

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

T
677.338202855
LOA

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

DE

GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

" CALCULO SIMULTANEO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y DE LA
CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA EN YACIMIENTOS CON EMPUJE
HIDRAULICO LATERAL "

ASOCIACION DE ESTUDIANTES DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
Y PETROLEOS A E I G M P - E S P O L



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO DE PETROLEO

PRESENTADA

POR

ROBERTO LOAIZA DEL CIOppo

GUAYAQUIL - ECUADOR

1982

AGRADECIMIENTO



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

A los profesores de la Escuela Superior Politécnica del Litoral y en especial al Ing. Carlos Arnao por su valiosa ayuda para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A la memoria de mi Padre

A mi Madre

A mis Hermanos



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

.....

ING. CARLOS ARNAO
Director de Tesis

DECLARACION EXPRESA



"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

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

ROBERTO LOAIZA DEL CIOPPO

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivos principales (a) desarrollar un programa de computación que permita calcular simultáneamente el volumen original de petróleo (N) y la constante de intrusión de agua (B) en yacimientos con empuje hidráulico lateral de flujo no continuo por dos métodos a fin de poder comparar los resultados y, (b) aplicar el programa a un yacimiento del oriente ecuatoriano. Los métodos utilizados son el de McEwen y el de van Everdingen Timmerman y McMahon (más conocido como método VIM). Ambos métodos hacen uso de las ecuaciones de intrusión de agua deducidas a partir de la ecuación de difusividad por van Everdingen y Hurst y de la ecuación de balance de materiales ordenada en tal forma que se obtenga la ecuación de una línea recta para calcular N y B por mínimos cuadrados. La información requerida para aplicar los métodos consiste en las historias de presión-producción-inyección, relaciones PVT y parámetros petrofísicos.

Las ecuaciones de intrusión de agua deducidas a partir de la ecuación de difusividad presentan dos funciones adimensionales denominadas $F(t_D)$ y $Q(t_D)$. Para calcular estas funciones se desarrollan dos subrutinas: la subrutina FUNAD que calcula la función adimensional $F(t_D)$ de acuíferos lineales tanto para los de extensión finita como infinita y la subrutina INTAD que calcula la función adimensional $Q(t_D)$ de acuíferos radiales para una serie de valores de r_{eD} desde

1.5 hasta 30 y cualquier valor mayor a 32 para acuíferos de extensión infinita (de acuerdo a Muskat los acuíferos pueden considerarse de extensión infinita si sus radios son 32 veces o más el radio del yacimiento⁸).

Con el propósito de ilustrar la utilización de los métodos VIM y de McEwen y analizar situaciones reales del oriente ecuatoriano, se escogió como aplicaciones prácticas, los yacimientos U y T del campo - Shushufindi-Aguarico, los cuales están influenciados por la existencia de intrusión de agua proveniente de acuíferos laterales.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

INDICE GENERAL

	Pag.
LISTA DE SIMBOLOS Y UNIDADES UTILIZADAS	1
CAPITULO 1	
CONSIDERACIONES TEORICAS.....	4
1.1 Tipos de acuíferos en yacimientos con empuje hidrostático..	4
1.2 Ecuaciones de intrusión de agua para acuíferos laterales- considerando que la caída de presión en el contacto agua- petróleo permanece constante.....	5
1.3 Ecuaciones de intrusión de agua para acuíferos laterales considerando una historia real de presión.....	9
CAPITULO 2	
CALCULO DE LAS FUNCIONES ADIMENSIONALES DE LAS ECUACIONES DE IN- TRUSION DE AGUA PARA ACUIFEROS LATERALES.....	13
2.1 Función adimensional para acuíferos de tipo lineal y ex- tensión infinita.....	13
2.2 Función adimensional para acuíferos de tipo lineal y ex- tensión finita.....	13
2.3 Función adimensional para acuíferos de tipo radial y ex- tensión infinita.....	17
2.4 Función adimensional para acuíferos de tipo radial y ex- tensión finita.....	20



BIBLIOTECA
ESPOL

CAPITULO 3

METODOS VTM Y DE McEWEN PARA EL CALCULO SIMULTANEO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y DE LA CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA.....	29
3.1 Método VTM	29
3.2 Método de McEwen.....	36



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

CAPITULO 4

DESCRIPCION DEL PROGRAMA Y SUBROUTINAS UTILIZADAS.....	41
4.1 Programa VOLPE.....	44
4.2 Subrutina DATOS.....	48
4.3 Subrutina VIM.....	50
4.4 Subrutina MCEWEN.....	52
4.5 Subrutina RESULT1	54
4.6 Subrutina RESULT2	55
4.7 Subrutinas GRAF1 y GRAF2.....	56
4.8 Subrutina FUNAD.....	57
4.9 Subrutina INTAD.....	58

CAPITULO 5

APLICACION DE LOS METODOS VTM Y DE McEWEN A UN YACIMIENTO DEL ORIENTE ECUATORIANO.....	60
--	----

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 81

APENDICE A

ECUACIONES PARA CALCULAR LAS FUNCIONES BESSEL $J_1, Y_0, Y_1 \dots$ 85

APENDICE B

CALCULO DE LA FUNCION ADIMENSIONAL DE LA ECUACION DE INTRUSION DE AGUA PRESENTADA POR VAN EVERDINGEN Y HURST PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y EXTENSION INFINITA..... 87

APENDICE C

METODOLOGIA PARA CALCULAR LAS RAICES a_j UTILIZADAS PARA EVALUAR LA FUNCION ADIMENSIONAL $Q(t_D)$ PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y EXTENSION FINITA..... 108

APENDICE D

CALCULO SIMULTANEO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y DE LA CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA PARA UN YACIMIENTO DE LA FORMACION WILCOX EN LOS ESTADOS UNIDOS..... 111



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

APENDICE E

DIAGRAMAS DE FLUJO Y LISTADOS DEL PROGRAMA Y SUBROUTINAS ESTUDIADAS.....	122
REFERENCIAS.....	189



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

LISTA DE SIMBOLOS Y UNIDADES UTILIZADAS

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>
A	Area del yacimiento	ACRES
b	Ancho de un yacimiento lineal	PIES
B	Constante de intrusión de agua	BY/LPC
Bg	Factor volumétrico del gas	BY/PCN
Bgi	Factor volumétrico del gas a la presión inicial	BY/PCN
Big	Factor volumétrico del gas inyectado	BY/PCN
Bo	Factor volumétrico del petróleo	BY/BN
Boi	Factor volumétrico del petróleo a la presión inicial	BY/BN
Bt	Factor volumétrico total	BY/BN
Bti	Factor volumétrico total a la presión inicial	BY/BN
c	Compresibilidad efectiva del acuífero	1/LPC
c _f	Compresibilidad de la formación	1/LPC
c _o	Compresibilidad del petróleo	1/LPC
c _w	Compresibilidad del agua	1/LPC
d	Longitud de un yacimiento lineal	PIES
DS	Desviación standard	BN
ΔP	Caída de presión	LPC
Δt _D	Constante de conversión de tiempos reales a tiempos adimensionales	1/MESES
F(t _D)	Función adimensional para acuíferos lineales	-----
∅	Porosidad	FRACCION
Gi	Gas inyectado acumulado	PCN



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>
Gp	Gas producido acumulado	PCN
h	Espesor de la formación productora	PIES
J_0	Función de Bessel de primera clase y de orden cero	-----
J_1	Función de Bessel de primera clase y de primer orden	-----
K	Permeabilidad absoluta	MD
L	Longitud del acuífero en acuífero lineales	PIES
m	Razon del volumen inicial de la capa de gas al volumen inicial de petróleo	-----
n	Número de intervalos	-----
N	Volumen original de petróleo en el yacimiento	BN
Np	Petróleo producido acumulado	BN
P	Presión en el contacto agua-petróleo	LPC
Pb	Presión en el punto de burbujeo	LPC
Pi	Presión inicial	LPC
Py	Presión en el yacimiento	LPC
$Q(t_D)$	Función adimensional para acuíferos radiales	-----
r_{eD}	Razón del radio del acuífero al radio del yacimiento	-----
Ri	Radio de un yacimiento de tipo radial	PIES
Rp	Razón gas-petroleo acumulado	PCN/BN
Rs	Razón gas disuelto-petróleo	PCN/BN
Rsi	Razón gas disuelto-petróleo a la presión inicial	PCN/BN
Sw	Saturación de agua connata	FRACCION



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

<u>Símbolo</u>	<u>Descripción</u>	<u>Unidades</u>
t	Tiempo	MESES
t_D	Tiempo adimensional	-----
θ	Angulo correspondiente a la circunferencia de la cual actúa el acuífero	GRADOS
u	Variable de integración	-----
u	Viscosidad	CPS
u_w	Viscosidad del agua	CPS
W_e	Intrusión de agua acumulada	BY
W_i	Agua inyectada acumulada	BY
W_p	Agua producida acumulada	BY
Y_0	Función de Bessel de segunda clase y de orden cero	-----
Y_1	Función de Bessel de segunda clase y de primer orden	-----



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

CAPITULO 1

CONSIDERACIONES TEORICAS

1.1 TIPOS DE ACUIFEROS EN YACIMIENTOS CON EMPUJE HIDRAULICO

Los yacimientos con empuje hidráulico están total o parcialmente comunicados con formaciones adyacentes saturadas de agua. Estas formaciones reciben el nombre de acuífero.

Los acuíferos pueden estar situados en la periferia de la formación productora del yacimiento y en este caso se denominan acuíferos laterales o de flanco o pueden estar situados por debajo de la formación productora y en tal caso se denominan acuíferos de fondo. Los mecanismos de producción correspondientes se denominan empuje hidráulico lateral y empuje hidráulico de fondo - respectivamente.

Los acuíferos laterales, de acuerdo a su forma, que depende del tipo de estructuras y entrapamiento del sistema yacimiento-acuífero, pueden ser de tipo radial o lineal. Los de tipo radial se encuentran más frecuentemente en estructuras tales como anticlinales y domos y los de tipo lineal generalmente son resultados de entrapamiento por fallas.

De acuerdo a su tamaño, los acuíferos son considerados como finitos o infinitos. Muskat considera que si el volumen poroso -

del acuífero es alrededor de 1000 veces o más el volumen poroso del yacimiento, el acuífero puede considerarse de extensión infinita respecto al yacimiento. Para acuíferos de tipo radial, - tal tamaño corresponde a un radio del acuífero 32 veces el radio del yacimiento. Acuíferos de tamaño menor al mencionado se suelen considerar de extensión finita⁸.



1.2 ECUACIONES DE INTRUSION DE AGUA PARA ACUIFEROS LATERALES CONSIDERANDO QUE LA CAIDA DE PRESION EN EL CONTACTO AGUA - PETROLEO PERMANECE CONSTANTE

Las ecuaciones que permiten calcular la intrusión total de agua a un yacimiento proveniente de acuíferos laterales, son deducidas a partir de la ecuación de difusividad aplicando ciertas condiciones iniciales y de contorno.

La ecuación de difusividad, la cual describe matemáticamente el flujo de una sola fase a través de un medio poroso, puede ser expresada por la ecuación (1) en coordenadas cartesianas y flujo unidireccional y por la ecuación (2) en coordenadas radiales:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial X^2} = \frac{\phi u c}{K} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial r} = \frac{\phi u c}{K} \frac{\partial P}{\partial t} \quad (2)$$

En la deducción de las ecuaciones (1) y (2) se ha hecho las si-

güentes suposiciones¹: sistema isotrópico con porosidad y permeabilidad constantes, viscosidad del fluido constante, flujo - viscoso, compresibilidad pequeña y constante, no se considera - las fuerzas de gravedad, gradiente pequeño ~~de~~ ^{de} través del sistema y flujo de una sólo fase.



