROGRAM
```

```
*****
SUBROUTINA PARA CALCULAR LA SOLUCION DE UN SISTEMA DE ECUACIONES
TRIDIAGONALES UTILIZANDO EL ALGORITMO DE THOMAS
*****
```

```
ARGUMENTOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL SUBPROGRAMA
```

```
ARGUMENTOS DE ENTRADA
```

```
ADIP  NUMERO DE PUNTOS EN LA DIRECCION X O Y DE LA MALLA
KHA,KHB,KHC,PREA,PREB,PREC SON DATOS NECESARIOS DE LAS MATRICES
PARA CALCULAR LAS PRESIONES DE LA FILA O DE LA COLUMNA SEGUN
EL CASO A RESOLVER
GAMA  PARAMETRO DE ACELERACION DE CONVERGENCIA DEL ADIP
Q     ARREGLO QUE CONTIENE EL TERMINO DE INYECCION O PRODUCCION
ITE   NUMERO DEL PARAMETRO DE CONVERGENCIA UTILIZADO
IDC   ARREGLO QUE CONTIENE LA POSICION DEL POZO CON PRESION FIJA
L     TOTAL DE PRESIONES FIJAS EN LA FILA O COLUMNA A RESOLVER
ITAL  INDICADOR QUE NOS PERMITE TRATAR EL PROBLEMA COMO REGIMEN
      TRANSITORIO O PERMANENTE SEGUN TOME EL VALOR DE 1 O 2
      RESPECTIVAMENTE
```

```
ARGUMENTOS DE SALIDA
```

```
P     ARREGLO QUE CONTIENE LAS PRESIONES CALCULADAS
```

```
SUBROUTINE ALGOT(ADIP)
```

```
INTEGER ADIP
```

```
REAL KHA(10),KHB(11),KHC(10)
```

```
DIMENSION A(10),B(10),C(10),D(10),W(10),G(10),VIC(10)
```

```
COMMON KHA,KHB,KHC,GAMA(10),Q(10),PREA(10),PREB(10),PREC(10),P(10)
1,ITE,IDC(10),ML,ITAL
IDC(ML+1)=ADIP+1
```

```
SE CALCULAN LOS COEFICIENTES A,B,C,D PARA TODOS LOS NODOS
DE LA FILA(COLUMNA)
```

```
DO 31 I=1,ADIP
```

```
GO TO(21,22),ITAL
```

```
21 ITE=I
```

```
22 A(I)=KHB(I)
```

```
B(I)=-KHB(I)-KHB(I+1)-GAMA(ITE)
```

```
C(I)=KHB(I+1)
```

```
D(I)=-Q(I)-KHA(I)*PREA(I)+(KHA(I)+KHC(I)-GAMA(ITE))*PREB(I)-KHC(I)
1*PREC(I)
```

```
31 CONTINUE
```

```
J=ADIP
```

C SI EXISTEN PRESIONES FIJAS EN EL RENGLON(COLUMNA) NO SE LAS
 C CONSIDERA PARA EL CALCULO DEL SISTEMA Y SE LAS INCLUYE COMO
 C CONSTANTES EN EL CORRESPONDIENTE COEFICIENTE D
 C

IF(ML)32,32,33
 33 DO 34 K=1,ML
 J=IDC(K+1)-K-1
 M=IDC(K)-K+1
 N=M+K-1
 VIC(K)=P(N)
 DO 35 N=M,J
 N1=N+K
 A(N)=A(N1)
 B(N)=B(N1)
 C(N)=C(N1)
 D(N)=D(N1)
 35 CONTINUE
 D(M-1)=D(M-1)-C(M-1)*VIC(K)
 C(M-1)=0
 D(M)=D(M)-A(M)*VIC(K)
 A(M)=0
 34 CONTINUE

C
 C
 C

ALGORITMO DE THOMAS

32 W(1)=B(1)
 G(1)=D(1)/W(1)
 DO 36 I=2,J
 N1=I-1
 W(I)=B(I)-A(I)*C(N1)/W(N1)
 G(I)=(D(I)-A(I)*G(N1))/W(I)
 36 CONTINUE
 I=J+ML
 P(I)=G(J)
 DO 37 I=2,J
 N1=J-I+1
 N2=N1+ML
 P(N2)=G(N1)-C(N1)*P(N2+1)/W(N1)
 37 CONTINUE

C
 C
 C
 C

SI EXISTEN PRESIONES FIJAS SE LAS INCLUYE EN LA RESPUESTA DE LA
 SUBROUTINA

IF(ML)38,38,39
 39 K=1
 N=IDC(ML)
 M=ML+1
 DO 41 I=1,N
 IF(I-IDC(K))42,43,42
 42 P(I)=P(M)
 M=M+1
 GO TO 41
 43 P(I)=VIC(K)
 K=K+1
 41 CONTINUE

C
 C
 C

REGRESO AL PROGRAMA PRINCIPAL

38 RETURN
END

FFEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
EXTENDED PRECISION

CORE REQUIREMENTS FOR ALGOT
COMMON 286 VARIABLES 232 PROGRAM 560

RELATIVE ENTRY POINT ADDRESS IS 00EB (HEX)

END OF COMPILATION

// DUP

*DELETE ALGOT
CART ID 0001 DB ADDR 5F5F DB CNT 0027

*STORE WS UA ALGOT
CART ID 0001 DB ADDR 60D9 DB CNT 0027

// FOR

*IOCS(CARD, 1132 PRINTER)

*ONE WORD INTEGERS

*EXTENDED PRECISION

*LIST SOURCE PROGRAM

INTEGER DP,PERFO,PPP(15,2)

REAL KHX(11,10),KHY(10,11),MU,NTM

REAL KHA(10),KHB(11),KHC(10)

DIMENSION PC1(10,10),PC2(10,10),QD(10,10),PQ(14),FIH(10,10),V(2),T

1ITUL(8)

COMMON KHA,KHB,KHC,GAMA(10),Q(10),PREA(10),PREB(10),PREC(10),P(10)

1,ITE,IDC(10),ML,ITAL

DATA QD/100*0.0/

DATA V(1),V(2)/' DIAS ',' ITER.'/

READ(2,2101)TITUL

2101 FORMAT(10A6)

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

EL PROGRAMA TIENE LAS SIGUIENTES OPCIONES, PARA LO CUAL SE DEBEN
CONECTAR LOS SIGUIENTES INTERRUPTORES

UNO PARA UNIDADES METRICAS

DOS PARA REGIMEN TRANSITORIO

TRES PARA OBTENER LOS RESULTADOS EN CADA ITERACION (CADA
INCREMENTO DE TIEMPO EN REGIMEN TRANSITORIO)

SE FIJAN LOS COEFICIENTES PARA EL TIPO DE UNIDADES QUE SE USARAN

CALL DATSW(1,1)

GO TO(101,100),I

100 C01=1.0

C02=1./5.615

C03=1.127/2.

GO TO 102
 101 CO1=119.56
 CO2=119.56
 CO3=500.

SE LEE LA SIGUIENTE INFORMACION DEL YACIMIENTO

NPX NUMERO DE NODOS EN LA DIRECCION X, MAXIMO 10
 NPY NUMERO DE NODOS EN LA DIRECCION Y, MAXIMO 10
 NITE NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES
 NCO NUMERO DE PRUEBAS PARA UN YACIMIENTO
 DX DISTANCIA ENTRE NODOS EN PIES (METROS)
 XL LONGITUD MINIMA DE LA MALLA EN PIES (METROS)
 TOL TOLERANCIA, DIFERENCIA MAXIMA DE PRESIONES ENTRE DOS
 ITERACIONES SUCESIVAS EN PSI (KG/CM2)
 PI PRESION INICIAL DEL YACIMIENTO EN PSI (KG/CM2)
 MU VISCOSIDAD DEL FLUIDO EN CP
 H ESPESOR MEDIO DEL YACIMIENTO EN PIES (METROS)

102 READ(2,300)NPX,NPY,NITE,NCO,BO,DX,XL,TOL,PI,MU,H
 300 FORMAT(2I5,I4,I1,F5.1,6F10.2)
 WRITE(2,302)DX,XL,TOL,MU,H,PI
 302 FORMAT(1H1///40X,'DATOS.-'///40X,'LONG. NODO',5X,F7.2/40X,'LONG. TO
 IT.',5X,F7.2/40X,'TOLERANCIA',5X,F7.4/40X,'VISCOSIDAD',5X,F7.2/40X,
 2'ESPESOR',8X,F7.2/40X,'PRES. IN.',6X,F7.2///40X)

SE CALCULAN LOS PARAMETROS DE ACELERACION DE LA CONVERGENCIA DEL
 ADIP ITERATIVO EN CASO DE ESTAR APAGADO EL INTERRUPTOR 2 Y SE
 IMPRIMEN LOS RESULTADOS

CALL DATSW(2,ITAL)
 GO TO (901,902),ITAL
 902 CALL PARAM(DX,XL,NI)
 IF(NI)10000,10000,10001
 10001 WRITE(3,1001)
 1001 FORMAT(40X,'PARAMETROS DE CONVERGENCIA'//)
 WRITE(3,305)(GAMA(I),I=1,NI)
 305 FORMAT(50X,F7.3)
 DO 753 I=1,NI
 GAMA(I)=CO2*H*GAMA(I)
 753 CONTINUE
 GO TO 903

SI ESTA PRENDIDO EL INTERRUPTOR 2 SE LEEN LOS SIGUIENTES DATOS
 NECESARIOS UNICAMENTE EN REGIMEN TRANSITORIO

DT INCREMENTO DE TIEMPO ENTRE DOS ITERACIONES SUCESIVAS (DIAS)
 TMAX TIEMPO MAXIMO DE PREDICCION
 COMPR COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION EN 1/PSI (1/KG/CM2)
 FIH ARREGLO QUE CONTIENE EL PRODUCTO DE LA POROSIDAD POR EL
 ESPESOR DE LA FORMACION, PARA CADA NODO DE LA MALLA

```

901 READ(2,904)DT,TMAX,COMPR
904 FORMAT(2F5.0,F15.0)
DO 905 I=1,NPX
  READ(2,301)(FIH(I,J),J=1,NPY)
905 CONTINUE

```

```

C *****
C SF LEEN LAS CAPACIDADES EN LA DIRECCION X POR COLUMNAS
C *****
C

```

```

903 DO 201 J=1,NPY
  READ(2,301)(Q(I),I=1,NPX)
301 FORMAT(10F8.0)
  DO 401 I=2,NPX

```

```

C SE CALCULAN LAS CAPACIDADES MEDIAS ENTRE NODOS
C

```

```

  IF(Q(I))402,402,400
400 IF(Q(I-1))402,402,404
402 KHX(I,J)=0.0
  GO TO 401
404 KHX(I,J)=(Q(I)+Q(I-1))*CO3
401 CONTINUE
  KHX(1,J)=0.0
  KHX(NPX+1,J)=0.0
201 CONTINUE

```