Con el fin de determinar las diferentes ^{soluciones} de las ecuaciones (1) y (2) y obtener así las ecuaciones de intrusión de a gua para acuíferos laterales, es necesario fijar tanto el tamaño y la geometría del acuífero, como también las condiciones iniciales y de contorno

Al desarrollar las ecuaciones (1) y (2) considerando que la presión inicial es igual para todo el sistema yacimiento-acuífero (condición inicial), que la caída de presión en el contacto agua-petróleo permanece constante (condición de contorno en el - borde interior) y que para acuíferos finitos la tasa de flujo - en el límite exterior es igual a cero (condición de contorno en el borde exterior), se obtiene la ecuación (3) para acuíferos - lineales³ y la ecuación (4) para acuíferos radiales⁴:

$$W_e = \frac{\phi b h L c}{5.615} \Delta P F(t_D) \quad (3)$$

$$W_e = 1.119 \phi c h R_i^2 \frac{\theta}{360} \Delta P Q(t_D) \quad (4)$$

donde

$$c = c_w + c_f \quad (5)$$

$F(t_D)$ es una función adimensional para el caso de acuíferos lineales y se la denomina $Q(t_D)$ en los acuíferos radiales. Estas funciones dependen del tamaño del acuífero y del tiempo adimensional t_D , el cual está definido por la ecuación (6) para acuíferos de tipo lineal y por la ecuación (7) para acuíferos de geometría radial:

$$t_D = \frac{0.18969 K t}{\phi u_w c L^2} \quad (6)$$

$$t_D = \frac{0.18969 K t}{\phi u_w c R_i^2} \quad (7)$$

Las ecuaciones que permiten calcular las funciones adimensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$ son las siguientes:

- a) Para acuíferos de tipo lineal y extensión infinita, la longitud del acuífero L en la ecuación (6) puede tomar cualquier valor y la función adimensional se expresa por la ecuación (8)

$$F(t_D) = 2\sqrt{t_D/\pi} \quad (8)$$

- b) Para acuíferos de tipo lineal y extensión finita, $F(t_D)$ se expresa por la ecuación (9)

$$F(t_D) = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t_D}{4}} \quad (9)$$

donde $n = 1, 3, 5, 7, \dots, \infty$

- c) Para acuíferos de tipo radial y extensión infinita, $Q(t_D)$ se expresa por la ecuación (10) o (11)

$$Q(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{1 - e^{-u^2 t_D}}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} du \quad (10)$$

para $t_D \geq 0.01$, y

$$Q(t_D) = 2\sqrt{t_D/\pi r} \quad (11)$$

para $t_D < 0.01$

- d) Para acuíferos de tipo radial y extensión finita, $Q(t_D)$ se expresa por la ecuación (12)

$$Q(t_D) = \frac{(r_{eD})^2 - 1}{2} - 2 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{e^{-a_j^2 t_D} J_1^2(a_j r_{eD})}{a_j^2 (J_0^2(a_j) - J_1^2(a_j r_{eD}))} \quad (12)$$

donde a_j son las raíces de la ecuación

$$J_1(a_j r_{eD}) Y_0(a_j) - Y_1(a_j r_{eD}) J_0(a_j) = 0 \quad (13)$$

Si t_D es menor a 0.01, la ecuación (11) de acuíferos infinitos puede ser utilizada para calcular $Q(t_D)$ en los acuíferos de extensión finita, ya que para valores pequeños de t_D la caída de presión no afecta todavía el límite exterior del a-

cuífero y por lo tanto puede ser considerado como infinito.

En el Apéndice A se expresa las ecuaciones con las cuales se puede calcular las funciones Bessel J_0 , J_1 , Y_0 , Y_1 .

En el Capítulo 2 se evaluará y analizará los resultados de las funciones adimensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$ anteriormente descritas. Para acuíferos de tipo radial y extensión infinita se estudiará también las ecuaciones presentadas por Edwardson y otros que permiten el cálculo de $Q(t_D)$ de una manera más rápida y sencilla que la ecuación (10).

1.3 ECUACIONES DE INTRUSION DE AGUA PARA ACUIFEROS LATERALES CONSIDERANDO UNA HISTORIA REAL DE PRESION

En la sección anterior se consideró en las ecuaciones de intrusión de agua para acuíferos laterales, que la caída de presión en el contacto agua-petróleo permanece constante a través del tiempo. Esto en muy raras ocasiones ocurre en la práctica, pues es bien conocido que la presión (y por consiguiente la caída de presión) cambia a medida que la intrusión de agua y la producción de petróleo se incrementa. Con el fin de aplicar las ecuaciones estudiadas en la sección anterior a estas situaciones, se ha hecho uso del principio matemático denominado Teorema de Superposición o Principio de Superposición. Matemáticamente el Principio o Teorema de Superposición establece que la combina-

ción lineal de soluciones particulares de una ecuación diferencial homogénea y lineal es también una solución de la ecuación diferencial. Con el fin de poder aplicar el Principio de Superposición para determinar las ecuaciones de intrusión de agua, se aproxima la historia real de presión en forma escalonada, tal como se indica en la Fig. 1. De esta manera, tomando las soluciones de la ecuación de difusividad, ecuaciones (3) y (4), y aplicando el Principio de Superposición, la intrusión total de agua a un yacimiento para un tiempo t_n puede ser determinado por medio de las siguientes ecuaciones:

Acuíferos Lineales,

$$\begin{aligned}
 W_e = & \frac{\phi b h L c}{5.615} \Delta P_1 F((t_n)_D) + \\
 & \frac{\phi b h L c}{5.615} \Delta P_2 F((t_n - t_1)_D) + \dots + \\
 & \frac{\phi b h L c}{5.615} \Delta P_n F((t_n - t_{n-1})_D) \quad (14)
 \end{aligned}$$

Acuíferos Radiales,

$$\begin{aligned}
 W_e = & 1.119 \phi c h R i^2 \frac{\theta}{360} \Delta P_1 Q((t_n)_D) + \\
 & 1.119 \phi c h R i^2 \frac{\theta}{360} \Delta P_2 Q((t_n - t_1)_D) + \dots + \\
 & 1.119 \phi c h R i^2 \frac{\theta}{360} \Delta P_n Q((t_n - t_{n-1})_D) \quad (15)
 \end{aligned}$$

La mejor forma de determinar las caídas de presión ΔP_j es apro

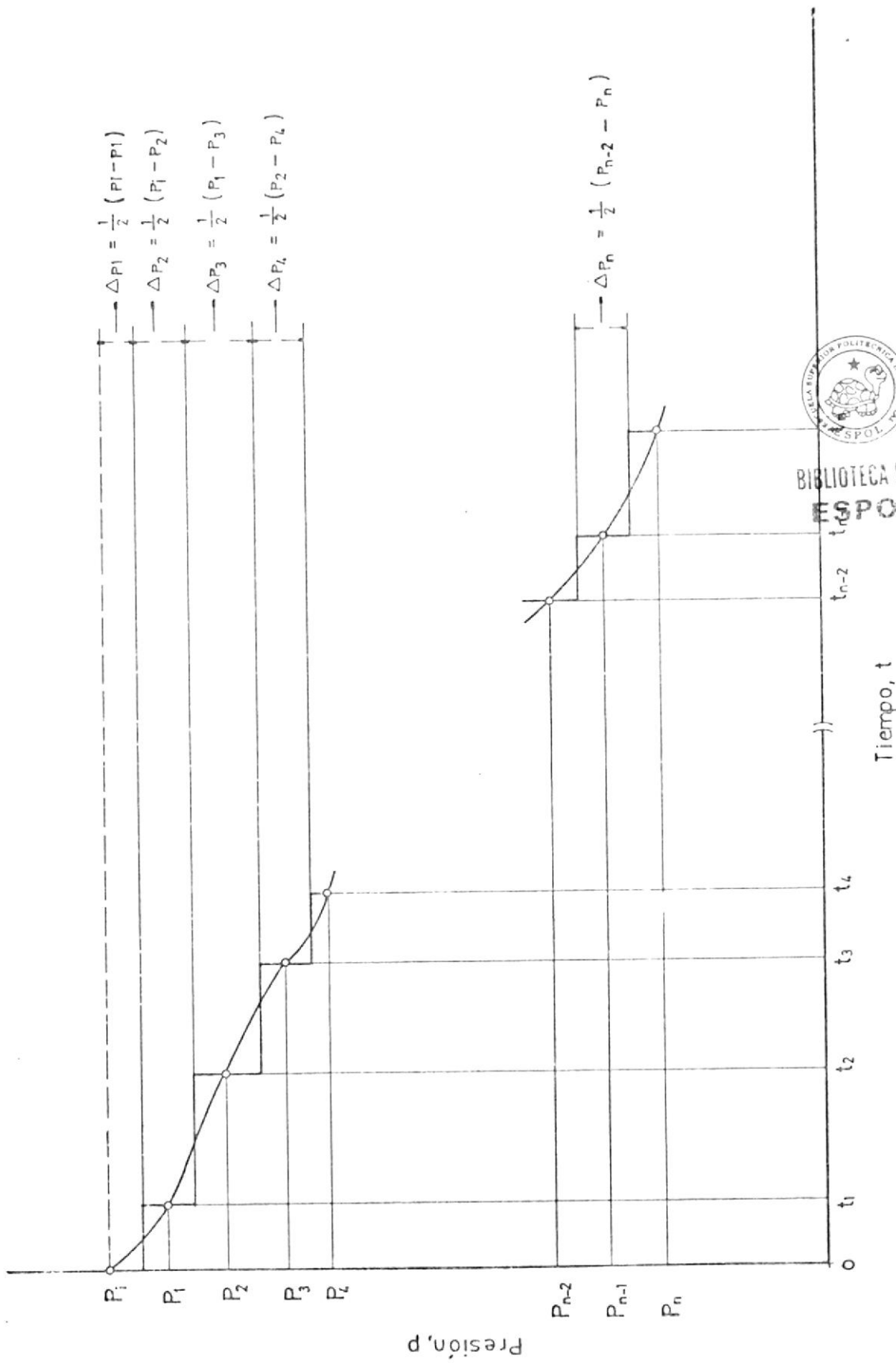


Fig. 1.- Historia de presión de un yacimiento (contacto agua - petróleo) donde indica la presión escalonada.

ximando la historia real de presión en el contacto agua-petróleo de tal forma que la caída de presión a cualquier tiempo es igual a la mitad de la caída de presión en el intervalo anterior, más la mitad de la caída de presión en el intervalo posterior. Lógicamente, para la primera caída de presión, la mitad del intervalo anterior será cero (Fig. 1). De esta manera, ΔP_j puede ser calculado por la ecuación (16):

$$\Delta P_j = (P_{j-2} - P_j)/2$$

siendo P_{j-2} igual a la presión inicial P_i para los casos en que j sea igual a 1 y 2.

De manera resumida, las ecuaciones de intrusión de agua para acuíferos laterales pueden expresarse de la siguiente manera:

Acuíferos Lineales,

$$W_e = B \sum_{j=1}^n \Delta P_j F((t_n - t_{j-1})_D) \quad (17)$$

donde $t_0 = 0$ y

$$B = \frac{\phi b h L c}{5.615} \quad (18)$$

Acuíferos Radiales,

$$W_e = B \sum_{j=1}^n \Delta P_j Q((t_n - t_{j-1})_D) \quad (19)$$

donde $t_0 = 0$ y

$$B = 1.119 \phi c h R_i^2 \frac{\theta}{360} \quad (20)$$



BIBLIOTECA FICT (16)
ESPOL

CAPITULO 2

CALCULO DE LAS FUNCIONES ADIMENSIONALES DE LAS ECUACIONES DE INTRUSION DE AGUA PARA ACUIFEROS LATERALES

En el capítulo anterior se estudió las ecuaciones que permiten calcular la intrusión total de agua proveniente de acuíferos laterales. En estas ecuaciones se observó la presencia de las funciones adimensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$, las cuales dependen del valor de t_D del tamaño y tipo de acuífero. En el presente capítulo se calculará estas funciones adimensionales para diferentes valores de t_D y se mostrará sus resultados para los acuíferos de tipo lineal y radial y de extensión infinita y finita.

2.1 FUNCION ADIMENSIONAL PARA ACUIFEROS DE TIPO LINEAL Y EXTENSION INFINITA

Para acuíferos de tipo lineal y extensión infinita, la función adimensional $F(t_D)$ puede ser calculada con la ecuación (8), la misma que es muy fácil de evaluar. Los valores de $F(t_D)$ para diferentes t_D calculados con esta ecuación pueden observarse en la columna (2) de la Tabla I.

2.2 FUNCION ADIMENSIONAL PARA ACUIFEROS DE TIPO LINEAL Y EXTENSION FINITA

Para acuíferos de tipo lineal y extensión finita, la función a-

TABLA I

Valores de las funciones adimensionales $F(t_D)$ para acuíferos de tipo lineal y número de iteraciones necesarias para evaluar el sumatorio de la ecuación (9) con un factor de convergencia de 0.0000001.

(1)	(2)	(3)	(4)
t_D	$F(t_D)$	$F(t_D)$	Número de iteraciones
	Acuíferos lineales infinitos	Acuíferos lineales finitos	
	Ecuación (8)	Ecuación (9)	
0.01	0.1128379	0.1128379	11
0.02	0.1595769	0.1595769	8
0.03	0.1954410	0.1954410	7
0.04	0.2256758	0.2256758	6
0.05	0.2523133	0.2523133	6
0.06	0.2763953	0.2763953	5
0.07	0.2985411	0.2985411	5
0.08	0.3191538	0.3191537	5
0.09	0.3385138	0.3385133	5
0.10	0.3568248	0.3568234	5
0.30	0.6180387	0.6132361	3
0.60	0.8740387	0.8155650	3
1.00	1.1283792	0.9312597	2
1.30	1.2865502	0.9672103	2
1.60	1.4272993	0.9843590	2
2.00	1.5957691	0.9941705	2
2.30	1.7112717	0.9972193	2
2.60	1.8194567	0.9986736	2
3.00	1.9544100	0.9995056	2
3.30	2.0498026	0.9997642	2
3.60	2.1409489	0.9998875	2
4.00	2.2567583	0.9999581	2
4.30	2.3398568	0.9999800	2
4.60	2.4201037	0.9999905	2
5.00	2.5231325	0.9999964	2
5.30	2.5977239	0.9999983	2
5.60	2.6702325	0.9999992	2
6.00	2.7639532	0.9999997	2
6.30	2.8322092	0.9999999	2
6.60	2.8988586	0.9999999	1
7.00	2.9854107	1.0000000	1
8.00	3.1915382	1.0000000	1



dimensional $F(t_D)$ puede ser calculada con la ecuación (9). Los valores de $F(t_D)$ para diferentes t_D calculados con esta ecuación pueden observarse en la columna (3) de la Tabla I. Para evaluar el sumatorio se realizó el número de iteraciones necesarias hasta que se cumpla la siguiente condición:

$$\frac{1}{n^2} e^{-\frac{n^2 \pi^2 t_D}{4}} < 0.0000001$$



Este número de iteraciones está tabulado en la columna (4) de la Tabla I, en la cual se puede observar claramente que el sumatorio de la ecuación (9) converge rápidamente.

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

De los resultados presentados en la Tabla I se puede observar que cuando t_D toma valores pequeños, $F(t_D)$ para acuíferos de tipo lineal y extensión finita también puede calcularse con la ecuación (8) como si fueran infinitos y que cuando t_D toma valores grandes, $F(t_D)$ es igual a 1. Estos resultados eran de esperarse. Para valores pequeños de t_D , la caída de presión no afecta todavía el límite exterior del acuífero y por lo tanto puede ser considerado como infinito. Para valores grandes de t_D , el flujo dWe/dt es igual a cero (Fig. 2) por lo que We debe ser constante; si se observa la ecuación (3), We es constante cuando $F(t_D)$ es constante, ya que el resto de parámetros fueron asumidos como constantes en la deducción de dicha ecuación. La Fig. 2 constituye una presentación del comportamiento real de la pre

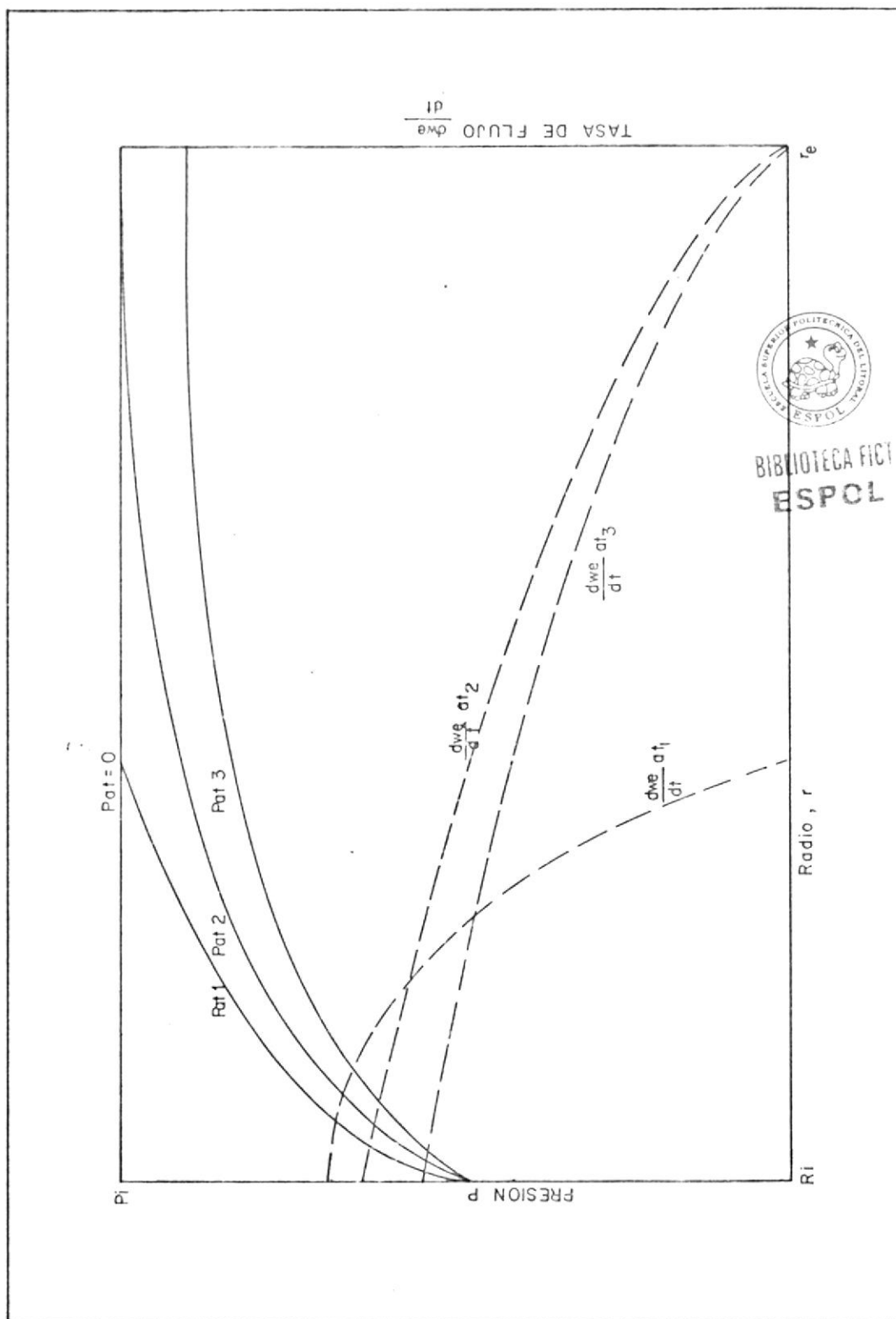


FIG.2 COMPORTAMIENTO DEL FLUJO Y DE LA PRESION EN ACUIFEROS EN ESTADO NO CONTINUO

sión en función del radio y del tiempo.

En resumen, al analizar la Tabla I, para el cálculo de $F(t_D)$ para acuíferos de tipo lineal y extensión finita pueden usarse las siguientes reglas prácticas:

- (a) Si $t_D \leq 0.07$
 $F(t_D)$ se calcula con la ecuación (8)
- (b) Si $0.07 < t_D < 7.00$
 $F(t_D)$ se calcula con la ecuación (9)
- (c) Si $t_D \geq 7.00$
 $F(t_D) = 1.$



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

2.3 FUNCION ADIMENSIONAL PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y EXTENSION INFINITA

En la sección 1.2 se estudió que para éste caso, la función adimensional $Q(t_D)$ puede ser calculada por las ecuaciones (10) y (11) dependiendo del valor de t_D . Sin embargo, como puede observarse, la ecuación (10) tiene un integral no tan fácil de resolver y por lo tanto para calcular $Q(t_D)$ hay que recurrir a métodos numéricos como la regla del Trapecio o de Simpson. En el Apéndice B se explica un procedimiento y se desarrolla un subprograma (subrutina INTADI) que permite evaluar la ecuación (10) para diferentes valores de t_D por el método de los Trapecios.

En él se determina que el integral no converge rápidamente y que se necesita más de 100 iteraciones para obtener el resultado final. En vista de que para calcular el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua por los métodos VIM y de McEwen (Capítulos 3 y 4), el valor de la función adimensional tiene que calcularse un sinnúmero de veces para diferentes valores de t_D , es preferible que para determinar Q , el cálculo de $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión infinita se lo realice utilizando las siguientes ecuaciones presentadas por Edwardson y otros⁷:

Si $0.01 \leq t_D < 200$

$$Q(t_D) = (1.12838 \sqrt{t_D} + 1.19328 t_D + 0.269872 t_D \sqrt{t_D} + 0.00855294 (t_D)^2) / (1 + 0.616599 \sqrt{t_D} + 0.0413008 t_D) \quad (21)$$

Si $t_D \geq 200$

$$Q(t_D) = (-4.29881 + 2.02566 t_D) / \ln(t_D) \quad (22)$$

Si $t_D < 0.01$, usar la ecuación (11).

Estas ecuaciones permiten obtener valores de $Q(t_D)$ muy aproximados a los reales; "el máximo error, respecto al valor exacto es de 0.07 por ciento". En la Tabla II se puede observar la gran similitud que existe entre los valores de $Q(t_D)$ calculados con la ecuación (10) y los calculados con las ecuaciones (21) y (22)

TABLA II

Valores de la función adimensional $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión infinita, utilizando la ecuación de van Everdingen y Hurst, ecuación (10), y las ecuaciones de Edwardson y otros, ecuaciones (21) y (22).

(1) t_D	(2) $Q(t_D)$ Ecuación (10)	(3) $Q(t_D)$ Ecuaciones (21)
0.10×10^{-1}	0.11779	0.11773
0.50×10^{-1}	0.27672	0.27634
0.10	0.40489	0.40428
0.50	0.10252×10^1	0.10243×10^1
0.10×10^1	0.15695×10^1	0.15683×10^1
0.50×10^1	0.45380×10^1	0.45336×10^1
0.10×10^2	0.74092×10^1	0.74016×10^1
0.50×10^2	0.24875×10^2	0.24840×10^2
0.10×10^3	0.43084×10^2	0.43025×10^2
0.50×10^3	0.16244×10^3	0.16228×10^3
0.10×10^4	0.29298×10^3	0.29262×10^3
0.50×10^4	0.11900×10^4	0.11887×10^4
0.10×10^5	0.22008×10^4	0.21989×10^4
0.10×10^6	0.17589×10^5	0.17594×10^5
0.10×10^8	0.12535×10^7	0.12568×10^7
0.10×10^{10}	0.97324×10^8	0.97748×10^8
0.10×10^{12}	0.79529×10^{10}	0.79976×10^{10}



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

Para el cálculo de $Q(t_D)$ utilizando la ecuación (10), se hizo uso de la subrutina INTADI explicada en el Apéndice B, mientras que para calcular $Q(t_D)$ con las ecuaciones (21) y (22) se utilizó la subrutina INTAD explicada en la sección 4.9

2.4 FUNCION ADIMENSIONAL PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y FINITA



En este caso, la función adimensional $Q(t_D)$ puede ser calculada con la ecuación (12) para lo cual previamente tendrá que determinarse las raíces a_j de la ecuación (13). En la Tabla III se presenta las cuatro primeras raíces (a_1, a_2, a_3 y a_4) calculadas para los siguientes valores de r_{eD} : 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 y 30. En el Apéndice C se explica la metodología utilizada para calcular estas raíces. En la Tabla IV se muestra los valores de $Q(t_D)$ para diferentes t_D calculados con la ecuación (12) para r_{eD} igual a 5. En la primera columna se utiliza sólo la primera raíz a_1 para el cálculo del sumatorio; en la segunda, tercera y cuarta columna, se utilizan las dos, tres y cuatro primeras raíces respectivamente. En la quinta columna se muestra los valores de $Q(t_D)$ para acuíferos infinitos utilizando la ecuación (21).

Analizando la Tabla IV se llega a las siguientes conclusiones que también son válidas para cualquier valor de r_{eD} :

TABLA III

Raíces de la ecuación (13) para valores de r_{eD} entre 1.5 y 30.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
r_{eD}	a_1	a_2	a_3	a_4
1.5	2.88989	9.34479	15.66013	21.95709
2.0	1.36078	4.64590	7.81416	10.96714
2.5	0.86606	3.08354	5.20107	7.190541
3.0	0.62560	2.30404	3.89542	5.47516
3.5	0.48501	1.83725	3.11249	4.37731
4.0	0.39346	1.52661	2.59082	3.64558
4.5	0.32944	1.30509	2.21838	3.12304
5.0	0.28236	1.13921	1.93918	2.73121
6.0	0.21807	0.90749	1.54856	2.18280
7.0	0.17651	0.75345	1.28838	1.81734
8.0	0.14760	0.64371	1.10270	1.55640
9.0	0.12641	0.56160	0.96356	1.36078
10.0	0.11027	0.49788	0.85543	1.20868
15.0	0.06612	0.31680	0.54712	0.77457
20.0	0.04651	0.23175	0.40160	0.56934
25.0	0.03557	0.18246	0.31698	0.44982
30.0	0.02865	0.15033	0.26167	0.37164

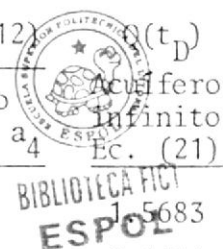


BIBLIOTECA EICT
ESPOL
21.95709

TABLA IV

Valores de la función adimensional para acuíferos de tipo radial y - extensión finita ($r_{eD} = 5$) utilizando 1, 2, 3 y 4 raíces de la ecuación (13). Valores de la función adimensional para acuíferos de tipo radial y extensión infinita utilizando las ecuaciones de Edwardson y otros.