```

C *****
C SE LEEN LAS CAPACIDADES EN LA DIRECCION Y POR RENGLONES
C *****
C

```

```

DO 103 I=1,NPX
  READ(2,301)(Q(J),J=1,NPY)
  DO 403 J=2,NPY

```

```

C SE CALCULAN LAS CAPACIDADES MEDIAS ENTRE NODOS
C

```

```

  IF(Q(J))405,405,406
406 IF(Q(J-1))405,405,407
405 KHY(I,J)=0.0
  GO TO 403
407 KHY(I,J)=(Q(J-1)+Q(J))*CO3
403 CONTINUE
  KHY(I,1)=0.0
  KHY(I,NPY+1)=0.0
103 CONTINUE
  NPX1=NPX-1

```

```

C *****
C EMPIEZA EL CALCULO PARA LOS DIFERENTES PROGRAMAS DE EXPLOTACION
C *****
C

```

```

DO 250 ISRT=1,NCO

```

```

C SE LEE EL NUMERO DE POZOS PRODUCTORES O INYECTORES = NPP
C

```

```

  READ(2,300)NPP
  PERFO=2

```

DO 207 I=1,NPX

131

SF INICIALIZA LA PRESION DEL YACIMIENTO

DO 206 J=1,NPY

PC1(I,J)=PI

QD(I,J)=0.

206 CONTINUE

207 CONTINUE

WRITE(3,242)TITUL,ISRT

242 FORMAT(1H1,40X,'ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL',//,39X,'
 1COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS',/,44X,'EN LA SIMULACI
 2ON DE UN YACIMIFNTO',/,33X,'SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN RE
 3GIMEN '2A6,/,31X,'DE UNA FASE POR EL METODO '6A6,/,45X,'PROGRAMA D
 4E EXPLOTACION NUMERO',I2,//)

WRITE(3,311)

311 FORMAT(52X,'GASTOS DE LOS POZOS'//)

DO 54 L=1,NPP

SE LFEN LOS SIGUIENTES DATOS PARA CADA POZO

I NUMERO DE LA FILA EN LA QUE SE ENCUENTRA EL POZO

J NUMERO DE LA COLUMNA EN LA QUE SE ENCUENTRA EL POZO

PRE PRESION DEL POZO EN PSI (KG/CM2). SI SE FIJA ESTE DATO,
EL SIGUIENTE SE DEBE OMITIRGASTO PRODUCCION O INYECCION DEL POZO SEGUN EL SIGNO. SI SE FIJA
ESTE DATO, EL ANTERIOR SE DEBE OMITIR EN BPD (M3/DIA)

READ(2,309)I,J,PRE,GASTO

309 FORMAT(2I5,3F10,0)

SE IMPRIME EL VALOR DEL GASTO Y LA POSICION DEL POZO

IF(GASTO)6,7,6

6 WRITE(3,310)I,J,GASTO

310 FORMAT(53X,'Q('I,I2,'I',I2,')='F9,3)

7 PQ(L)=PRE

QD(I,J)=GASTO*MU*CO1*RO

PC1(I,J)=PRE

PPP(L,1)=I

PPP(L,2)=J

54 CONTINUE

SF INICIALIZAN LOS CONTADORES DE LAS ITERACIONES

NURE=0

NTM=0

ITE=0

209 ITE=ITE+1

NURE=NURE+1

NTM=NTM+1

TIME=TIME+DT

CONTROL DE CICLO DE PARAMETROS DE ITERACION

IF(ITE-NI)211,211,210

210 ITE=1

```

*****
ITERACION EN EL SENTIDO HORIZONTAL
*****

```

CALCULO DE PRESIONES EN UNA COLUMNA (NIVEL INTERMEDIO)

211 DO 214 J=1, NPY
 ML=0

CONTROL PARA DETECTAR SI HAY PRESIONES FIJAS EN LA COLUMNA

DO 31 L=1, NPP
 IF (PPP(L,2)-J) 31, 32, 31
 32 IF (PQ(L)) 31, 31, 30
 30 ML=ML+1
 INC(ML)=PPP(L,1)
 K=PPP(L,1)
 P(K)=PQ(L)
 31 CONTINUE

SE SELECCIONAN LOS DATOS EN LAS MATRICES PARA CALCULAR LAS PRESIONES DE LA COLUMNA

DO 212 I=1, NPX
 KHA(I)=KHY(I,J)
 KHB(I)=KHX(I,J)
 KHC(I)=KHY(I,J+1)
 Q(I)=QD(I,J)
 PDFA(I)=PC1(I,J-1)
 PREB(I)=PC1(I,J)
 PREFC(I)=PC1(I,J+1)
 GO TO(907, 212), ITAL
 907 ITE=I
 GAMA(ITE)=2.*CO2*MU*COMPR*DX**2*FIH(I,J)/DT
 212 CONTINUE
 KHB(NPX+1)=KHX(NPX+1,J)

SE TRANSFIERE EL CONTROL A LA SUBROUTINA ALGOT PARA EL CALCULO DE PRESIONES DE LA COLUMNA

CALL ALGOT(NPX)

SE COLOCAN EN LA MATRIZ DE PRESIONES DEL NIVEL INTERMEDIO LOS VALORES CALCULADOS

DO 213 I=1, NPX
 PC2(I,J)=P(I)
 213 CONTINUE
 214 CONTINUE

SE INICIALIZA EL CONTADOR DE NODOS

DO=0

```

*****
ITERACION EN EL SENTIDO VERTICAL

```

CALCULO DE PRESIONES EN UN RENGLON (NIVEL FINAL)

DO 217 I=1,NPX
ML=0

CONTROL PARA DETECTAR SI HAY PRESIONES FIJAS EN EL RENGLON

DO 42 L=1,NPP
IF (PPP(L,1)-I) 42,43,42
43 IF (PG(L)) 42,42,63
63 ML=ML+1
INDC(ML)=PPP(L,2)
K=PPP(L,2)
P(K)=PG(L)
42 CONTINUE

SELECCION DE LOS DATOS DE LAS MATRICES PARA CALCULAR LAS PRESIONES DEL RENGLON

DO 215 J=1,NPY
KHA(J)=KH(X(I+1,J))
KHB(J)=KHY(I,J)
KHC(J)=KH(X(I,J))
Q(J)=QD(I,J)
PREA(J)=PC2(I+1,J)
PREB(J)=PC2(I,J)
PREC(J)=PC2(I-1,J)
GO TO (908,215),ITAL
908 ITE=J
GAMA(ITE)=2.*CO2*MU*COMPR*DX**2*FIH(I,J)/DT
215 CONTINUE
KHB(NPY+1)=KHY(I,NPY+1)

SE TRANSFIERE EL CONTROL AL SUBPROGRAMA ALGOT PARA EL CALCULO DE LAS PRESIONES DEL RENGLON

CALL ALGOT(NPY)
DO 216 J=1,NPY

CONTROL DE LA TOLERANCIA EN CADA UNO DE LOS NODOS DEL RENGLON

IF (ABS(P(J)-PC1(I,J))-TOL) 10,10,12

SI SE ALCANZA LA TOLERANCIA EN EL NODO SE INCREMENTA EL CONTADOR

10 DP=DP+1

SE COLOCA EN LA MATRIZ DE PRESIONES (VALOR FINAL) LOS VALORES CALCULADOS.

12 PC1(I,J)=P(J)
216 CONTINUE
217 CONTINUE

SI SE OPTO POR EL RASTREO (INTERRUPTOR NO.- 3) SE IMPRIMEN EL NUMERO

RO DE LA ITERACION Y LOS VALORES DE PRESION

CALL DATSW(3,ITTM)

GO TO(218,220),ITTM

218 GO TO(2000,2001),NURE

2001 WRITE(3,242)TITUL,ISRT

NURE=0

2000 GO TO(1071,1072),ITAL

1071 IF(TIME-TMAX)4001,4001,250

4001 WRITE(3,1073)TIME,V(1)

GO TO 1074

1072 WRITE(3,1073)NTM,V(2)

1073 FORMAT(//,30X,'DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN ',F6.11,A6)

1074 DO 219 I=1,NPX

WRITE(3,303) (PC1(I,J),J=1,NPY)

219 CONTINUE

GO TO(250,220),PERFO

SI 'DPI' ES IGUAL AL NUMERO TOTAL DE NODOS SE HABRA ALCANZADO LA TOLERANCIA

220 IF(DO-NPY*NPX)14,13,250

CUANDO SE ALCANZA EL NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES, SE IMPRIMEN LAS PRESIONES Y SE SUSPENDE EL CALCULO

14 IF(NTM=NITF)209,22,22

22 PERFO=1

WRITE(3,307)

307 FORMAT(//10X,'ALCANZO NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES'//)

GO TO 218

CALCULO DE GASTOS EN LOS POZOS CON PRESION FIJA

13 GO TO(1334,1333),ITTM

1334 WRITE(3,242)TITUL,ISRT

1333 DO 68 L=1,NPP

CONTROL PARA DETECTAR POZOS CON PRESION FIJA

IF(PQ(L))69,69,70

70 I=PPP(L,1)

J=PPP(L,2)

GASTO=((PC1(I,J)-PC1(I+1,J))*KH(X(I+1,J)+(PC1(I,J)-PC1(I-1,J))*KH(X(I,J)+(PC1(I,J)-PC1(I,J+1))*KH(Y(I,J+1)+(PC1(I,J)-PC1(I,J-1))*KH(Y(I,2J)))/MU/CO1/BO

IMPRESION DEL GASTO DEL POZO CON SU LOCALIZACION

WRITE(3,310)I,J,GASTO

68 CONTINUE

IMPRESION DEL NUMERO DE ITERACIONES NECESARIO PARA ALCANZAR LA TOLERANCIA FIJA

```

C
C
GO TO(1895,1896),ITAL
1895 WRITE(3,1073)TIME,V(1)
GO TO 1897
1896 WRITE(3,1073)NTM,V(2)

```

IMPRESION DE LOS RESULTADOS

```

C
C
1897 DO 241 I=1,NPX
WRITE(3,303) (PC1(I,J),J=1,NPY)
303 FORMAT(/19X,10F8.2,3(/19X,10F8.2))
241 CONTINUE

```

TERMINA UN PROGRAMA DE EXPLOTACION

```
250 CONTINUE
```

TERMINA EL CALCULO

```

C
C
10000 CALL EXIT
END

```

FEATURES SUPPORTED
ONE WORD INTEGERS
EXTENDED PRECISION
IOCS

CORE REQUIREMENTS FOR
COMMON 286 VARIABLES 2048 PROGRAM 2092

END OF COMPILATION

// DUP