t_D	Q(t_D) para acuíferos finitos ($r_{eD}=5$). Ecuación (12)				Q(t_D)
	utilizando a_1	utilizando a_1, a_2	utilizando a_1, a_2, a_3	utilizando a_1, a_2, a_3, a_4	Acuifero Infinito Ec. (21)
1	1.6865	1.5716	1.5684	1.5683	1.5683
2	2.4768	2.4455	2.4454	2.4454	2.4454
3	3.2066	3.1980	3.1980	3.1980	3.1998
4	3.8805	3.8781	3.8781	3.8781	3.8883
5	4.5027	4.5020	4.5020	4.5020	4.5336
6	5.0772	5.0770	5.0770	5.0770	5.1476
7	5.6077	5.6077	5.6077	5.6077	5.7373
8	6.0976	6.0976	6.0976	6.0976	6.3074
9	6.5499	6.5499	6.5499	6.5499	6.8614
10	6.9675	6.9675	6.9675	6.9675	7.4016
20	9.7326	9.7326	9.7326	9.7326	12.3204
30	10.9784	10.9784	10.9784	10.9784	16.7408
40	11.5397	11.5397	11.5397	11.5397	20.8838
50	11.7926	11.7926	11.7926	11.7926	24.8401
60	11.9066	11.9066	11.9066	11.9066	28.6585
70	11.9579	11.9579	11.9579	11.9579	32.3687
80	11.9810	11.9810	11.9810	11.9810	35.9909
90	11.9915	11.9915	11.9915	11.9915	39.5395
100	11.9961	11.9961	11.9961	11.9961	43.0250
110	11.9983	11.9983	11.9983	11.9983	46.4557
120	11.9992	11.9992	11.9992	11.9992	49.8381
130	11.9996	11.9996	11.9996	11.9996	53.1776



- (a) Sólo para pequeños valores de t_D se necesitaría utilizar más de dos raíces a_j para el cálculo de $Q(t_D)$; sin embargo, en estos casos se obtiene los mismos resultados utilizando las ecuaciones de acuíferos infinitos, por las mismas razones discutidas en la sección 2.2 para acuíferos lineales.
- (b) Para un segundo rango de valores de t_D , la función adimensional $Q(t_D)$ puede calcularse utilizando sólo las dos primeras raíces a_1 y a_2 .
- (c) Para un tercer rango de valores de t_D , sólo se necesita la primera raíz a_1 para calcular la función adimensional.
- (d) Para valores de t_D más grandes, $Q(t_D)$ se vuelve constante y ya no es función del tiempo adimensional, por las mismas razones expuestas en la sección 2.2 para acuíferos lineales. La función adimensional sólo depende de r_{eD} por lo que se deduce que el valor del sumatorio es tan despreciable que se podría asumir igual a cero.

En resumen, para el cálculo de $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión finita puede usarse las siguientes reglas:

- (a) Si $t_D < t_{D\text{MIN}}$
 $Q(t_D)$ se calcula con las ecuaciones (11), (21) o (22) dependiendo del valor de t_D .

(b) Si $t_{DMIN} \leq t_D < t_{DINT}$

$Q(t_D)$ se calcula con la ecuación (12), evaluando el sumatorio mediante dos iteraciones para las raíces a_1 y a_2 .

(c) Si $t_{DINT} \leq t_D \leq t_{DMAX}$

$Q(t_D)$ también se calcula con la ecuación (12), pero esta vez en el cálculo del sumatorio se realizará una sóla iteración utilizando la raíz a_1 .

(d) Si $t_D > t_{DMAX}$

$$Q(t_D) = (r_{eD}^2 - 1)/2$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En la Tabla V se muestra los valores de t_{DMIN} , t_{DINT} y t_{DMAX} para r_{eD} igual a 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 y 30. Estos valores fueron determinados analizando tablas similares a la Tabla IV para cada uno de los radios adimensionales mencionados. Esta observación propia del autor permite agilizar en forma muy clara y significativa el cálculo de $Q(t_D)$, tal como se hizo con las reglas (a), (b) y (c) de la sección 2.2 para el cálculo de $F(t_D)$.

En la Tabla VI se muestra los valores de $Q(t_D)$ para acuíferos finitos utilizando las reglas señaladas. Este cálculo se hizo utilizando la subrutina INTAD explicada en la sección 4.9.

TABLA V

Valores de $t_{D\text{MIN}}$, $t_{D\text{INT}}$ y $t_{D\text{MAX}}$ para valores de r_{eD} entre 1.5 y 30.

(1) r_{eD}	(2) $t_{D\text{MIN}}$	(3) $t_{D\text{INT}}$	(4) $t_{D\text{MAX}}$
1.5	0.04	0.10	1.25
2.0	0.15	0.40	5.00
2.5	0.30	1.00	13.00
3.0	0.50	1.50	26.00
3.5	1.00	2.50	45.00
4.0	1.00	4.00	70.00
4.5	2.00	5.00	100.00
5.0	2.00	7.00	110.00
6.0	4.00	10.00	200.00
7.0	5.00	15.00	300.00
8.0	7.00	20.00	450.00
9.0	9.00	25.00	650.00
10.0	10.00	30.00	800.00
15.0	20.00	100.00	2000.00
20.0	50.00	200.00	5000.00
25.0	75.00	300.00	8000.00
30.0	100.00	300.00	12000.00



BIBLIOTECA FIC 5.00
ESPOL 13.00

TABLA VI

Valores de la función adimensional $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión finita para valores de r_{eD} entre 1.5 y 30.

$r_{eD} = 1.5$		$r_{eD} = 2.0$		$r_{eD} = 2.5$		$r_{eD} = 3.0$		$r_{eD} = 3.5$		$r_{eD} = 4.0$	
t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$
0.04	0.24494	0.15	0.50754	0.30	0.75633	0.40	0.89628	1.00	1.56800	1.00	1.56847
0.06	0.30435	0.20	0.59742	0.40	0.89592	0.60	1.14374	1.50	2.02419	1.50	2.02848
0.08	0.35384	0.25	0.67796	0.50	1.02261	0.80	1.36349	2.00	2.42487	2.00	2.44170
0.10	0.39558	0.30	0.75090	0.60	1.13908	1.00	1.56362	2.50	2.78022	2.50	2.82024
0.12	0.43088	0.35	0.81722	0.70	1.24672	1.20	1.74762	3.00	3.09589	3.00	3.16937
0.14	0.46074	0.40	0.87764	0.80	1.34641	1.40	1.91739	3.50	3.37653	3.50	3.49211
0.16	0.48601	0.45	0.93268	0.90	1.43885	1.60	2.07430	4.00	3.62603	4.00	3.79072
0.18	0.50739	0.50	0.98285	1.00	1.52459	1.80	2.21929	5.00	4.04504	5.00	4.32271
0.20	0.52548	0.70	1.14291	1.50	1.86872	2.00	2.35336	8.00	4.84488	10.00	6.03483
0.25	0.55945	0.90	1.25343	2.00	2.10523	4.00	3.24724	11.00	5.23981	15.00	6.82435
0.30	0.58183	1.10	1.32974	3.00	2.37949	6.00	3.65588	14.00	5.43481	20.00	7.18843
0.35	0.59656	1.30	1.38244	4.00	2.50904	8.00	3.84269	17.00	5.53109	25.00	7.35632
0.40	0.60627	1.50	1.41882	5.00	2.57023	10.00	3.92808	20.00	5.57863	30.00	7.43375
0.50	0.61688	1.90	1.46130	6.00	2.59913	12.00	3.96712	23.00	5.60211	35.00	7.46945
0.60	0.62148	2.30	1.48155	7.00	2.61278	14.00	3.98497	26.00	5.61370	40.00	7.48591
0.70	0.62347	2.70	1.49120	8.00	2.61923	16.00	3.99313	29.00	5.61942	45.00	7.49350
0.80	0.62434	3.10	1.49581	9.00	2.62227	18.00	3.99688	32.00	5.62224	50.00	7.49700
0.90	0.62471	3.50	1.49800	10.00	2.62371	20.00	3.99855	35.00	5.62364	55.00	7.49862
1.00	0.62488	3.90	1.49905	11.00	2.62439	22.00	3.99935	38.00	5.62433	60.00	7.49936
1.10	0.62495	4.30	1.49955	12.00	2.62471	24.00	3.99977	41.00	5.62467	65.00	7.49971
1.20	0.62498	4.70	1.49978	13.00	2.62486	26.00	3.99986	44.00	5.62484	70.00	7.49987
1.30	0.62500	5.10	1.50000	14.00	2.62500	28.00	4.00000	47.00	5.62500	75.00	7.50000

TABLA VI


(Continuación).

$r_{eD} = 4.5$		$r_{eD} = 5.0$		$r_{eD} = 6.0$		$r_{eD} = 7.0$		$r_{eD} = 8.0$		$r_{eD} = 9.0$	
t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$
2	2.44477	2	2.44546	4	3.88749	5	4.53545	5	4.53363	5	4.53363
4	3.85504	3	3.19805	6	5.13695	10	7.37292	10	7.39592	10	7.40028
5	4.44883	4	3.87813	8	6.26139	15	9.77337	15	9.89349	15	9.93267
6	4.98119	5	4.50205	10	7.28170	20	11.82558	20	12.12485	20	12.24751
8	5.88729	6	5.07705	16	9.81821	25	13.58176	30	15.91773	25	14.38020
10	6.61659	7	5.60772	20	11.14886	30	15.08461	40	18.96812	30	16.34752
16	8.05633	8	6.09758	32	13.91062	35	16.37067	50	21.42136	50	22.81773
22	8.80705	9	6.54989	44	15.47144	40	17.47121	80	26.25725	90	30.93248
28	9.19850	10	6.96754	56	16.35355	60	20.49880	110	28.77281	130	35.21484
34	9.40261	18	9.34062	68	16.85208	80	22.12241	140	30.08136	170	37.47475
40	9.50904	30	10.97840	80	17.13382	100	22.99310	170	30.76205	210	38.66736
46	9.56454	38	11.46014	92	17.29305	120	23.46003	200	31.11613	250	39.29673
52	9.59347	46	11.71472	104	17.38304	140	23.71043	230	31.30032	290	39.62387
58	9.60856	54	11.84924	116	17.43390	160	23.84471	260	31.39613	330	39.80414
64	9.61643	62	11.92033	128	17.46264	180	23.91672	290	31.44597	370	39.89664
70	9.62053	70	11.95790	140	17.47889	200	23.95534	320	31.47189	410	39.94546
76	9.62267	78	11.97775	152	17.48807	220	23.97605	350	31.48538	450	39.97122
82	9.62379	86	11.98824	164	17.49326	240	23.98886	380	31.49239	490	39.98481
88	9.62437	94	11.99379	176	17.49619	260	23.99881	410	31.49604	550	39.99418
94	9.62467	102	11.99672	188	17.49785	280	23.99981	440	31.49794	610	39.99777
100	9.62483	110	11.99827	200	17.49878	300	23.99997	470	31.50000	650	39.99882
106	9.62500	118	12.00000	212	17.50000	320	24.00000	500	31.50000	700	40.00000

TABLA VI

(Continuación).

$r_{eD} = 10$		$r_{eD} = 15$		$r_{eD} = 20$		$r_{eD} = 25$		$r_{eD} = 30$	
t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$	t_D	$Q(t_D)$
10	7.4017	20	12.3195	50	24.8418	50	24.8401	100	43.0246
20	12.2955	40	20.8676	100	42.9103	100	43.0119	150	59.7130
30	16.5620	60	28.5248	200	73.3811	200	75.1003	200	75.4975
40	20.3332	80	35.5173	300	97.9139	300	103.2593	250	90.5722
50	23.6726	100	41.9212	400	117.6745	400	128.0673	300	105.0223
100	35.4382	140	53.1645	500	133.5913	500	149.9269	400	132.1684
150	41.8440	180	62.6039	800	165.0566	1000	225.9064	500	157.1754
200	45.3317	260	77.1824	1100	181.5002	1500	266.2669	1300	297.9058
250	47.2305	380	91.3957	1400	190.0934	2000	287.7065	2100	370.8861
300	48.2644	500	99.8068	1700	194.5842	2500	299.0952	2900	408.7323
350	48.8273	620	104.7843	2000	196.9310	3000	305.1450	3700	428.3586
400	49.1337	740	107.7299	2300	198.1575	3500	308.3586	4500	438.5365
450	49.3006	860	109.4731	2600	198.7984	4000	310.0657	5300	443.8145
500	49.3914	980	110.5046	2900	199.1334	4500	310.9725	6100	446.5516
550	49.4409	1100	111.1151	3200	199.3084	5000	311.4542	6900	447.9710
600	49.4678	1220	111.4763	3500	199.3999	5500	311.7101	7700	448.7071
650	49.4825	1340	111.6901	3800	199.4477	6000	311.8460	8500	449.0888
700	49.4905	1460	111.8166	4100	199.4727	6500	311.9182	9300	449.2868
750	49.4948	1580	111.8915	4400	199.4857	7000	311.9565	10100	449.3894
800	49.4972	1700	111.9358	4700	199.4925	7500	311.9669	10900	449.4427
850	49.5000	2000	111.9827	5000	199.4961	8000	311.9817	11700	449.4703
900	49.5000	2300	112.0000	5300	199.5000	8500	311.9900	12500	449.5000



ESPOL

CAPITULO 3

METODOS VIM Y DE McEWEN PARA EL CALCULO SIMULTANEO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y DE LA CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA

Los métodos VIM⁵ y de McEwen⁶ permiten calcular simultáneamente el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua en yacimientos con empuje hidráulico lateral. Ambos métodos hacen uso de la ecuación de balance de materiales¹, expresada por la ecuación (23), ordenándola en tal forma que se obtenga la ecuación de una línea recta, para posteriormente obtener por el método de mínimos cuadrados los valores de N y B.

$$N = \frac{N_p(Bt + (R_p - R_{si})Bg) + W_p - W_e - W_i - G_i B_{ig}}{(Bt - B_{ti}) + m B_{ti}(Bg/B_{gi} - 1) + B_{ti} c_e (P_i - P_y)} \quad (23)$$

donde

$$c_e = \frac{S_w c_w + c_f}{1 - S_w} \quad (24)$$

El problema básico de la ecuación (23) es que presenta dos incógnitas: N y W_e .

3.1 METODO VIM

Este método fue descrito por van Everdingen, Timmerman y McMahon⁵ y consiste en arreglar la ecuación de balance de materiales en tal forma, que se obtenga la ecuación de una línea recta,

cuya pendiente es la constante de intrusión de agua y cuya intersección con el eje de las ordenadas es el volumen original de petróleo. Estos valores de B y N son calculados por mínimos cuadrados.

Si se define como D, el denominador de la ecuación (23), ésta puede escribirse de la siguiente manera:

$$N = \frac{N_p(Bt + (R_p - R_{si})Bg) + W_p - W_i - G_i Bg}{D} - \frac{W_e}{D}$$



La ecuación de intrusión de agua expresada en la sección 1.3 - por las ecuaciones (17) y (19) puede escribirse de la siguiente manera:

$$W_e = B f(P, t) \quad (26)$$

donde B viene dado por las ecuaciones (18) y (20) y $f(P, t)$ por las siguientes ecuaciones:

Acuíferos Lineales

$$f(P, t) = \sum_{j=1}^n \Delta P_j F((t_n - t_{j-1})_D) \quad (27)$$

Acuíferos Radiales

$$f(P, t) = \sum_{j=1}^n \Delta P_j Q((t_n - t_{j-1})_D) \quad (28)$$

siendo para ambas $t_0=0$. El valor de ΔP_j puede calcularse por la ecuación (16) mientras que el cálculo de las funciones adi -

mensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$ fue estudiado en el capítulo 2.

El tiempo adimensional t_D definido en la sección 1.2 por las ecuaciones (6) y (7), puede también presentarse en la siguiente forma:

$$t_D = \Delta t_D t \quad (29)$$

donde Δt_D puede calcularse con la ecuación (30) para acuíferos de tipo lineal y la (31) para los de tipo radial.

$$\Delta t_D = \frac{0.18969 K}{\phi u_w c L^2} \quad (30)$$

$$\Delta t_D = \frac{0.18969 K}{\phi u_w c Ri^2} \quad (31)$$

Finalmente si se define Y y X como sigue:

$$Y = \frac{Np(Bt + (Rp - Rsi)Bg) + Wp - Wi - Gi Bg}{D} \quad (32)$$

$$X = f(P,t)/D \quad (33)$$

la ecuación (25) puede escribirse:

$$Y = B X + N \quad (34)$$

Ahora, con el uso de las ecuaciones anteriores, el método VIM para el cálculo de N y B plantea el siguiente procedimiento:

(a) Se calcula valores de Y por la ecuación (32) para los tiem-

pos en que existe historia del yacimiento. Obsérvese que todos los parámetros son conocidos, ya sea de la historia de producción o de los datos PVT.

- (b) Se calcula un Δt_D aproximado por la ecuación (30) o (31) y se calcula valores de X con la ecuación (33) para los mismos tiempos en que se calculó Y . Para el caso de acuíferos de tipo radial, se asume el valor de r_{eD} si éste no se conoce.



- (c) Se repite el paso (b) para valores de Δt_D mayores y menores al calculado.
- (d) Para cada valor de Δt_D , se obtiene por mínimos cuadrados los valores de N y B mediante las siguientes ecuaciones:

$$N = \frac{\sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n Y_j - \sum_{j=1}^n X_j \sum_{j=1}^n X_j Y_j}{n \sum_{j=1}^n X_j^2 - \left(\sum_{j=1}^n X_j \right)^2} \quad (35)$$

$$B = \frac{\sum_{j=1}^n Y_j - n N}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (36)$$

- (e) Para cada valor de Δt_D con los valores de N y B obtenidos en el paso anterior y los valores de X calculados en (b) y (c), se calcula una serie de valores Y_c con la ecuación (34).
- (f) Para cada valor de Δt_D y los valores de Y calculados en

(a) y Y_c calculados en (e), se determina la desviación standard mediante la siguiente ecuación:

$$DS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Y_j - Y_{c_j})^2} \quad (37)$$

(g) Se grafica los valores de DS como función de Δt_D . El Δt_D correspondiente a la desviación standard mínima (Fig. 3) es el mejor valor de Δt_D y los correspondientes N y B respectivamente el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua.

(h) Para el caso de acuíferos de tipo radial y tamaño desconocido, es necesario asumir varios valores de r_{eD} y realizar para cada uno de ellos los pasos (b) hasta (f). Finalmente se grafica para cada r_{eD} los valores de DS como función de Δt_D (Fig. 4) y se obtiene el Δt_D para el cual ocurre la menor desviación standard y el correspondiente r_{eD} , N y B son respectivamente el radio adimensional, el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua.

Todo este procedimiento anteriormente descrito, tiene que ser repetido cada vez que se disponga de un nuevo valor de presión promedio. La confiabilidad del resultado obtenido empieza a ser satisfactoria cuando, al aumentar el número de las ecuaciones de balance disponibles, se observa una cierta constancia en los valores de N y B.

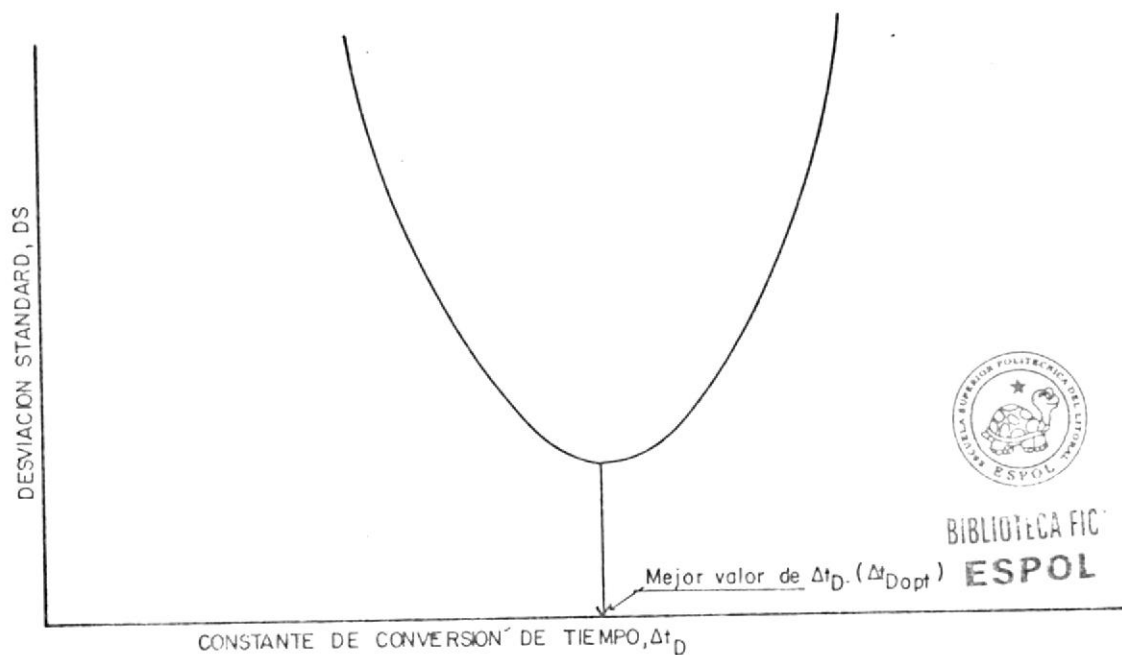


FIG. 3 GRAFICO ESPERADO DE DESVIACION STANDARD COMO FUNCION DE LA CONSTANTE DE CONVERSION, Δt_D , PARA DETERMINAR EL MEJOR VALOR DE Δt_D PARA UN VALOR DE r_{eD} .

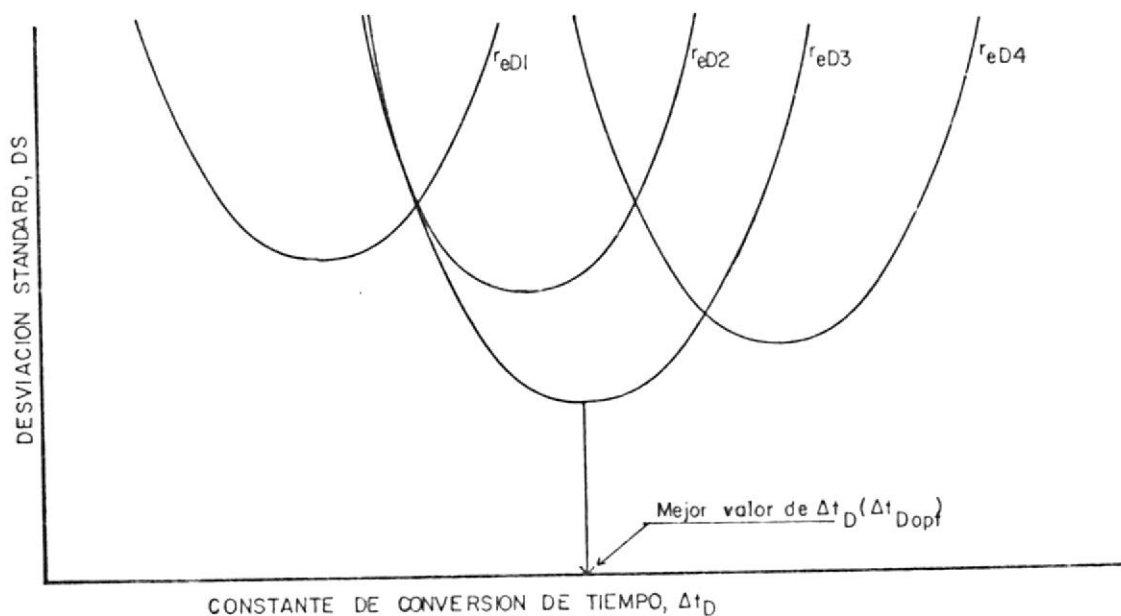


FIG. 4 GRAFICO ESPERADO DE DESVIACION STANDARD, DS COMO FUNCION DE LA CONSTANTE DE CONVERSION, Δt_D , PARA DETERMINAR EL MEJOR VALOR DE Δt_D PARA VARIOS VALORES DE r_{eD}

La experiencia indica que sólo se obtienen resultados confiables en presencia de valores de presión promedio determinados cuidadosamente. Pequeños errores de presión pueden producir grandes errores en el cálculo de N y B , principalmente en la primera etapa de producción del yacimiento donde la caída acumulativa de presión $P_i - P_y$ es pequeña. Para yacimientos subsaturados, debe tenerse mayor cuidado para determinar los valores de la presión promedio, ya que la diferencia $B_t - B_{ti}$ que aparece en el denominador de la ecuación de balance de materiales, ecuación (23), es bien pequeña y ligeras diferencias de presión pueden falsear completamente los resultados. Por esta razón, para yacimientos que llegan a la condición de saturados y cuya presión inicial estuvo sobre la presión del punto de burbujeo, es preferible que al utilizar las ecuaciones (35) y (36) para calcular N y B por el método VIM, se escoja como primer valor de X y Y los calculados para el primer valor de presión menor a la presión de punto de burbujeo, siempre y cuando haya suficiente número de datos bajo este punto. Un yacimiento de este tipo es el que utilizaron van Everdingen, Timmerman y McMahon en su estudio⁵. En el Apéndice D se presenta el cálculo de N y B para este yacimiento, tanto por el método VIM como por el de McEwen estudiado en la sección 3.2, utilizando los mismos programas y subprogramas de computación (Capítulo 4) con los que se calcula N y B para los yacimientos U y T del campo Shushufindi-Aguarico de la región oriental del Ecuador (Capítulo 5).

3.2 METODO DE McEWEN

McEwen modifica el método VIM, proporcionando resultados satisfactorios, inclusive para el caso en que los datos de presión - presentan dudas respecto a su exactitud.