```

*DELETE          SIMUL
CART ID 0001    DB ADDR 6026    DB CNT 0094

```

```

*STORE          WS UA SIMUL
CART ID 0001    DB ADDR 6064    DB CNT 009C

```


MONOGRAMAS

SIMBOLO	FORTTRAN	
$A_{i,j}$	A(I,J)	Coficiente de la matriz para el <u>pri</u> mer paso del ADIP.
$A'_{i,j}$	A(I,J)	Coficiente de la matriz para el se-gundo paso del ADIP.
$B_{i,j}$	B(I,J)	Coficiente de la matriz para el <u>pri</u> mer paso del ADIP.
$B'_{i,j}$	B(I,J)	Coficiente de la matriz para el se-gundo paso del ADIP.
$C_{i,j}$	C(I,J)	Coficiente de la matriz para el <u>pri</u> mer paso del ADIP.
$C'_{i,j}$	C(I,J)	Coficiente de la matriz para el se-gundo paso del ADIP.
c	COMPR	Compresibilidad
C_{ll}		Concentración del componente l en la fase l .
C_{lv}		Concentración del componente l en la fase v .
C_{lw}		Concentración del componente l en la fase w .
COEF1	COEF1	Coficiente de unidades.
COEF2	COEF2	Coficiente de unidades.

SIMBOLO	FORTTRAN	
COEF3	COEF3	Coefficiente de unidades.
$D_{i,j}$	D(I,J)	Coefficiente de la matriz para el primer paso del ADIP.
$D'_{i,j}$	D(I,J)	Coefficiente de la matriz para el segundo paso del ADIP.
G_1	G(I)	Elemento de algoritmo de Thomas.
	GAUSS	Número de iteraciones realizadas por el método de Gauss-Seidel antes de pasar al PSOR.
$GAMA_L$	GAMA(I)	Parámetro de iteración del ADIP <u>ite</u> rativo.
H	H	Espesor del modelo.
L	I	Subíndice de posición en la dirección x
j	J	Subíndice de posición en la dirección y
$K_{xh_{L,j}}$	KxH(I,J)	Capacidad en la dirección x para <u>ca</u> da nodo de la malla.
$K_{yh_{L,j}}$	KyH(I,J)	Capacidad en la dirección y para <u>ca</u> da nodo de la malla.
L	L	Longitud mínima de la malla.
	NCO	Número de programas de explotación.
nil		Flujo molar del componente i en la fase líquida L.

SIMBOLO	FORTRAN	
	NITE	Número máximo de iteraciones.
n_{iv}		Flujo molar del componente i en la fase vapor v .
n_{iw}		Flujo molar del componente i en la fase líquida w .
	NMX	Número de nodos en la dirección x .
	NMY	Número de nodos en la dirección y .
	NTM	Contador de iteraciones
P^*		Solución de la ecuación diferencial.
P		Solución verdadera de la ecuación en diferencias finitas.
\bar{P}		Solución calculada de la ecuación en diferencias finitas.
$P_{i,j}^n$	PC1=P1	Valor de la presión en la iteración n .
$P_{i,j}^{n+1}$	PC2=P2	Valor de la presión en la iteración $n+1$
	PI	Presión inicial del yacimiento
Q^*_i		Rata de inyección del elemento i $\left(\frac{\text{moles}}{\text{día-pie}^3} \right)$
$(\text{c.c.s.})_{i,j}$	QD(I,J)	Rata de inyección (BPD)

SIMBOLO	FORTRAN	
S_l		Saturación fraccional de la fase líquida l .
S_v		Saturación fraccional de la fase <u>va</u> por v .
S_w		Saturación fraccional de la fase <u>lí</u> quida w .
t	TIME	Tiempo
	TMAX	Tiempo máximo de predicción
W_i	W(I)	Elemento del algoritmo de Thomas
W_{opt}	WOPT	Parámetro de aceleración de convergencia del PSOR.
B_0	BO	Factor volumétrico.
ϵ	TOL	Tolerancia permisible.
$\Delta x = \Delta y$	DX	Longitud del intervalo
Δt	DT	Intervalo de tiempo
$(\phi h)_{i,j}$	(FIH) _{i,j}	Producto porosidad \cdot espesor para <u>ca</u> da nodo de la malla.
μ	MU	Viscosidad

 DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 2.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.798
 RESIDUO(2, 5)= -0.397143E-09
 Q(5, 5)= -724.312
 RESIDUO(5, 5)= 0.767354E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.358334E-09
 Q(5, 7)= -647.714
 RESIDUO(5, 7)= 0.370961E-09
 W OPTIMO= 1.54911

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	548.30	518.80	516.76	520.58	550.71	-0.00	-0.00
-0.00	653.58	678.76	574.12	500.00	512.67	500.00	577.33	684.56	660.66
629.50	632.60	624.52	574.09	533.54	526.84	534.96	578.36	628.59	640.74
626.72	624.04	612.01	570.76	532.58	526.95	535.27	576.32	620.43	635.30
626.45	626.17	636.78	567.22	500.00	512.49	500.00	575.75	665.09	650.20
-0.00	618.11	608.03	568.87	525.68	518.80	523.57	574.07	626.07	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.313
 Q(2, 7) = -538.185
 Q(5, 7) = -647.724

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	548.30	518.80	516.76	520.58	550.71	3000.00	3000.00
3000.00	653.58	678.75	574.12	500.00	512.67	500.00	577.33	684.57	660.67
629.50	632.60	624.52	574.09	533.54	526.84	534.96	578.36	628.59	640.75
626.72	624.04	612.01	570.76	532.58	526.95	535.27	576.32	620.44	635.30
626.46	626.17	636.78	567.22	500.00	512.49	500.00	575.75	665.10	650.21
3000.00	618.11	608.03	568.87	525.68	518.80	523.57	574.07	626.07	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.913
 RESIDUO(2, 5)= -0.124935E-08
 Q(5, 5)= -724.503
 RESIDUO(5, 5)= -0.130777E-08
 Q(2, 7)= -538.214
 RESIDUO(2, 7)= -0.604965E-09
 Q(5, 7)= -647.758
 RESIDUO(5, 7)= -0.550658E-09

TIEMPO = 79.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	548.31	518.81	516.76	520.58	550.71	0.00	0.00
0.00	653.62	678.79	574.14	500.00	512.68	500.00	577.34	684.57	660.67
629.55	632.65	624.56	574.11	533.54	526.84	534.96	578.36	628.59	640.75
626.78	624.08	612.05	570.78	532.58	526.96	535.27	576.32	620.44	635.30
626.51	626.22	636.82	567.24	500.00	512.50	500.00	575.75	665.10	650.21
0.00	618.15	608.07	568.89	525.69	518.81	523.58	574.07	626.07	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.924
 Q(5, 5) = -724.529
 Q(2, 7) = -538.223
 Q(5, 7) = -647.770

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 76.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	548.31	518.81	516.76	520.58	550.72	0.00	0.00
0.00	653.63	678.79	574.14	500.00	512.68	500.00	577.34	684.57	660.67
629.56	632.65	624.56	574.11	533.55	526.84	534.96	578.36	628.59	640.75
626.78	624.09	612.05	570.78	532.58	526.96	535.27	576.32	620.44	635.30
626.52	626.22	636.82	567.24	500.00	512.50	500.00	575.75	665.10	650.21
0.00	618.16	608.07	568.89	525.69	518.81	523.58	574.07	626.07	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.146989E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -538.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.91	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X	6
NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y	10
NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES	500
FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO	1.000
DELTA X	600.0
LONGITUD MINIMA DE LA MALLA	3300.0
EPSILON	0.0100
PRESION INICIAL	3000.0
VISCOSIDAD DEL PETROLEO	15.00
ESPESSOR DEL YACIMIENTO	30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	9.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 RESIDUO(2, 5)= -0.447167E-09
 Q(5, 5)= -724.310
 RESIDUO(5, 5)= 0.303762E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.176253E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.295992E-09
 W OPTIMO= 1.54868

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	862.28	641.04	625.70	654.37	880.38	-0.00	-0.00
-0.00	1651.86	1840.68	1055.91	500.00	595.09	500.00	1080.03	1884.25	1705.00
1471.25	1494.53	1433.93	1055.68	751.55	701.33	762.21	1087.74	1464.45	1555.61
1450.42	1430.30	1340.12	1030.74	744.35	702.17	764.54	1072.41	1403.28	1514.76
1448.43	1446.33	1525.90	1004.20	500.00	593.73	500.00	1068.15	1738.24	1626.55
-0.00	1385.84	1310.27	1016.55	692.64	641.06	676.84	1055.54	1445.55	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.310
 Q(2, 7) = -538.180
 Q(5, 7) = -647.716

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	862.28	641.04	625.70	654.37	880.38	3000.00	3000.00
3000.00	1651.86	1840.68	1055.91	500.00	595.09	500.00	1080.03	1884.26	1705.00
1471.25	1494.53	1433.93	1055.68	751.55	701.33	762.21	1087.74	1464.45	1555.62
1450.42	1430.30	1340.12	1030.74	744.35	702.17	764.54	1072.41	1403.28	1514.77
1448.44	1446.33	1525.90	1004.20	500.00	593.73	500.00	1068.15	1738.24	1626.56
3000.00	1385.84	1310.27	1016.55	692.64	641.06	676.84	1055.55	1445.55	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.943
 RESIDUO(2, 5)= -0.154989E-08
 Q(5, 5)= -724.560
 RESIDUO(5, 5)= -0.168199E-08
 Q(2, 7)= -538.236
 RESIDUO(2, 7)= -0.995353E-09
 Q(5, 7)= -647.786
 RESIDUO(5, 7)= -0.926830E-09

TIFMPO = 450.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	862.40	641.09	625.73	654.39	880.41	0.00	0.00
0.00	1652.27	1841.00	1056.07	500.00	595.11	500.00	1080.06	1884.31	1705.07
1471.77	1494.96	1434.25	1055.87	751.64	701.37	762.24	1087.78	1464.51	1555.68
1450.93	1430.72	1340.43	1030.94	744.43	702.22	764.57	1072.45	1403.34	1514.83
1448.95	1446.75	1526.21	1004.38	500.00	593.76	500.00	1068.19	1738.30	1626.62
0.00	1386.25	1310.58	1016.75	692.71	641.10	676.86	1055.58	1445.61	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.943