En este método la ecuación de balance de materiales se arregla en tal forma, que se obtiene la ecuación de una línea recta que pasa por el origen y cuya pendiente es el inverso del volumen original de petróleo.



Si la ecuación (25) se multiplica por D/N , el término W_e se pasa al lado izquierdo y se lo reemplaza por la ecuación (26) y además se define:

$$Y = D + \frac{B}{N} f(P, t) \quad (38)$$

$$X = N_p(Bt + (R_p - R_{si})B_g) + W_p - W_i - G_i B_{ig} \quad (39)$$

se obtiene:

$$Y = \frac{1}{N} X \quad (40)$$

Como puede observarse en las ecuaciones anteriores, el valor de Y contiene los términos con mayor posibilidad de error, especialmente si el error ocurre en la presión, ya que todos sus términos excepto B/N y m (en caso de que exista capa de gas inicial) son funciones de este valor. Además contiene términos que

son diferencias en factores volumétricos, muy sensibles a la presión. Por otra parte, X contiene términos de producción (e inyección en caso de que exista), generalmente conocidos con mayor exactitud.

La constante de intrusión de agua se definió en la sección por las ecuaciones (18) y (20). El volumen original de petróleo puede expresarse por:

$$N = \frac{7758 A h \emptyset (1 - S_w)}{Boi}$$

Asumiendo que los valores de h y \emptyset son los mismos en el yacimiento y en el acuífero, el valor de B/N puede calcularse por las siguientes ecuaciones:

Para acuíferos de tipo lineal:

$$B/N = \frac{L c Boi}{d(1-S_w)} \quad (42)$$

Para acuíferos de tipo radial:

$$B/N = \frac{2 c Boi \emptyset}{360(1-S_w)} \quad (43)$$

El procedimiento para el cálculo de N y B por el método de McEwen se resume en los siguientes pasos:

- (a) Se calcula aproximadamente el valor de B/N por una de las ecuaciones anteriores.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL
(41)

(b) Se calcula un Δt_D aproximado por la ecuación (30) o (31) y utilizando las ecuaciones (38) y (39) se calcula los valores de X y Y para todos los tiempos en que existe historia del yacimiento. Para el caso de acuíferos de tipo radial y tamaño desconocido, se asume el valor de r_{eD} .

(c) Aplicando mínimos cuadrados se obtiene el valor de N por medio de:

$$N = \frac{\sum_{j=1}^n X_j^2}{\sum_{j=1}^n X_j Y_j} \quad (44)$$

(d) Con el valor de N obtenido en el paso anterior y para cada valor de X, se calcula un valor de Y_c utilizando la ecuación (40). Con estos valores y los valores de Y calculados en el paso (b), se calcula la "Suma Normalizada" del cuadrado de las diferencias de los valores de Y, dada por:

$$SN = \frac{\sum_{j=1}^n (Y_j - Y_{c_j})^2}{Y_{\max}^2} \quad (45)$$

donde Y_{\max} es el máximo valor entre los Y calculados en el paso (b).

(e) Se asume otros valores de Δt_D (valores mayores y menores al valor inicial calculado) y se repite los pasos (b), (c) y (d).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- (f) Se grafica SN como función de Δt_D . El Δt_D correspondiente al SN mínimo, es el mejor valor de Δt_D y el correspondiente N es el volumen original de petróleo.
- (g) Para el caso de acuíferos de tipo radial y tamaño desconocido, se asume diferentes valores de r_{eD} y se repite los pasos (b) hasta (f), obteniéndose finalmente, los mejores valores de r_{eD} , Δt_D y N como aquellos para los cuales se obtiene el menor valor de todos los SN mínimos calculados en el paso anterior.
- (h) Se calcula el mejor valor de B, a partir del valor de N calculado en el paso (f) o (g) y del valor de B/N calculado en el paso (a).

El método propuesto por McEwen proporciona resultados por lo general satisfactorios y confiables. Una de las críticas que se hace al método es la necesidad de una simetría y homogeneidad perfecta entre el yacimiento y el acuífero que en la práctica son difíciles verificar. Las ecuaciones (42) y (43) presuponen en efecto, que los valores de \emptyset y h son los mismos en el yacimiento y en el acuífero; además difícilmente se conoce con precisión los parámetros θ y la razón L/d, necesarios para calcular el valor de B/N por estas ecuaciones. Esta crítica puede superarse asumiendo valores mayores y menores de B/N al calculado en el paso (a) y, repitiendo para cada uno de ellos los pasos -

(b) hasta (h), se determina el Δt_D , r_{eD} y B/N para los cuales se obtiene el menor valor de todos los SN mínimos calculados en los pasos (f) y (g); los correspondientes N y B serán respectivamente el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 4

DESCRIPCION DEL PROGRAMA Y SUBROUTINAS UTILIZADAS

El programa y las subrutinas utilizadas para el cálculo de N y B por los métodos VIM y/o de McEwen han sido escritos en FORTRAN IV y sus opciones extensivamente probadas en el computador IBM S/34 de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

El programa en general consiste de un programa principal denominado VOLPE y 9 subrutinas denominadas DATOS, VIM, MCEWEN, RESUL1, RESUL2, GRAF1, GRAF2, FUNAD, INTAD. Además de estas 9 subrutinas, existe como se explicó en la sección 2.3 la subrutina INTADI estudiada en el Apéndice B y que por no ser utilizada en el cálculo de N y B por el programa VOLPE, no se la estudiará en el presente capítulo.

Antes de estudiar el programa y las subrutinas mencionadas, es necesario conocer primero las siguientes variables de control que utilizan y que son leídas junto a los datos del yacimiento por la subrutina DATOS:

ND: Número de los tiempos en que existe historia del yacimiento.

NDSPB: Número de los primeros tiempos que el usuario no desea utilizarlos para el cálculo de X y Y por el método VIM, de acuerdo a lo explicado en el último párrafo de la sección 3.1.

JUEZ1: Variable de control que puede tomar los valores de 1 ó 2. El



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

cálculo de N y B se hará para yacimientos con acuíferos de tipo lineal si JUEZ1 es igual a 1 y de tipo radial si es igual a 2.

JUEZ2: Variable de control que puede tomar los valores de 1, 2 ó 3. El cálculo de N y B se hará por el método VTM si este parámetro es igual a 1 y por el método de McEwen si es igual a 3. Si JUEZ2 es igual a 2, el cálculo de N y B se hará por métodos.



JUEZ3: Variable de control que puede tomar los valores de 1 ó 2. Si se utiliza el método VTM para el cálculo de N y B. Si JUEZ3 es igual a 1, el programa escribe y grafica los diferentes Δt_D asumidos vs las desviaciones standard calculadas para todas las iteraciones realizadas hasta obtener el mejor valor de Δt_D (Δt_{Dopt}) con el cual se obtiene la desviación standard mínima, de acuerdo a lo explicado en la sección 3.1. Si JUEZ3 es igual a 2, la impresión y el gráfico de los Δt_D vs las desviaciones standard se hará sólo para la última iteración. ?

Si el método VTM no es utilizado para calcular N y B, JUEZ3 puede tomar cualquier valor, dependiendo por supuesto del formato de lectura.

JUEZ4: Variable de control que puede tomar los valores de 1, 2, 3 ó 4 si se utiliza el método de McEwen para calcular N y B. Si JUEZ4 es igual a 1, el programa escribe y grafica para cada -

uno de los B/N asumidos los diferentes Δt_D asumidos vs las sumas normalizadas calculadas para todas las iteraciones realizadas hasta obtener el valor de Δt_D con el cual se obtiene la suma normalizada mínima, de acuerdo a lo explicado en la sección 3.2. Si JUEZ4 es igual a 2, el programa también escribe y grafica los valores de Δt_D vs las sumas normalizadas para cada uno de los B/N asumidos, pero sólo para la última iteración. Si JUEZ4 es igual a 3 ó 4, la impresión y el gráfico de los Δt_D vs las sumas normalizadas se hará sólo para el mejor valor de los B/N asumidos, haciéndolo para todas las iteraciones si es igual a 3, y sólo para la última iteración si es igual a 4.

Si el método de McEwen no es utilizado para calcular N y B, JUEZ4 puede tomar cualquier valor.

NRED: Parámetro leído sólo cuando se calcula N y B para yacimientos con acuíferos de tipo radial y que indica el número de radios adimensionales que serán utilizados. Este parámetro puede variar de 1 a 18, dependiendo si el usuario desea que los cálculos se hagan para uno o todos los siguientes r_{eD} posibles: 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30 y cualquier valor mayor a 32 para el caso de acuíferos infinitos.

Para acuíferos de tipo lineal, este parámetro no es leído y el programa le asigna el valor de 2 a fin de que todos los



cálculos se hagan para 2 iteraciones; en la primera iteración se calcula N y B considerando acuíferos finitos y en la segunda considerando acuíferos infinitos.

NCN: Parámetro leído sólo cuando se utiliza el método de McEwen para calcular N y B y que indica el número de B/N asumidos para cada valor de r_{eD} .

Si el método de McEwen no es utilizado, este parámetro no es leído y el programa le asigna el valor de 1 a fin de que quede esta variable sin ser definida.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.1 PROGRAMA VOLPE

El programa VOLPE lo que hace básicamente, es calcular el mejor valor de Δt_D para el cual se obtiene la desviación standard mínima o la suma normalizada mínima (dependiendo del método utilizado) y seleccionar el correspondiente N y B para cada valor de r_{eD} , utilizando los métodos VIM y de McEwen estudiados en el capítulo 3.

De manera resumida, los pasos que se siguen en el programa VOLPE para calcular N y B son los siguientes:

- (a) Se llama a la subrutina DATOS para que lea y escriba los datos a utilizarse.
- (b) Se inicia los cálculos por el método VIM dependiendo del va

lor de JUEZ2.

- (c) A partir del Δt_D asumido (DT) y leído en el paso (a) se calcula Δt_{D1} con la siguiente ecuación:

$$\Delta t_{D1} = DT/10$$

- (d) Con el Δt_{D1} calculado se obtiene el factor de incremento AUMEN mediante la siguiente ecuación:

$$AUMEN = \Delta t_{D1}$$

- (e) Con los valores de Δt_{D1} y AUMEN se calcula 19 valores más de Δt_D utilizando la siguiente ecuación:

$$\Delta t_{DI} = \Delta t_{DI-1} + AUMEN$$

donde $I = 2, 3, 4, \dots, 20$.

- (f) Se calcula con la subrutina VIM las desviaciones standard para cada uno de los 20 Δt_D calculados.

- (g) Se selecciona por simple comparación la menor desviación standard y el correspondiente Δt_D .

- (h) Se compara el Δt_D calculado en el paso anterior con los valores de Δt_{D1} y Δt_{D20} , y si es igual a uno de ellos, no se puede tener la seguridad de que este sea el Δt_{Dopt} (Figura 3) y por lo tanto se realiza una nueva iteración regresando al paso (c), siendo DT en esta ocasión el valor de



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

Δt_D calculado en el paso (g). El número máximo de iteraciones posibles a realizar es igual a 20. Para cada una de estas iteraciones se grafica y escribe los valores calculados de las desviaciones standard en función de Δt_D , dependiendo del valor leído de JUEZ3 y utilizando la subrutina

- (i) Una vez que se consigue obtener en el paso (g) un Δt_D que no sea igual al Δt_{D1} ni al Δt_{D20} , se realiza nuevas iteraciones regresando al paso (c), siendo DT siempre el último valor de Δt_D calculado, hasta verificar que el Δt_D que se obtenga en la última iteración es aproximadamente igual al Δt_D calculado en la iteración anterior, cumpliéndose la siguiente condición:

$$|\Delta t_{Dj} - \Delta t_{Dj-1}| < 1.5 \text{ AUMEN}$$

donde j es el número de iteraciones realizadas y que no puede ser mayor a 20.

- (j) Una vez que se cumple la condición expresada en el paso anterior, se puede estar seguro que el último valor de Δt_D calculado es el Δt_{Dopt} . Sin embargo, con el fin de obtener un mejor valor, se realiza los siguientes cálculos:

$$\Delta t_{D1} = \Delta t_{Dopt} - \text{AUMEN}$$

$$\text{AUMEN} = \text{AUMEN}/10$$

y se repite los pasos (e), (f) y (g) obteniéndose así el



BIBLIOTECA FIC I
ESPOI

Δt_{Dopt} con mayor precisión.

- (k) Se calcula los resultados finales para el Δt_{Dopt} calculado en el paso anterior mediante la subrutina VTM.
- (l) Se escribe los resultados finales calculados en el paso anterior, utilizando la subrutina RESUL1.
- (m) Se inicia los cálculos por el método de McEwen dependiente del valor de JUEZ2.
- (n) Para cada uno de los B/N asumidos y leídos en el paso (a), se efectúan los pasos (c) hasta (l) sustituyendo el término "desviación standard" por "suma normalizada" y utilizando el parámetro JUEZ4 en lugar de JUEZ3 y las subrutinas MCEWEN, GRAF2 y RESUL2 en lugar de VTM, GRAF1 y RESUL1 respectivamente. En el caso de que JUEZ4 sea igual a 3 ó 4, los pasos (k) y (l) se efectúan sólo para el valor de B/N para el cual se obtiene la menor de todas las sumas normalizadas calculadas.
- (o) Se repite los pasos (b) hasta (n) para el resto de los r_{ed} leídos en el paso (a).