 Q(5, 5) = -724.561
 Q(2, 7) = -538.235
 Q(5, 7) = -647.786

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 440.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	862.40	641.09	625.73	654.39	880.41	0.00	0.00
0.00	1652.27	1841.00	1056.07	500.00	595.11	500.00	1080.06	1884.31	1705.07
1471.77	1494.96	1434.25	1055.87	751.64	701.37	762.24	1087.78	1464.51	1555.68
1450.93	1430.72	1340.43	1030.94	744.43	702.22	764.57	1072.45	1403.34	1514.83
1448.95	1446.75	1526.21	1004.38	500.00	593.76	500.00	1068.19	1738.30	1626.62
0.00	1386.25	1310.58	1016.75	692.71	641.10	676.86	1055.58	1445.61	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.1000
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.823
 RESIDUO(2, 5)= -0.149537E-07
 Q(5, 5)= -724.322
 RESIDUO(5, 5)= 0.645849E-09
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= -0.619976E-08
 Q(5, 7)= -547.711
 RESIDUO(5, 7)= 0.351587E-08
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 23

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.78	547.02	541.91	551.46	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	884.01	946.93	685.32	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.82	831.56	811.34	685.23	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.86	810.13	780.05	676.92	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.18	815.46	841.98	668.07	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.30	770.10	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.737
 Q(5, 5)= -724.186
 Q(2, 7)= -538.061
 Q(5, 7)= -647.540

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 19.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.74	547.00	541.89	551.44	626.75	3000.00	3000.00
3000.00	883.89	946.85	685.28	500.00	531.69	500.00	693.30	961.33	901.55
823.68	831.45	811.28	685.20	583.84	567.09	587.38	695.86	821.40	851.76
816.72	810.03	779.99	676.88	581.43	567.37	588.15	690.74	801.01	838.15
816.07	815.39	841.93	668.04	500.00	531.23	500.00	689.33	912.66	875.41
3000.00	795.22	770.05	672.15	564.20	547.01	558.93	685.13	815.10	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TÉCNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -491.235
 RESIDUO(2, 5)= -0.151973E-07
 Q(5, 5)= -726.709
 RESIDUO(5, 5)= -0.163624E-07
 Q(2, 7)= -538.738
 RESIDUO(2, 7)= -0.103471E-07
 Q(5, 7)= -648.417
 RESIDUO(5, 7)= -0.976721E-08

TIEMPO = 135.0 DIAS

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	621.14	547.16	542.00	551.52	626.89	0.00	0.00
0.00	885.31	947.92	685.83	500.00	531.77	500.00	693.46	961.62	901.91
825.43	832.92	812.34	685.84	584.11	567.26	587.51	696.06	821.68	852.11
818.47	811.49	781.04	677.53	581.71	567.54	588.28	690.95	801.30	838.49
817.82	816.82	842.95	668.63	500.00	531.32	500.00	689.51	912.95	875.76
0.00	796.59	771.09	672.82	564.45	547.14	559.02	685.32	815.38	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -491.230
 Q(5, 5) = -726.723
 Q(2, 7) = -538.744
 Q(5, 7) = -648.425

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 132.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	621.14	547.16	542.00	551.52	626.89	0.00	0.00
0.00	885.29	947.91	685.82	500.00	531.77	500.00	693.46	961.62	901.91
825.41	832.90	812.33	685.84	584.11	567.26	587.51	696.06	821.68	852.11
818.46	811.47	781.04	677.53	581.71	567.54	588.28	690.95	801.29	838.49
817.80	816.81	842.95	668.63	500.00	531.32	500.00	689.51	912.95	875.76
0.00	796.59	771.09	672.82	564.45	547.15	559.02	685.32	815.38	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X	6
NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y	10
NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES	500
FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO	1.000
DELTA X	600.0
LONGITUD MINIMA DE LA MALLA	3300.0
EPSILON	0.0100
PRESION INICIAL	3000.0
VISCOSIDAD DEL PETROLEO	5.00
ESPESOR DEL YACIMIENTO	30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.935
 RESIDUO(2, 5) = -0.146989E-08
 Q(5, 5) = -724.545
 RESIDUO(5, 5) = -0.158610E-08
 Q(2, 7) = -538.229
 RESIDUO(2, 7) = -0.856364E-09
 Q(5, 7) = -647.777
 RESIDUO(5, 7) = -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0010
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 RESIDUO(2, 5)= 0.715255E-10
 Q(5, 5)= -724.310
 RESIDUO(5, 5)= 0.155413E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= -0.286102E-10
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.441515E-11
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 30

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.09	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.795
 Q(5, 5) = -724.312
 Q(2, 7) = -538.182
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 27.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.808
 RESIDUO(2, 5)= -0.142697E-09
 Q(5, 5)= -724.333
 RESIDUO(5, 5)= -0.153824E-09
 Q(2, 7)= -538.184
 RESIDUO(2, 7)= -0.777067E-10
 Q(5, 7)= -647.721
 RESIDUO(5, 7)= -0.708191E-10

TIEMPO = 217.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.96	946.90	685.31	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.66
823.76	831.52	811.32	685.23	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.82	810.11	780.05	676.92	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.16	815.45	841.97	668.07	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
0.00	795.29	770.10	672.19	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.808
 Q(5, 5) = -724.334
 Q(2, 7) = -538.184
 Q(5, 7) = -647.721

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 213.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.96	946.90	685.31	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.66
823.76	831.52	811.32	685.23	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.82	810.11	780.05	676.92	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.16	815.45	841.97	668.07	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
0.00	795.29	770.10	677.19	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

 DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 300.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 1650.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.163113E-08
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.247955E-09
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.126732E-08
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.142203E-08
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUFLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.820
 RESIDUO(2, 5)= -0.438831E-08
 Q(5, 5)= -724.350
 RESIDUO(5, 5)= -0.445401E-08
 Q(2, 7)= -538.185
 RESIDUO(2, 7)= -0.148208E-08
 Q(5, 7)= -647.721
 RESIDUO(5, 7)= -0.133655E-08

TIFMPO = 51.0 DIAS

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.98	946.91	685.31	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.66
823.78	831.54	811.33	685.23	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.84	810.12	780.06	676.92	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.18	815.47	841.98	668.07	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
0.00	795.40	770.11	672.19	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.822
 Q(5, 5)= -724.358
 Q(2, 7)= -538.188
 Q(5, 7)= -647.726

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 49.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.46	626.79	0.00	0.00
0.00	883.98	946.91	685.31	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.78	831.53	811.33	685.23	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.84	810.12	780.06	676.92	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.18	815.47	841.90	668.08	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
0.00	795.31	770.11	672.19	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.59	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUFLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.146989E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -538.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.91	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	790.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 900
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 1200.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 6600.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.101946E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.154972E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.792079E-10
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.888771E-10
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

FSCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -490.391
 RESIDUO(2, 5)= -0.387562E-09
 Q(5, 5)= -725.313
 RESIDUO(5, 5)= -0.421250E-09
 Q(2, 7)= -538.406
 RESIDUO(2, 7)= -0.249588E-09
 Q(5, 7)= -648.000
 RESIDUO(5, 7)= -0.232723E-09

TIEMPO = 600.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.92	547.07	541.94	551.48	626.83	0.00	0.00
0.00	884.51	947.31	685.52	500.00	531.72	500.00	693.39	961.49	901.76
824.44	832.09	811.74	685.48	583.96	567.17	587.44	695.97	821.56	851.96
817.49	810.67	780.45	677.17	581.56	567.45	588.22	690.86	801.17	838.34
816.83	816.01	842.37	668.30	500.00	531.27	500.00	689.43	912.82	875.61
0.00	795.82	770.50	672.45	564.31	547.07	558.97	685.23	815.26	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -490.394
 Q(5, 5)= -725.319
 Q(2, 7)= -538.406
 Q(5, 7)= -648.001

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 590.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.92	547.07	541.94	551.48	626.83	0.00	0.00
0.00	884.51	947.32	685.52	500.00	531.72	500.00	693.39	961.49	901.76
824.44	832.09	811.74	685.48	583.96	567.17	587.44	695.97	821.56	851.96
817.50	810.67	780.46	677.17	581.56	567.45	588.22	690.86	801.17	838.34
816.84	816.01	842.38	668.30	500.00	531.27	500.00	689.43	912.82	875.61
0.00	795.83	770.50	672.45	564.31	547.07	558.97	685.23	815.26	0.00

 DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 1000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.795
 RESIDUO(2, 5)= -0.401073E-09
 Q(5, 5)= -724.312
 RESIDUO(5, 5)= 0.381469E-10
 Q(2, 7)= -538.178
 RESIDUO(2, 7)= -0.130512E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= -0.941311E-10
 W OPTIMO= 1.54807

ITERACION NUMERO 24

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.15	815.44	841.97	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.782
 Q(5, 5)= -724.293
 Q(2, 7)= -538.159
 Q(5, 7)= -647.690

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 20.0 ITER.

1000.00	1000.00	1000.00	620.75	547.01	541.90	551.45	626.78	1000.00	1000.00
1000.00	883.94	946.88	685.30	500.00	531.69	500.00	693.33	961.40	901.65
823.74	831.50	811.30	685.22	583.84	567.10	587.40	695.90	821.47	851.85
816.79	810.09	780.03	676.91	581.44	567.38	588.17	690.79	801.08	838.24
816.13	815.43	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.37	912.73	875.50
1000.00	795.27	770.08	672.18	564.21	547.02	558.94	685.17	915.17	1000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.148702E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.160270E-08
 Q(2, 7)= -538.234
 RESIDUO(2, 7)= -0.100541E-08
 Q(5, 7)= -647.783
 RESIDUO(5, 7)= -0.949082E-09

TIEMPO = 135.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.69
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.19	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.54
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.933
 Q(5, 5) = -724.544
 Q(2, 7) = -538.232
 Q(5, 7) = -647.781

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 125.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.19	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.54
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 2000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.795
 RESIDUO(2, 5)= -0.145700E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= -0.417144E-09
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.215459E-10
 Q(5, 7)= -647.714
 RESIDUO(5, 7)= -0.423855E-10
 W OPTIMO= 1.54893

ITERACION NUMERO 26

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	0.00	0.00
0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.760
 Q(5, 5) = -724.256
 Q(2, 7) = -538.123
 Q(5, 7) = -647.644

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 21.0 ITER.

2000.00	2000.00	2000.00	620.75	547.01	541.89	551.45	626.77	2000.00	2000.00
2000.00	883.92	946.87	685.29	500.00	531.69	500.00	693.32	961.38	901.62
823.71	831.48	811.29	685.21	583.84	567.10	587.39	695.89	821.44	851.83
816.77	810.07	780.02	676.90	581.44	567.38	588.16	690.78	801.06	838.21
816.11	815.41	841.95	668.05	500.00	531.24	500.00	689.36	912.71	875.47
2000.00	795.25	770.07	672.17	564.20	547.01	558.94	685.16	815.15	2000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.938
 RESIDUO(2, 5)= -0.150786E-08
 Q(5, 5)= -724.550
 RESIDUO(5, 5)= -0.162619E-08
 Q(2, 7)= -538.231
 RESIDUO(2, 7)= -0.906873E-09
 Q(5, 7)= -647.780
 RESIDUO(5, 7)= -0.839763E-09

TIEMPO = 165.0 DIAS

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.80	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.92	831.65	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.14	676.97	581.47	567.40	588.19	690.81	801.11	838.27
816.31	815.58	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.54
0.00	795.41	770.19	672.25	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.940
 Q(5, 5)= -724.556
 Q(2, 7)= -538.232
 Q(5, 7)= -647.782

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 161.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.80	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.09	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.92	831.65	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.24	780.14	676.97	581.47	567.40	588.19	690.81	801.11	838.27
816.31	815.58	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.54
0.00	795.41	770.19	672.25	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

 DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.146989E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -938.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

 DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 1000
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 300.000
 Q(5, 3)= 300.000
 Q(2, 9)= 300.000
 Q(5, 9)= 300.000
 Q(2, 5)= -244.898
 RESIDUO(2, 5)= -0.398512E-09
 Q(5, 5)= -362.156
 RESIDUO(5, 5)= 0.746161E-10
 Q(2, 7)= -269.089
 RESIDUO(2, 7)= 0.349239E-09
 Q(5, 7)= -323.857
 RESIDUO(5, 7)= 0.367517E-09
 W OPTIMO= 1.54910

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	560.38	523.50	520.95	525.72	563.39	-0.00	-0.00
-0.00	691.98	723.44	592.65	500.00	515.84	500.00	596.67	730.70	700.83
661.88	665.75	655.65	592.61	541.92	533.55	543.70	597.95	660.74	675.93
658.40	655.05	640.02	588.45	540.72	533.69	544.08	595.40	650.54	669.12
658.07	657.72	670.98	584.03	500.00	515.62	500.00	594.69	706.37	687.75
-0.00	647.64	635.04	586.09	532.10	523.51	529.47	592.59	657.59	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 300.000
 Q(5, 3) = 300.000
 Q(2, 9) = 300.000
 Q(5, 9) = 300.000
 Q(2, 5) = -244.897
 Q(5, 5) = -362.156
 Q(2, 7) = -269.091
 Q(5, 7) = -323.861

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	560.38	523.50	520.95	525.72	563.39	3000.00	3000.00
3000.00	691.97	723.44	592.65	500.00	515.84	500.00	596.67	730.71	700.83
661.87	665.75	655.65	592.61	541.92	533.55	543.70	597.95	660.74	675.94
658.40	655.05	640.02	588.45	540.72	533.69	544.09	595.40	650.55	669.13
658.07	657.72	670.98	584.03	500.00	515.62	500.00	594.69	706.37	687.76
3000.00	647.64	635.04	586.09	532.10	523.51	529.47	592.59	657.59	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 300.000
 Q(5, 3)= 300.000
 Q(2, 9)= 300.000
 Q(5, 9)= 300.000
 Q(2, 5)= -245.038
 RESIDUO(2, 5)= -0.147660E-08
 Q(5, 5)= -362.391
 RESIDUO(5, 5)= -0.159404E-08
 Q(2, 7)= -269.139
 RESIDUO(2, 7)= -0.858836E-09
 Q(5, 7)= -323.919
 RESIDUO(5, 7)= -0.791019E-09

TIEMPO = 177.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	560.41	523.52	520.96	525.73	563.40	0.00	0.00
0.00	692.11	723.54	592.70	500.00	515.85	500.00	596.68	730.72	700.85
662.04	665.89	655.75	592.67	541.95	533.56	543.71	597.96	660.75	675.95
658.56	655.18	640.11	588.51	540.75	533.70	544.09	595.41	650.56	669.14
658.23	657.85	671.08	584.08	500.00	515.63	500.00	594.70	706.39	687.77
0.00	647.77	635.14	586.15	532.13	523.52	529.48	592.60	657.60	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 300.000
 Q(5, 3) = 300.000
 Q(2, 9) = 300.000
 Q(5, 9) = 300.000
 Q(2, 5) = -245.037
 Q(5, 5) = -362.390
 Q(2, 7) = -269.139
 Q(5, 7) = -323.920

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 174.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	560.41	523.52	520.96	525.73	563.40	0.00	0.00
0.00	692.10	723.54	592.70	500.00	515.85	500.00	596.68	730.72	700.85
662.03	665.89	655.75	592.67	541.95	533.56	543.71	597.96	660.75	675.95
659.56	655.18	640.11	588.51	540.75	533.71	544.09	595.41	650.56	669.14
658.23	657.85	671.08	584.08	500.00	515.63	500.00	594.70	706.39	687.77