En el Apéndice E se presenta el diagrama de flujo y el listado del programa VOLPE explicado.



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

4.2 SUBROUTINA DATOS

La subrutina DATOS lee e imprime los datos a ser utilizados por el programa VOLPE para el cálculo de N y B de un yacimiento de petróleo. Los pasos que se siguen en el procedimiento son los siguientes:

- (a) Se lee el nombre del yacimiento, el cual no puede tener más de 62 caracteres.
- (b) Se lee ND y NDSPB.
- (c) Se lee JUEZ1, JUEZ2, JUEZ3 y JUEZ4.
- (d) Se lee NRED que indica el número de r_{eD} que el programa leerá en el siguiente paso. Si el acuífero es lineal (JUEZ1=1) este paso no se realiza y el programa le asigna a NRED el valor de 2.
- (e) Se lee los r_{eD} para los cuales se desea calcular N y B. Estos valores pueden ser los siguientes: 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30 y cualquier valor mayor a 32 si el acuífero es infinito. El usuario podrá escoger uno, parte o la totalidad de estos valores. Si el acuífero es lineal (JUEZ1=1), este paso no se realiza, y el programa hace igual a cero los r_{eD1} y r_{eD2} .
- (f) Se lee NCN, que indica el número de B/N por valor de r_{eD}



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

que el programa leerá en el siguiente paso. Si el cálculo de N y B no se lo va a realizar por el método de McEwen, este paso no se efectúa y el programa le asigna a NCN el valor de 1.

- (g) Se lee los valores B/N asumidos para cada valor de r_{cD} . Si no se utiliza el método de McEwen para calcular N y B este paso no se realiza y el programa le asigna el valor de todos ellos.
- (h) Se lee los siguientes datos generales del yacimiento: DT, P_{yi} , P_i , P_b , B_{ti} , B_{gi} , R_{si} , m , h , \emptyset , K , S_w , c_f , c_w , c_o y u_w .
- (i) Se lee R_i , el cual representa el radio o la longitud del yacimiento dependiendo de si el tipo de estructuras y entrampamiento del sistema yacimiento-acuífero es radial o lineal (JUEZ1 es igual a 2 ó a 1).
- (j) Se lee los siguientes datos de la historia del yacimiento: t , P_y , P , B_t , B_g , R_p , N_p , W_p , W_i , G_i y B_{ig} .
- (k) Se escribe el encabezamiento.
- (l) Se escribe el nombre del yacimiento.
- (m) Se escribe el tipo de acuífero.
- (n) Se escribe los datos leídos en el paso (h).



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

- (o) Se escribe los distintos t , P_y , P , B_t , B_g y R_p leídos en el paso (j). La impresión de estos datos se realiza en la misma página en que se escribieron los del paso (n) si ND es menor a 9, caso contrario se hará en una nueva página.
- (p) Se escribe los distintos t , N_p , W_p , W_i , G_i y B_{ig} leídos en el paso (j). La impresión de estos datos se realiza en la misma página en que se escribieron los del paso (o) si ND es menor a 23; en caso contrario se hará en una nueva página.
- (q) Se regresa al programa principal.



**BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL**

El diagrama de flujo y el listado de la subrutina DATOS explicada, están expuestos en el Apéndice E.

4.3 SUBROUTINA VTM

La subrutina VTM calcula, utilizando el método VTM (sección 3.1), los valores de B , N y otros resultados que se imprimirán con la subrutina RESU1. Los pasos que se siguen en el procedimiento son los siguientes:

- (a) Se calcula $f(P,t)$ para cada tiempo utilizando la ecuación (27) si $JUEZ1$ es igual a 1 y (28) si es igual a 2. Para calcular t_D se utiliza la ecuación (29) y el cálculo de las funciones adimensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$ se lo realiza utili-

zando respectivamente las subrutinas FUNAD e INTAD que serán estudiadas en las secciones 4.8 y 4.9.

- (b) Se calcula X para cada tiempo utilizando la ecuación (33). El valor de Y para los mismos tiempos fueron calculados en el programa VOLPE (sección 4.1). Es de recordar que para yacimientos saturados cuya presión inicial está sobre la presión del punto de burbujeo ($NDSPB \neq 0$), es preferible escoger como primer valor de X y Y los correspondientes al primer valor de presión menor a la presión del punto de burbujeo (sección 3.1).
- (c) Se calcula mediante las ecuaciones (35) y (36) los valores de N y B para cada uno de los tiempos en que se calculó X y Y, con el fin de observar si se conserva cierta constancia en sus resultados. Los resultados finales de N y B son los calculados para el último valor de tiempo.
- (d) Para cada uno de los tiempos en que se calculó X y Y, se calcula Y_c utilizando la ecuación (34), siendo siempre B y N los escogidos como resultado final en el paso anterior.
- (e) De la misma manera, se calcula para los mismos tiempos en que se calculó X y Y, las desviaciones standard utilizando la ecuación (37).
- (f) Se calcula para los mismos tiempos en que se calculó X y Y



las intrusiones de agua We_{VAN} y We_{BAL} utilizando respectivamente las ecuaciones (26) y (25). B y N siempre serán los escogidos como resultados finales en el paso (c).

(g) Se regresa al programa principal.

En el Apéndice E se puede analizar el diagrama de flujo y listado de esta subrutina.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.4 SUBRUTINA MCEWEN

La subrutina MCEWEN calcula, utilizando el método de McEwen (sección 3.2), los valores de B, N y otros resultados que se imprimirán con la subrutina RESUL2. El cálculo se lo realiza de acuerdo a los siguientes pasos:

(a) Se calcula $f(P,t)$ para cada tiempo utilizando la ecuación (27) si JUEZ1 es igual a 1 y (28) si es igual a 2. Para calcular t_D se utiliza la ecuación (29) y el cálculo de las funciones adimensionales $F(t_D)$ y $Q(t_D)$ se lo realiza utilizando respectivamente las subrutinas FUNAD e INTAD que serán estudiadas en la sección 4.8 y 4.9.

(b) Se calcula Y para cada tiempo utilizando la ecuación (38). El valor de B/N a utilizarse lo determina el programa principal VOLPE de acuerdo al valor de las variables de iteración II y JJ. Los valores de X fueron calculados en el pro-

grama VOLPE.

- (c) Se calcula mediante la ecuación (44) los valores de N para cada tiempo con el fin de observar si se conserva cierta constancia en sus resultados.
- (d) Con los valores de N calculados en el paso anterior y el valor de B/N dado por el programa principal, se calculan los valores de B .
- (e) Con el último valor de N calculado en el paso (c) y para cada valor de X calculado en el programa principal, se calcula Y_c utilizando la ecuación (40).
- (f) Con los valores de Y calculados en el paso (b) y Y_c calculados en el paso (e), se calcula la suma normalizada para cada tiempo, utilizando la ecuación (45). Previamente se determina el máximo valor de los Y calculados en el paso (b).
- (g) Se calcula para cada tiempo las intrusiones de agua We_{VAN} y We_{BAL} utilizando respectivamente las ecuaciones (26) y (25), siendo siempre N y B los últimos valores calculados en los pasos (c) y (d).
- (h) Se regresa al programa principal.

En el Apéndice E se presenta el diagrama de flujo y el listado de la subrutina explicada.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

4.5 SUBROUTINA RESUL1

La subrutina RESUL1 imprime los valores de N, B y otros resultados que han sido calculados por el método VIM. Los pasos que se siguen en el procedimiento son los siguientes:

- (a) Se escribe el encabezamiento.
- (b) Se escribe el número de iteraciones realizadas para determinar el Δt_{Dopt} , la desviación standard mínima Δt_{Dopt} .
- (c) Se escribe los parámetros t , ΔP , $f(P,t)$, X, Y y Yc para todos los tiempos en que fueron calculados.
- (d) Se escribe los parámetros t , S, N, B, We_{BAL} y We_{VAN} para todos los tiempos en que fueron calculados. Estos resultados serán escritos en la misma página en que se escribieron los del paso anterior si ND es menor a 18.
- (e) Se escribe los resultados finales de N y B, que serán los correspondientes al último valor de tiempo.
- (f) Se regresa al programa principal.

En el Apéndice E puede observarse el diagrama de flujo y el listado de esta subrutina.

4.6 SUBROUTINA RESULT2

La subrutina RESULT2 imprime los valores de N, B y otros resultados que han sido calculados por el método de McEwen, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- (a) Se escribe el encabezamiento.
- (b) Se escribe el número de iteraciones realizadas para determinar el Δt_{Dopt} , el valor de B/N, el Δt_{Dopt} y la suma lizada mínima.
- (c) Se escribe los parámetros t, ΔP , f(P,t), X, Y y Yc para todos los tiempos en que fueron calculados.
- (d) Se escribe los parámetros t, S, N, B, We_{BAL} y We_{VAN} para todos los tiempos en que fueron calculados. Estos resultados serán escritos en la misma página en que se escribieron los del paso anterior si ND es menor a 17.
- (e) Se escribe los resultados finales de N y B, que serán los correspondientes al último valor de tiempo.
- (f) Se regresa al programa principal.

El diagrama de flujo y el listado de esta subrutina puede ser observada en el Apéndice E.



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOI

4.7 SUBRUTINAS GRAF1 Y GRAF2

La subrutina GRAF1 imprime y grafica las diferentes desviaciones standard en función de Δt_D , calculadas por el método VIM en cada una de las iteraciones que se realizan hasta obtener el valor de Δt_{Dopt} . La subrutina GRAF2, en forma muy similar, imprime y grafica las diferentes sumas normalizadas en función de Δt_D , calculadas por el método de McEwen en cada una de las iteraciones realizadas hasta obtener el valor de Δt_{Dopt} . Prácticamente ambas subrutinas realizan los mismos cálculos, sólo se diferencian en los títulos que escriben en el encabezamiento y en que, mientras la subrutina GRAF1 utiliza la desviación standard, la subrutina GRAF2 utiliza la suma normalizada. De manera resumida los pasos que se siguen en el procedimiento de ambas subrutinas son los siguientes:

- (a) Se definen los siguientes parámetros utilizados para el gráfico: BLAN que equivale a un espacio en blanco, ASTE que equivale a un asterisco y PUNTO que equivale a un punto.
- (b) Se escribe el encabezamiento.
- (c) Se escribe los valores de Δt_D y de las desviaciones standard para la subrutina GRAF1 y de las sumas normalizadas para la subrutina GRAF2.
- (d) Se grafica los valores escritos en el paso (c).



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

(e) Se regresa al programa principal.

En el Apéndice E se presenta el diagrama de flujo y el listado de las subrutinas GRAF1 y GRAF2.

4.8 SUBROUTINA FUNAD

La subrutina FUNAD calcula la función adimensional $F(t_D)$ para acuíferos de tipo lineal y de extensión finita o infinita si la variable II vale 1 ó 2 respectivamente. El cálculo se realiza de acuerdo a los siguientes pasos:



BIBLIOTECA FIC
ESPO

- (a) Se verifica el valor de la variable II (variable de iteración definida en el programa VOLPE) que determina si se calcula $F(t_D)$ para acuíferos de extensión finita o infinita.
- (b) Si II vale 1, $F(t_D)$ se calcula de la siguiente manera:
 - Por la ecuación (8) si $t_D \leq 0.07$.
 - Por la ecuación (9) si $0.07 < t_D < 7$.
 - Es igual a 1 si $t_D \geq 7$.
- (c) Si II vale 2, $F(t_D)$ se calcula por la ecuación (8).
- (d) Se regresa al programa principal.

El diagrama de flujo y el listado de la subrutina explicada pueden observarse en el Apéndice E.

4.9 SUBROUTINA INTAD

La subrutina INTAD calcula la función adimensional $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y cuyos r_{eD} pueden tener los siguientes valores: 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 30 y cualquier valor mayor a 32 para acuíferos de extensión infinita. De manera resumida los pasos que se siguen en el procedimiento son los siguientes:

- (a) Se define los valores de a_1 , a_2 , t_{DMIN} , t_{DINT} y t_{DMAX} representados en las Tablas III y IV, para cada uno de los r_{eD} anteriormente mencionados.
- (b) Para los valores de r_{eD} menores a 32 (acuíferos finitos) se calcula $Q(t_D)$ de la siguiente manera:
- Por las ecuaciones (11), (21) o (22) dependiendo del valor de t_D si $t_D < t_{DMIN}$.
 - Por la ecuación (12) evaluando el sumatorio mediante 2 iteraciones para las raíces a_1 y a_2 si $t_{DMIN} \leq t_D < t_{DINT}$.
 - Por la ecuación (12) evaluando el sumatorio mediante una sola iteración para la raíz a_1 si $t_{DINT} \leq t_D \leq t_{DMAX}$.
 - $Q(t_D) = (r_{eD}^2 - 1)/2$ si $t_D > t_{DMAX}$.
- (c) Para valores de r_{eD} mayores a 32 (acuíferos infinitos) se calcula $Q(t_D)$ con las ecuaciones (11), (21) o (22) dependiendo del valor de t_D .