0.00	647.77	635.14	586.15	532.13	523.52	529.48	592.60	657.60	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.794
 Q(5, 5) = -724.311
 Q(2, 7) = -538.181
 Q(5, 7) = -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	839.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.1469889E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -538.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 1200.000
 Q(5, 3)= 1200.000
 Q(2, 9)= 1200.000
 Q(5, 9)= 1200.000
 Q(2, 5)= -979.590
 RESIDUO(2, 5)= -0.426327E-09
 Q(5, 5)= -1448.621
 RESIDUO(5, 5)= 0.476837E-10
 Q(2, 7)= -1076.359
 RESIDUO(2, 7)= 0.247602E-09
 Q(5, 7)= -1295.430
 RESIDUO(5, 7)= 0.328134E-09
 W OPTIMO= 1.54888

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	741.52	594.03	583.80	602.91	753.58	-0.00	-0.00
-0.00	1267.91	1393.79	870.61	500.00	563.39	500.00	886.68	1422.83	1303.33
1147.50	1163.02	1122.62	870.45	667.70	634.22	674.80	891.82	1142.96	1203.74
1133.61	1120.20	1060.08	853.83	662.90	634.78	676.36	881.60	1102.19	1176.51
1132.29	1130.88	1183.93	836.13	500.00	562.49	500.00	878.77	1325.49	1251.03
-0.00	1090.56	1040.18	844.37	628.42	594.04	617.89	870.36	1130.37	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 1200.000
 Q(5, 3) = 1200.000
 Q(2, 9) = 1200.000
 Q(5, 9) = 1200.000
 Q(2, 5) = -979.588
 Q(5, 5) = -1448.622
 Q(2, 7) = -1076.361
 Q(5, 7) = -1295.434

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	741.52	594.03	583.80	602.91	753.58	3000.00	3000.00
3000.00	1267.90	1393.79	870.61	500.00	563.39	500.00	886.68	1422.84	1303.33
1147.50	1163.02	1122.62	870.45	667.70	634.22	674.80	891.82	1142.97	1203.74
1133.61	1120.70	1060.08	853.83	662.90	634.78	676.36	881.61	1102.19	1176.51
1132.29	1130.88	1183.93	836.13	500.00	562.49	500.00	878.77	1325.50	1251.04
3000.00	1090.56	1040.18	844.37	628.43	594.04	617.89	870.36	1130.37	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 1200.000
 Q(5, 3)= 1200.000
 Q(2, 9)= 1200.000
 Q(5, 9)= 1200.000
 Q(2, 5)= -979.734
 RESIDUO(2, 5)= -0.152022E-08
 Q(5, 5)=-1448.863
 RESIDUO(5, 5)= -0.164067E-08
 Q(2, 7)=-1076.410
 RESIDUO(2, 7)= -0.892568E-09
 Q(5, 7)=-1295.495
 RESIDUO(5, 7)= -0.823338E-09

TIEMPO = 173.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	741.56	594.04	583.81	602.92	753.59	0.00	0.00
0.00	1269.04	1393.89	870.66	500.00	563.40	500.00	886.69	1422.85	1303.35
1147.67	1163.16	1122.73	870.51	667.73	634.23	674.81	891.84	1142.98	1203.76
1133.78	1120.34	1060.18	853.89	662.92	634.79	676.37	881.62	1102.20	1176.53
1132.46	1131.02	1184.03	836.19	500.00	562.49	500.00	878.78	1325.51	1251.05
0.00	1090.69	1040.28	844.43	628.45	594.05	617.90	870.37	1130.38	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 1200.000
 Q(5, 3)= 1200.000
 Q(2, 9)= 1200.000
 Q(5, 9)= 1200.000
 Q(2, 5)= -979.728
 Q(5, 5)=-1448.857
 Q(2, 7)=-1076.409
 Q(5, 7)=-1295.494

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 170.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	741.55	594.04	583.81	602.92	753.59	0.00	0.00
0.00	1268.03	1393.89	870.66	500.00	563.40	500.00	886.69	1422.85	1303.35
1147.66	1163.15	1122.72	870.51	667.73	634.23	674.81	891.84	1142.98	1203.76
1133.77	1120.33	1060.17	853.89	662.92	634.79	676.37	881.62	1102.20	1176.53
1132.45	1131.02	1184.03	836.19	500.00	562.49	500.00	878.78	1325.51	1251.05
0.00	1090.69	1040.28	844.43	628.45	594.05	617.90	870.37	1130.38	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.437453E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.724086E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.349503E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.382705E-09
 W OPTIMO= 1.54904

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	420.76	347.01	341.90	351.45	426.79	-0.00	-0.00
-0.00	683.95	746.89	485.30	300.00	331.69	300.00	493.34	761.41	701.66
623.75	631.51	611.31	485.22	383.85	367.11	387.40	495.91	621.48	651.87
616.81	610.10	580.04	476.91	381.45	367.39	388.17	490.80	601.09	638.25
616.14	615.44	641.96	468.06	300.00	331.24	300.00	489.38	712.74	675.51
-0.00	595.28	570.09	472.18	364.21	347.02	358.94	485.18	615.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 Q(5, 5)= -724.311
 Q(2, 7)= -538.181
 Q(5, 7)= -647.719

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	420.76	347.01	341.90	351.45	426.79	3000.00	3000.00
3000.00	683.95	746.89	485.30	300.00	331.69	300.00	493.34	761.42	701.67
623.75	631.51	611.31	485.22	383.85	367.11	387.40	495.91	621.48	651.87
616.80	610.10	580.04	476.91	381.45	367.39	388.18	490.80	601.09	638.26
616.14	615.44	641.96	468.06	300.00	331.24	300.00	489.38	712.75	675.52
3000.00	595.28	570.09	472.18	364.21	347.02	358.94	485.18	615.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLORACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.939
 RESIDUO(2, 5)= -0.151281E-08
 Q(5, 5)= -724.552
 RESIDUO(5, 5)= -0.163449E-08
 Q(2, 7)= -538.230
 RESIDUO(2, 7)= -0.879323E-09
 Q(5, 7)= -647.779
 RESIDUO(5, 7)= -0.811152E-09

TIEMPO = 177.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	420.80	347.03	341.91	351.46	426.80	0.00	0.00
0.00	684.09	746.99	485.35	300.00	331.70	300.00	493.35	761.43	701.68
623.92	631.65	611.41	485.28	383.87	367.12	387.41	495.92	621.50	651.89
616.97	610.24	580.14	476.97	381.47	367.40	388.19	490.81	601.11	638.27
616.31	615.58	642.06	468.12	300.00	331.25	300.00	489.29	712.76	675.53
0.00	595.41	570.19	472.25	364.23	347.03	358.95	485.19	615.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PPOGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.938
 Q(5, 5) = -724.552
 Q(2, 7) = -538.231
 Q(5, 7) = -647.780

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 174.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	420.79	347.03	341.91	351.46	426.80	0.00	0.00
0.00	684.08	746.99	485.35	300.00	331.70	300.00	493.35	761.43	701.68
623.91	631.65	611.41	485.28	383.87	367.12	387.41	495.92	621.50	651.89
616.97	610.23	580.14	476.97	381.47	367.40	388.19	490.81	601.11	638.27
616.31	615.58	642.06	468.12	300.00	331.25	300.00	489.39	712.76	675.53
0.00	595.41	570.19	472.25	364.23	347.03	358.95	485.19	615.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 5

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.78	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 5

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 Q(5, 5)= -724.311
 Q(2, 7)= -538.181
 Q(5, 7)= -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 5

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.146989E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -538.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 5

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.932
 Q(5, 5)= -724.543
 Q(2, 7)= -538.229
 Q(5, 7)= -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	598.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 6

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.200095E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= -0.550482E-09
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.582800E-10
 Q(5, 7)= -647.714
 RESIDUO(5, 7)= -0.425621E-10
 W OPTIMO= 1.54900

ITERACION NUMERO 26

***** ((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	1120.76	1047.01	1041.90	1051.45	1126.79	0.00	0.00
0.00	1383.95	1446.89	1185.30	1000.00	1031.69	1000.00	1193.34	1461.41	1401.66
1323.76	1331.51	1311.31	1185.22	1083.85	1067.11	1087.40	1195.91	1321.48	1351.87
1316.81	1310.10	1280.04	1176.91	1081.45	1067.39	1088.18	1190.80	1301.09	1338.25
1316.15	1315.44	1341.97	1168.06	1000.00	1031.24	1000.00	1189.38	1412.74	1375.51
0.00	1295.28	1270.09	1172.18	1064.21	1047.02	1058.94	1185.18	1315.18	0.00

ESCUFLA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 6

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 Q(5, 5)= -724.311
 Q(2, 7)= -538.181
 Q(5, 7)= -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00 3000.00 3000.00 1120.76 1047.01 1041.90 1051.45 1126.79 3000.00 3000.00
 3000.00 1383.95 1446.89 1185.30 1000.00 1031.69 1000.00 1193.34 1461.42 1401.66
 1323.75 1331.51 1311.31 1185.22 1083.85 1067.11 1087.40 1195.91 1321.48 1351.87
 1316.80 1310.10 1280.04 1176.91 1081.45 1067.39 1088.18 1190.80 1301.09 1338.25
 1316.14 1315.44 1341.96 1168.06 1000.00 1031.24 1000.00 1189.38 1412.75 1375.52
 3000.00 1295.78 1270.09 1172.18 1064.21 1047.02 1058.94 1185.18 1315.18 3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 6

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.939
 RESIDUO(2, 5)= -0.151281E-08
 Q(5, 5)= -724.551
 RESIDUO(5, 5)= -0.163360E-08
 Q(2, 7)= -538.230
 RESIDUO(2, 7)= -0.894157E-09
 Q(5, 7)= -647.779
 RESIDUO(5, 7)= -0.824751E-09

TIEMPO = 171.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	1120.80	1047.03	1041.91	1051.46	1126.80	0.00	0.00
0.00	1384.09	1446.99	1185.35	1000.00	1031.70	1000.00	1193.35	1461.43	1401.68
1323.92	1331.65	1311.41	1185.28	1083.87	1067.12	1087.41	1195.92	1321.50	1351.89
1316.97	1310.24	1280.14	1176.97	1081.47	1067.40	1088.19	1190.81	1301.11	1338.27
1316.31	1315.58	1342.06	1168.12	1000.00	1031.25	1000.00	1189.39	1412.76	1375.53
0.00	1295.41	1270.19	1172.25	1064.23	1047.03	1058.95	1185.19	1315.20	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 6

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.938
 Q(5, 5)= -724.553
 Q(2, 7)= -538.231
 Q(5, 7)= -647.780

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 167.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	1120.79	1047.03	1041.91	1051.46	1126.80	0.00	0.00
0.00	1384.08	1446.99	1185.35	1000.00	1031.70	1000.00	1193.35	1461.43	1401.68
1323.91	1331.65	1311.41	1185.28	1083.87	1067.12	1087.41	1195.92	1321.50	1351.89
1316.97	1310.23	1280.14	1176.97	1081.47	1067.40	1088.19	1190.81	1301.11	1338.27
1316.31	1315.58	1342.06	1168.12	1000.00	1031.25	1000.00	1189.39	1412.76	1375.53
0.00	1295.41	1270.19	1172.25	1064.23	1047.03	1058.95	1185.19	1315.20	0.00

DATOS

NUMERO DE NODOS EN X 6
 NUMERO DE NODOS EN DIRECCION Y 10
 NUMERO MAXIMO DE ITERACIONES 500
 FACTOR VOLUMETRICO DEL PETROLEO 1.000
 DELTA X 600.0
 LONGITUD MINIMA DE LA MALLA 3300.0
 EPSILON 0.0100
 PRESION INICIAL 3000.0
 VISCOSIDAD DEL PETROLEO 5.00
 ESPESOR DEL YACIMIENTO 30.00

((FIH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00	0.00
0.00	8.20	8.20	8.20	6.23	7.22	6.89	8.20	8.20	8.20
8.20	8.20	6.23	6.56	7.55	8.20	7.87	7.22	6.56	8.20
8.20	6.23	7.55	8.53	9.19	9.51	10.17	9.84	8.53	8.20
8.20	8.20	6.89	8.86	8.53	9.19	9.51	8.53	8.20	8.20
0.00	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	8.20	0.00

((KXH(I,J),I=1,NMX),J=1,NMY)

0.00	0.00	6.56	5.91	5.25	0.00
0.00	5.58	6.23	6.89	6.89	6.23
0.00	6.89	7.55	7.55	9.51	5.58
4.59	5.91	6.56	10.50	7.87	9.84
5.91	7.22	7.87	11.16	9.84	7.22
6.89	8.86	9.51	9.51	10.83	7.55
4.92	7.55	8.86	8.20	10.83	5.58
4.59	6.56	6.56	9.19	7.87	4.59
0.00	6.23	6.23	6.89	4.27	6.23
0.00	5.91	5.91	6.56	4.59	0.00

((KYH(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)

0.00	0.00	0.00	3.94	5.25	6.56	3.94	5.91	0.00	0.00
0.00	4.59	5.25	5.25	5.91	6.56	6.56	5.25	5.91	3.94
5.25	5.91	6.56	7.22	8.53	8.53	9.19	7.22	7.87	5.91
5.58	6.23	8.20	10.83	9.51	10.17	12.14	8.86	10.17	5.58
4.92	5.58	6.89	9.51	8.86	8.20	7.55	6.23	5.58	5.58
0.00	4.27	6.23	7.55	4.27	6.23	2.95	5.58	2.30	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3)= 600.000
Q(3, 8)= -600.010
RESIDUO(3, 8)= 0.318068E-09
W OPTIMO= 1.87822

ITERACION NUMERO 103

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****
-0.00 -0.00 -0.00 775.86 738.75 695.54 646.77 608.34 -0.00 -0.00
-0.00 893.03 870.47 808.34 751.65 695.65 636.05 574.40 562.74 564.02
918.40 911.83 900.26 834.11 767.22 700.31 624.60 500.00 551.27 565.10
924.28 934.15 979.57 861.28 784.18 715.33 654.80 597.09 584.82 581.40
920.41 916.30 908.07 849.33 789.41 729.16 674.61 629.37 608.17 594.79
-0.00 902.07 884.28 844.69 791.57 735.29 683.19 643.64 623.38 -0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3)= 600.000

Q(3, 8)= -600.221

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 69.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	775.95	738.83	695.61	646.82	608.38	3000.00	3000.00
3000.00	893.14	870.57	808.44	751.73	695.72	636.09	574.43	562.76	564.05
918.52	911.94	900.37	834.21	767.30	700.38	624.64	500.00	551.29	565.12
924.41	934.27	979.68	861.38	784.27	715.41	654.86	597.12	584.85	581.43
920.53	916.41	908.18	849.43	789.50	729.24	674.67	629.42	608.22	594.83
3000.00	902.18	884.40	844.79	791.66	735.37	683.26	643.69	623.43	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3)= 600.000
Q(3, 8)= -601.109
RESIDUO(3, 8)= -0.371738E-08

TIEMPO = 538.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	776.31	739.16	695.88	647.03	608.55	0.00	0.00
0.00	893.60	871.00	808.81	752.05	695.98	636.29	574.54	562.86	564.16
919.01	912.41	900.80	834.59	767.63	700.64	624.81	500.00	551.37	565.24
924.89	934.73	980.11	861.77	784.61	715.69	655.07	597.27	584.99	581.57
921.02	916.88	908.62	849.83	789.85	729.54	674.91	629.62	608.39	594.99
0.00	902.65	884.83	845.20	792.03	735.68	683.52	643.91	623.63	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 1

GASTOS DE LOS POZOS

$Q(4, 3) = 600.000$
 $Q(3, 8) = -601.116$

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 535.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	776.32	739.16	695.88	647.03	608.55	0.00	0.00
0.00	893.60	871.00	808.82	752.06	695.99	636.29	574.54	562.87	564.16
919.01	912.41	900.80	834.60	767.64	700.64	624.81	500.00	551.37	565.24
924.89	934.73	980.11	861.77	784.62	715.69	655.07	597.27	584.99	581.57
921.02	916.88	908.62	849.83	789.86	729.54	674.91	629.62	608.39	594.99
0.00	902.65	884.84	845.20	792.03	735.69	683.52	643.91	623.63	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3)= 600.000
 Q(3, 8)= 600.000
 Q(2, 5)= -514.559
 RESIDUO(2, 5)= -0.293208E-08
 Q(5, 6)= -685.465
 RESIDUO(5, 6)= -0.450169E-09
 W OPTIMO= 1.61775

ITERACION NUMERO 32

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	580.67	555.58	597.85	647.61	685.83	0.00	0.00
0.00	702.96	676.94	602.63	500.00	596.36	659.32	719.59	729.72	727.61
731.96	724.64	713.24	650.40	598.65	615.55	675.19	793.92	740.47	725.84
738.50	748.76	795.88	682.33	618.89	593.67	638.18	692.73	704.58	708.00
734.95	731.18	723.49	664.60	599.42	500.00	597.00	653.24	677.76	692.87
0.00	717.00	699.29	659.29	604.70	551.83	595.13	638.12	660.77	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3) = 600.000
 Q(3, 8) = 600.000
 Q(2, 5) = -514.575
 Q(5, 6) = -685.500

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 26.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	580.67	555.58	597.85	647.61	685.84	3000.00	3000.00
3000.00	702.97	676.95	602.63	500.00	596.37	659.33	719.60	729.73	727.62
731.97	724.65	713.25	650.40	598.65	615.55	675.19	793.93	740.48	725.85
738.51	748.77	795.90	682.34	618.90	593.68	638.19	692.74	704.59	708.01
734.97	731.20	723.50	664.61	599.43	500.00	597.01	653.25	677.77	692.88
3000.00	717.02	699.30	659.30	604.71	551.83	595.13	638.13	660.78	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3)= 600.000
 Q(3, 8)= 600.000
 Q(2, 5)= -515.023
 RESIDUO(2, 5)= -0.500272E-08
 Q(5, 6)= -686.127
 RESIDUO(5, 6)= -0.554155E-08

TIEMPO = 244.0 DIAS

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	580.75	555.63	597.94	647.75	686.01	0.00	0.00
0.00	703.15	677.09	602.72	500.00	596.45	659.46	719.78	729.95	727.86
732.18	724.84	713.40	650.52	598.73	615.65	675.33	794.10	740.69	726.09
738.73	748.97	796.06	682.47	618.99	593.76	638.31	692.91	704.79	708.24
735.19	731.39	723.67	664.74	599.51	500.00	597.11	653.41	677.97	693.11
0.00	717.21	699.47	659.44	604.80	551.88	595.24	638.30	660.98	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 2

GASTOS DE LOS POZOS

Q(4, 3) = 600.000
 Q(3, 8) = 600.000
 Q(2, 5) = -515.022
 Q(5, 6) = -686.126

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 242.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	580.75	555.63	597.94	647.75	686.00	0.00	0.00
0.00	703.15	677.09	602.72	500.00	596.45	659.46	719.78	729.95	727.86
732.18	724.84	713.40	650.52	598.73	615.65	675.33	794.10	740.69	726.08
738.73	748.97	796.05	682.47	618.99	593.76	638.31	692.91	704.79	708.24
735.19	731.39	723.66	664.74	599.51	500.00	597.11	653.41	677.97	693.11
0.00	717.21	699.47	659.44	604.80	551.88	595.24	638.30	660.98	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRRERELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 4)= 600.000
 Q(2, 6)= 600.000
 Q(2, 8)= 600.000
 Q(5, 4)= -635.045
 RESIDUO(5, 4)= -0.226056E-10
 Q(5, 6)= -594.568
 RESIDUO(5, 6)= 0.664039E-10
 Q(5, 8)= -570.396
 RESIDUO(5, 8)= -0.492731E-10
 W OPTIMO= 1.57766

ITERACION NUMERO 30

*****((P(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	965.33	943.97	961.27	949.65	974.48	0.00	0.00
0.00	761.92	820.06	984.03	913.45	981.98	920.26	996.42	855.95	801.87
689.39	713.48	740.45	774.06	778.07	800.54	793.75	797.33	772.89	756.80
667.83	664.73	655.92	644.02	653.89	651.80	661.55	658.62	682.81	696.30
647.01	624.88	586.93	500.00	552.89	500.00	557.69	500.00	599.11	647.68
0.00	601.40	572.05	533.41	538.41	520.50	541.07	531.24	570.02	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 4) = 600.000
 Q(2, 6) = 600.000
 Q(2, 8) = 600.000
 Q(5, 4) = -635.042
 Q(5, 6) = -594.567
 Q(5, 8) = -570.394

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 20.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	965.32	943.96	961.26	949.65	974.48	3000.00	3000.00
3000.00	761.91	820.05	984.02	913.45	981.98	920.25	996.42	855.95	801.87
689.38	713.47	740.44	774.05	778.06	800.54	793.74	797.33	772.89	756.80
667.82	664.73	655.92	644.02	653.89	651.80	661.55	658.62	682.81	696.30
647.00	624.88	586.93	500.00	552.89	500.00	557.69	500.00	599.11	647.68
3000.00	601.40	572.05	533.41	538.41	520.50	541.07	531.24	570.02	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 4)= 600.000
 Q(2, 6)= 600.000
 Q(2, 8)= 600.000
 Q(5, 4)= -635.464
 RESIDUO(5, 4)= -0.280221E-08
 Q(5, 6)= -594.838
 RESIDUO(5, 6)= -0.176058E-08
 Q(5, 8)= -570.687
 RESIDUO(5, 8)= -0.262278E-08

TIEMPO = 195.0 DIAS

*****((p(I,J),J=1,NMY),I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	965.51	944.14	961.43	949.82	974.66	0.00	0.00
0.00	762.10	820.23	984.18	913.60	982.12	920.40	996.57	856.10	802.02
649.57	713.65	740.59	774.18	778.18	800.65	793.86	797.45	773.02	756.94
668.00	664.88	656.03	644.09	653.96	651.86	661.62	658.70	682.91	696.41
647.17	625.01	587.01	500.00	552.92	500.00	557.72	500.00	599.17	647.78
0.00	601.51	572.13	533.44	538.43	520.51	541.09	531.26	570.06	0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 3

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 4) = 600.000
 Q(2, 6) = 600.000
 Q(2, 8) = 600.000
 Q(5, 4) = -635.476
 Q(5, 6) = -594.851
 Q(5, 8) = -570.704

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 191.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	965.51	944.14	961.44	949.83	974.66	0.00	0.00
0.00	762.10	820.23	984.19	913.60	982.13	920.41	996.58	856.11	802.03
689.57	713.65	740.59	774.18	778.19	800.66	793.86	797.45	773.03	756.95
668.00	664.88	656.03	644.10	653.96	651.87	661.62	658.70	682.91	696.42
647.17	625.01	587.01	500.00	552.92	500.00	557.72	500.00	599.18	647.78
0.00	601.51	572.13	533.44	538.43	520.51	541.10	531.27	570.07	0.00

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO PUNTUAL DE SOBRERRELAJACION SUCESIVA
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.796
 RESIDUO(2, 5)= -0.407784E-09
 Q(5, 5)= -724.311
 RESIDUO(5, 5)= 0.619888E-10
 Q(2, 7)= -538.179
 RESIDUO(2, 7)= 0.316831E-09
 Q(5, 7)= -647.715
 RESIDUO(5, 7)= 0.355508E-09
 W OPTIMO= 1.54903

ITERACION NUMERO 27

***** (P(I,J), J=1,NMY), I=1,NMX) *****

-0.00	-0.00	-0.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	-0.00	-0.00
-0.00	883.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.41	901.66
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.81	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.17	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.74	875.51
-0.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	559.94	685.18	815.18	-0.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN PERMANENTE
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.794
 Q(5, 5)= -724.311
 Q(2, 7)= -538.181
 Q(5, 7)= -647.718

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 25.0 ITER.

3000.00	3000.00	3000.00	620.76	547.01	541.90	551.45	626.79	3000.00	3000.00
3000.00	843.95	946.89	685.30	500.00	531.69	500.00	693.34	961.42	901.67
823.75	831.51	811.31	685.22	583.85	567.11	587.40	695.91	821.48	851.87
816.80	810.10	780.04	676.91	581.45	567.39	588.18	690.80	801.09	838.25
816.14	815.44	841.96	668.06	500.00	531.24	500.00	689.38	912.75	875.52
3000.00	795.28	770.09	672.18	564.21	547.02	558.94	685.18	815.18	3000.00

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO EXPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3)= 600.000
 Q(5, 3)= 600.000
 Q(2, 9)= 600.000
 Q(5, 9)= 600.000
 Q(2, 5)= -489.935
 RESIDUO(2, 5)= -0.146989E-08
 Q(5, 5)= -724.545
 RESIDUO(5, 5)= -0.158610E-08
 Q(2, 7)= -538.229
 RESIDUO(2, 7)= -0.856364E-09
 Q(5, 7)= -647.777
 RESIDUO(5, 7)= -0.788547E-09

TIEMPO = 176.0 DIAS

***** (P(I,J), J=1,NMY), I=1,NMX)*****

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.97	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.31	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.41	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00

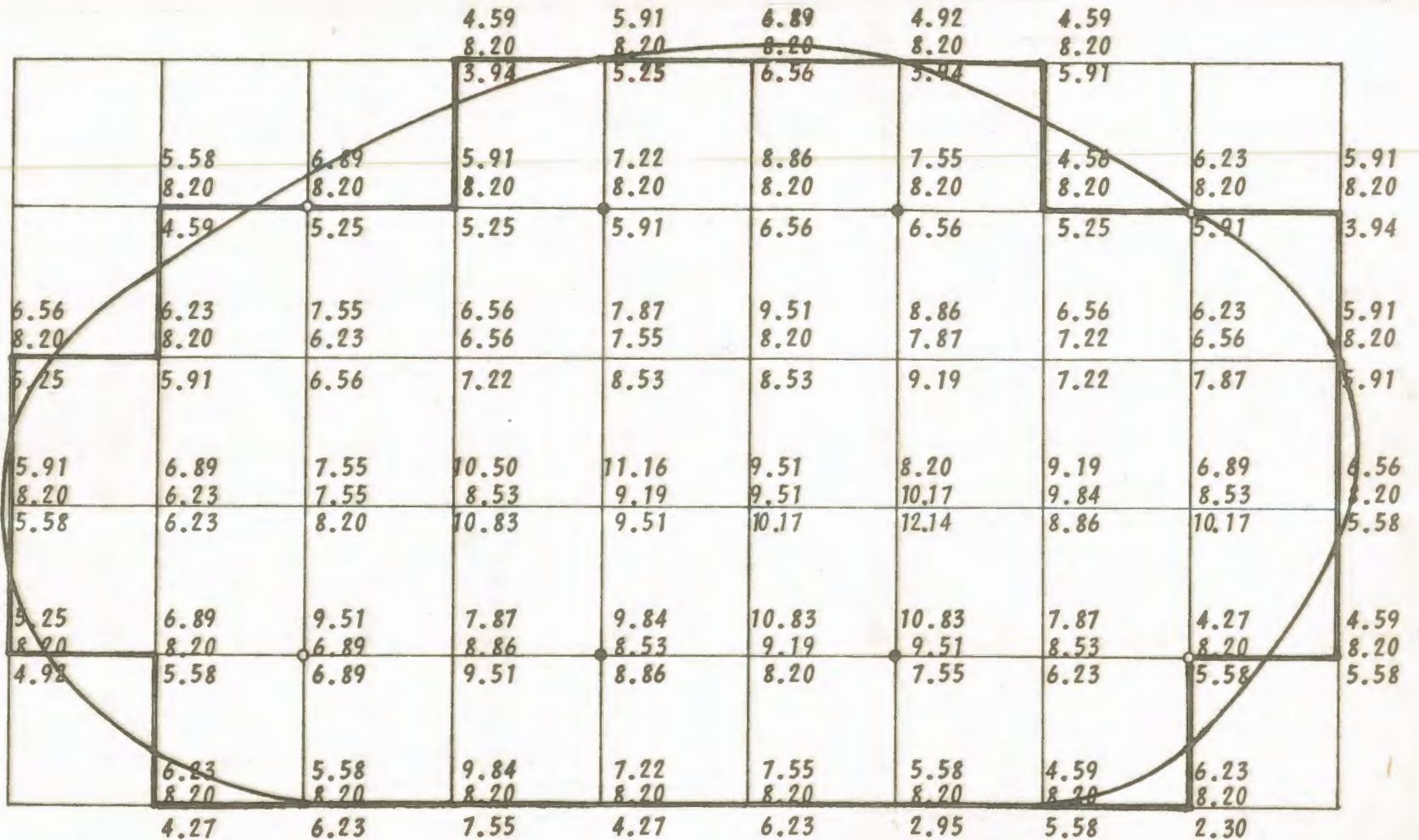
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
 COMPARACION DE DIFERENTES TECNICAS NUMERICAS
 EN LA SIMULACION DE UN YACIMIENTO
 SOLUCION DEL FLUJO BIDIMENSIONAL EN REGIMEN TRANSITORIO
 DE UNA FASE POR EL METODO IMPLICITO DE DIRECCION ALTERNANTE
 PROGRAMA DE EXPLOTACION NUMERO 4

GASTOS DE LOS POZOS

Q(2, 3) = 600.000
 Q(5, 3) = 600.000
 Q(2, 9) = 600.000
 Q(5, 9) = 600.000
 Q(2, 5) = -489.932
 Q(5, 5) = -724.543
 Q(2, 7) = -538.229
 Q(5, 7) = -647.777

DISTRIBUCION DE PRESIONES EN EL YACIMIENTO EN 173.0 DIAS

0.00	0.00	0.00	620.79	547.03	541.91	551.46	626.80	0.00	0.00
0.00	884.08	946.99	685.35	500.00	531.70	500.00	693.35	961.43	901.68
823.91	831.64	811.41	685.28	583.87	567.12	587.41	695.92	821.50	851.89
816.96	810.23	780.13	676.97	581.47	567.40	588.18	690.81	801.11	838.27
816.30	815.57	842.06	668.12	500.00	531.25	500.00	689.39	912.76	875.53
0.00	795.40	770.18	672.24	564.23	547.03	558.95	685.19	815.20	0.00



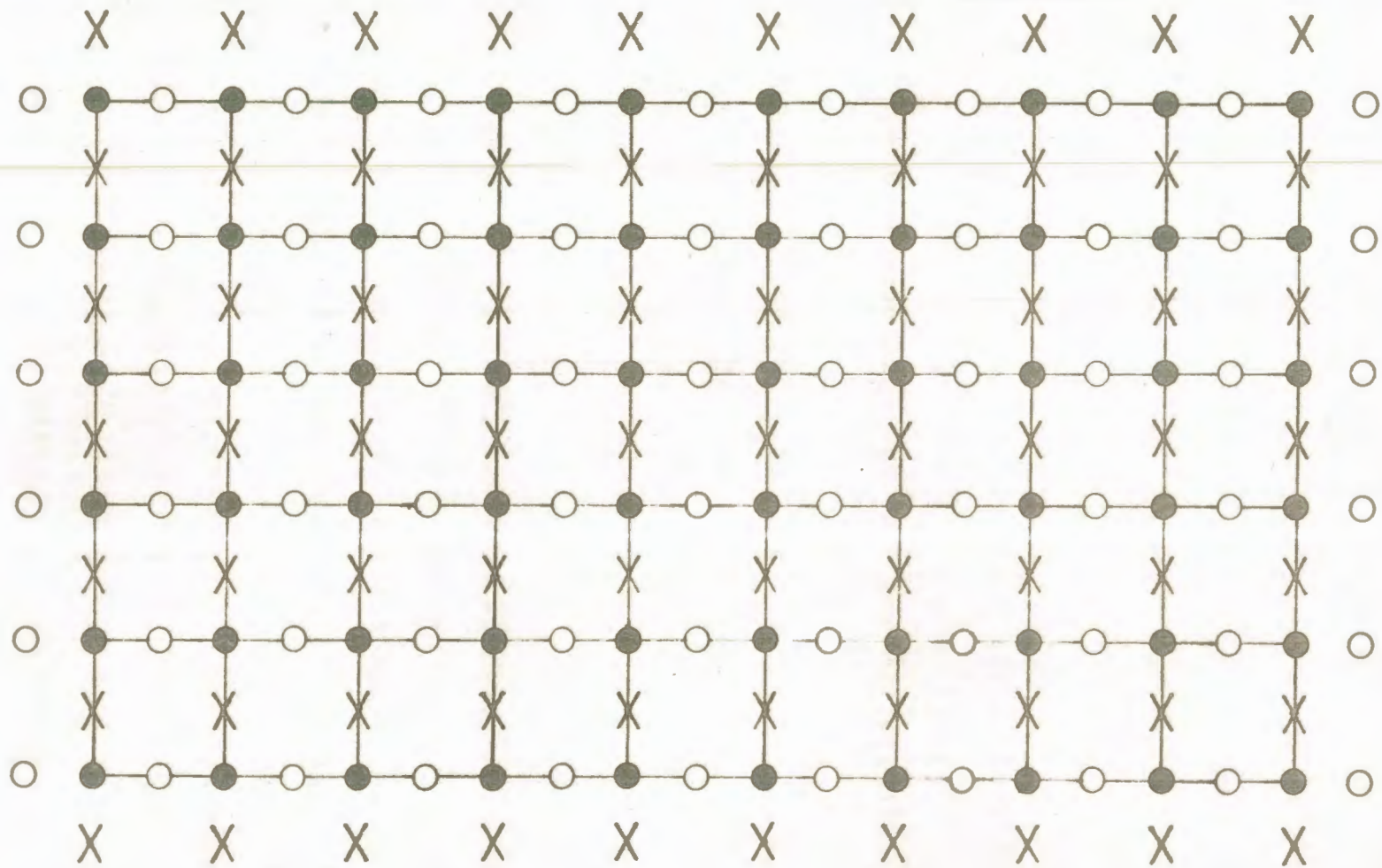
NOTACION:

K_{xh} (D-P), valores indicados arriba de cada nodo
 ϕ_h (fracción -P), valores indicados en cada nodo.
 K_{yh} (D-P), valores indicados abajo de cada nodo
 o Pozos inyectoros
 ● Pozos productores

DATOS:

$\mu = 5 \text{ cps. } c = 0.00000703 (\text{Lpc})^{-1} \Delta x = \Delta y = 600 \text{ pies}$
 $P_i = 3000 (\text{Lpc}) \text{ abs.}$
 $q(2,3) = 600 \text{ BPD}$
 $q(5,3) = 600 \text{ BPD}$
 $q(2,9) = 600 \text{ BPD}$
 $q(5,9) = 600 \text{ BPD}$
 $P(2,5) = 500 \text{ Lpc}$
 $P(5,5) = 500 \text{ Lpc}$
 $P(2,7) = 500 \text{ Lpc}$
 $P(5,7) = 500 \text{ Lpc}$

FIGURA 1



●
Matrices P y Q

○
Matriz K y h

X
Matriz K x h

FIG. 2. UBICACION DE LAS MATRICES

BIBLIOGRAFIA

1. FAROUK ALI, S.M: "Numerical Reservoir Simulation", Penn State University, (1970).
2. BJORDAMMEN, J. and COATS, K.H.: "Comparison of Alternating Direction and Successive Overrelaxation techniques in Simulation of Reservoir Fluid Flow, SPEJ, 9^o 1, (1969)
3. COATS, K.H.: "Elements of Reservoir Simulation". Intercomp-Human Resources Development Corporation, Houston - (1970).
4. RODRIGUEZ NIETO, DE LA FUENTE GARCIA: "Curso introductorio a la Simulación Numérica de Yacimientos", Instituto Mexicano del Petróleo, (1972).
5. FINOL, A.S.: "Simulación Numérica de Yacimientos", Universidad del Zulia, (1975).
6. CARNAHAN, B., LUTHER, H.A. and WILKER, J.O.: "Applied - Numerical Methods", John Wiley and Sons, London, (1969).
7. COATS, K.H., and TERHUNE, M.H.: "Comparison of Alternating Direction explicit and implicit procedures in Two-Dimensional Flow Calculations,, SPEJ, Dec., (1966).
8. PEACEMAN, D.W. and RACHFORD, Jr. H.H.: "The numerical - Solution of Parabolic and Elliptic Differential Equations". J. Ind. Appl. Math., (1955).
9. VAN POOLLEN, H.K., BIXEL, H.C. and JARGON, J.R.: "Reser

- voir Modeling", The Petroleum Publishing Company (1969-1971).
10. SMITH, G.D.,: "Numerical Solution of Partial Differential Equations", Oxford University Press, (1971).
 11. FOX, L.: "Numerical Solution of Ordinary and Partial Differential Equations", Oxford, Pergamon Press, (1962).
 12. MITCHELL, A.R.: "Computational Methods in Partial Differential Equations", John Wiley and Sons, London, (1969).
 13. AYRES, Jr. F.: "Matrices, Teoría y Problemas". Serie de Compendios Schaum, Mc Graw Hill, (1969).
 14. PARIS DE FERRER, M.: "Two-Phase (oil-water), Two-Dimensional Flow in a Compacting Reservoir, and the resulting Land Subsidence", M.S. Thesis, The Pennsylvania State University, Marzo, (1975).
 15. FRIEDMAN, A.: "Partial Differential Equations", Northwestern University, (1969).
 16. SALVADORI AND BARON: "Numerical Methods in Engineering", Prentice-Hall, Inc., (1964).
 17. ALBAN, LUIS: "Notas del Curso de Introducción a la Simulación Numérica de Yacimientos" impartido en la ESPOL, 1975-1976.
 18. FERRER JOSE: "Notas sobre métodos de predicción de la recuperación Secundaria de Petróleo por inyección de agua". Universidad del Zulia, (1970).