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

(d) Se regresa al programa principal.

En el Apéndice E se puede observar el diagrama de flujo y el -
listado de la subrutina explicada.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

CAPITULO 5

APLICACION DE LOS METODOS VTM Y DE McEWEN A UN YACIMIENTO DEL ORIENTE ECUATORIANO

Con el fin de hacer una aplicación práctica del programa y subprogramas de computación estudiados en el capítulo anterior a yacimientos del oriente ecuatoriano, cuyas historias de presión-producción estén influenciadas por la presencia de acuíferos laterales, se seleccionó los yacimientos U y T del campo Shushufindi-Aguarico por ser uno de los de mayor importancia, tanto por su potencial hidrocarburoso como en su aspecto investigativo.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

La producción de petróleo del campo Shushufindi-Aguarico proviene de las areniscas cretácicas U y T de la formación Napo, siendo la T la más profunda. La estructura que contiene a estos yacimientos es un anticlinal limitado al este por fallas geológicas y al norte, sur y oeste por un acuífero lateral que se extiende regionalmente. En cuanto al mecanismo de producción, estos yacimientos producen por la expansión de la roca y fluídos y por la acción de una intrusión de agua que ha permitido que la presión estática de fondo se mantenga a niveles superiores a los que hubiere existido si el mecanismo de producción fuese exclusivamente por expansión de rocas y fluídos. La información básica de estos yacimientos, se presenta en las Tablas VII y VIII. En vista de que las presiones promedio del yacimiento están sobre la presión de burbujeo y por lo tanto no existe capa de gas li

TABLA VII

Información básica de la Arena U (Campo Shushufindi -Aguarico)

Pi = 3867 LPC	Rsi = 230 PCN/BN	Sw = 0.15	u _w = 0.32 CPS
Pb = 1264 LPC	m = 0	c _f = 0.375 X 10 ⁻⁵ 1/LPC	h = 37.16 PIES
Bti = 1.1079 BY/BN	Ø = 0.1723	c _w = 0.362 X 10 ⁻⁵ 1/LPC	Ri = 23554 PIES
Bgi = 0 BY/PCN	K = 604.08 MD	c _o = 0.750 X 10 ⁻⁵ 1/LPC	Δt _D = 0.02 1/MESES

FECHA	t	Py	P	Bt	Bg	Rp	Np	Wp	Wi	Gi	Bgi
(MESES)	(LPC)	(LPC)	(BY/BN)	(BY/PCN)	(PCN/BN)	(BN)	(BY)	(BY)	(BY)	(PCN)	(BY/PCN)
Dic 73	17	3539	3539	1.1106	0	230	0.10225x10 ⁸	0.897200x10 ⁵	0	0	0
Dic 74	29	3330	3330	1.1124	0	230	0.21318x10 ⁸	0.1169550x10 ⁶	0	0	0
Dic 75	41	3173	3173	1.1137	0	230	0.32286x10 ⁸	0.1432540x10 ⁶	0	0	0
Dic 76	53	2999	2999	1.1151	0	230	0.44497x10 ⁸	0.2148850x10 ⁶	0	0	0
Dic 77	65	2890	2890	1.1160	0	230	0.56067x10 ⁸	0.3825420x10 ⁶	0	0	0
Dic 78	77	2714	2714	1.1175	0	230	0.69538x10 ⁸	0.6513150x10 ⁶	0	0	0
Dic 79	89	2584	2584	1.1186	0	230	0.83022x10 ⁸	0.1160615x10 ⁷	0	0	0
Dic 80	101	2482	2482	1.1194	0	230	0.95651x10 ⁸	0.1773979x10 ⁷	0	0	0

TABLA VIII

Información básica de la Arena T (Campo Shushufindi-Aguarico)

$P_i = 4050$ LPC $R_{si} = 300$ PCN/BN $S_w = 0.15$ $u_w = 0.32$ CPS
 $P_b = 1058$ LPC $m = 0$ $c_f = 0.375 \times 10^{-5}$ 1/LPC $h = 42.80$ PIES
 $B_{ti} = 1.1558$ BY/BN $\emptyset = 0.1726$ $c_w = 0.362 \times 10^{-5}$ 1/LPC $R_i = 23158$ PIES
 $B_{gi} = 0$ BY/PCN $K = 568.54$ MD $c_o = 0.750 \times 10^{-5}$ 1/LPC $\Delta t_D = 0.02$ 1/MESES


FECHA	t	Py	P	Bt	Bg	Rp	Np	Wp	Wi	Gi	Bgi
(MESES)	(LPC)	(LPC)	(BY/BN)	(BY/PCN)	(PCN/BN)	(BN)	(BY)	(BY)	(BY)	(PCN)	(BY/PCN)
Dic 73	17	3500	3500	1.1606	0	300	0.234000×10^8	0.2053240×10^6	0	0	0
Dic 74	29 ¹⁰¹	3399	3399	1.1614	0	300	0.424330×10^8	0.2327960×10^6	0	0	0
Dic 75	41 ¹⁵⁴	3240	3240	1.1628	0	300	0.613050×10^8	0.2720020×10^6	0	0	0
Dic 76	53 ¹⁹⁶	3044	3044	1.1645	0	300	0.838240×10^8	0.4048030×10^6	0	0	0
Dic 77	65	2953	2953	1.1653	0	300	0.105309×10^9	0.7185160×10^6	0	0	0
Dic 78	77	2748	2748	1.1671	0	300	0.180537×10^9	0.1222596×10^7	0	0	0
Dic 79	89	2631	2631	1.1681	0	300	0.155890×10^9	0.2179281×10^7	0	0	0
Dic 80	101	2542	2542	1.1689	0	300	0.180556×10^9	0.3530996×10^7	0	0	0



Copie de la base de datos de la Arena T

bre, m y B_g toman el valor de cero y R_p es igual a R_{si} . Así mismo como no existe inyección de agua ni de gas, W_i , G_i y B_{ig} también toman el valor de cero. *¿Cómo afecta al programa un nuevo curso de inyección de agua?*
 Los resultados de la aplicación del programa VOLPE a los yacimientos U y T del campo Shushufindi-Aguarico con el fin de calcular N y B para distintos valores de r_{eD} , se resume en las Tablas IX y X.

Analizando la Tabla IX se puede hacer las siguientes apreciaciones:

- 
- (a) A partir de r_{eD} igual a 6, el borde exterior del acuífero para la arena U no se manifiesta y por lo tanto se comporta fuera de extensión infinita.
- (b) La menor desviación standard calculada por el método VIM y la menor suma normalizada calculada por el método de McEwen se obtiene para un valor de r_{eD} igual a 4. *¿Qué significa?*
- (c) El volumen original de petróleo para la arena U del campo Shushufindi-Aguarico es aproximadamente 1500 MM BN y la constante de intrusión de agua es 26000 BY/LPC. Estos resultados se toman del método VIM, ya que por el método de McEwen se tienen los resultados para el mejor valor de los B/N escogidos (B/N para el cual se obtiene la menor suma normalizada), lo cual no descarta la posibilidad de que exista otro valor de B/N intermedio en que se obtenga aún mejores resultados.

Analizando la Tabla X se puede hacer las siguientes apreciaciones:

TABLA IX

Resultados de N y B para la Arena U (Campo Shushufindi-Aguarico) para distintos valores de r_{eD}

r_{eD}	METODO VTM					METODO DE McEWEN				
	Δ^t_{Dopt} (1/MESES)	N (MM BN)	B (BY/LPC)	DS (BN)	$(B/N)_{MEJ}$ $(\frac{BY}{LPC-BN})$	Δ^t_{Dopt} (1/MESES)	N (MM BN)	B (BY/LPC)	SN (-----)	
1.5	0.0001872	1224.45	533839	37805810	0.000500	0.00018	1117.10	558550	0.52834×10^{-4}	
2.0	0.0033280	1299.70	108884	34357750	0.000100	0.00297	1196.18	119618	0.52769×10^{-4}	
2.5	0.0080800	1366.55	63901	23173500	0.000055	0.00696	1294.62	71204	0.23720×10^{-4}	
3.0	0.0150400	1421.04	43234	14174410	0.000035	0.01296	1371.38	47998	0.90245×10^{-5}	
3.5	0.0244800	1466.67	31488	6999866	0.000025	0.02000	1439.41	35985	0.26085×10^{-5}	
4.0	0.0329800	1500.18	25744	2891263	0.000020	0.02652	1484.74	29695	0.94987×10^{-6}	
4.5	0.0280000	1493.32	28589	3431248	0.000020	0.02626	1490.55	29807	0.99042×10^{-6}	
5.0	0.0271600	1491.27	29162	3578404	0.000020	0.02626	1490.19	29804	0.10116×10^{-5}	
6.0 $\rightarrow \infty$	0.0270400	1490.95	29247	3597016	0.000020	0.02626	1490.17	29803	0.10186×10^{-5}	



TABLA X

Resultados de N y B para la Arena T (Campo Shushufindi-Aguarico) para distintos valores de r_{eD}

r_{eD}	METODO VIM				METODO DE McEWEN				
	Δ^t_{Dopt} (1/MESES)	N (MM BN)	B (BY/LPC)	DS (BN)	$(B/N)_{MEJ}$ $(\frac{BY}{LPC-BN})$	Δ^t_{Dopt} (1/MESES)	N (MM BN)	B (BY/LPC)	SN (----
1.5	0.0001872	900.67	1060156	115839800	0.001500	0.00019	726.23	1089341	0.28285×10^{-3}
2.0	0.0032640	1037.99	218735	106175700	0.000300	0.00286	813.12	243935	0.25988×10^{-3}
2.5	0.0079200	1173.55	128276	80846200	0.000150	0.00654	984.44	147666	0.15369×10^{-3}
3.0	0.0145600	1283.29	87375	60430390	0.000080	0.01358	1161.33	92906	0.87011×10^{-4}
3.5	0.0230400	1373.50	64744	43740360	0.000055	0.02080	1274.19	70081	0.47367×10^{-4}
4.0	0.0336600	1450.48	50211	29848970	0.000040	0.02970	1375.46	55019	0.23604×10^{-4}
4.5	0.0448800	1512.87	41198	18449460	0.000030	0.04120	1463.08	43892	0.10201×10^{-4}
5.0	0.0554400	1562.67	35508	9451448	0.000025	0.04992	1529.85	38246	0.33701×10^{-5}
6.0	0.0576800	1587.67	34377	2526503	0.000020	0.05366	1608.74	32175	0.31921×10^{-6}
7.0	0.0571200	1588.19	34591	1905611	0.000020	0.06272	1616.99	32340	0.36075×10^{-6}
8.0 $\rightarrow \infty$	0.0571200	1588.35	34589	1876151	0.000020	0.06272	1616.93	32339	0.35383×10^{-6}

(a) A partir de r_{eD} igual a 8 el borde exterior del acuífero para la arena T no se manifiesta y por lo tanto se comporta como si fuera de extensión infinita.

(b) La menor desviación standard calculada por el método VIM se obtiene considerando al acuífero como infinito. La menor suma normalizada calculada por el método de McEwen se observa para r_{eD} igual a 6, pero si se modifica los valores de B/N_{MEJ} tabulados con ± 0.000005 , la menor suma normalizada también se obtiene para r_{eD} considerado como infinito.

(c) El volumen original de petróleo para la arena T del campo Shushu findi-Aguarico es aproximadamente 1600 MM BN y la constante de intrusión de agua es 34500 BY/LPC. Estos resultados se toman del método VIM por las mismas razones que fueron explicadas para la arena U. *Comparación con el dato de DG-117.*

A continuación se presenta el listado de los resultados de N y B para las arenas U y T para los valores de r_{eD} en que se obtuvo la menor desviación standard y suma normalizada. La constancia de los resultados de N y B para los diferentes tiempos, la similitud que existe entre estos resultados calculados por el método VIM con los de McEwen y la concordancia entre la intrusión de agua calculada con la ecuación de van Everdingen y Hurst y la calculada con la ecuación de balance de materiales, demuestra la total consistencia en la información.



VARIABLES DE CONTROL UTILIZADAS EN EL PROGRAMA VOLPE PARA CALCULAR N Y B EN LA ARENA U DEL CAMPO SHUSHUFINDI-AGUARICO:

ND	=	8
NDSPB	=	0
JUEZ1	=	2
JUEZ2	=	2
JUEZ3	=	2
JUEZ4	=	4
NRED	=	1
r_{eD1}	=	4.00
NCN	=	5
$B/N_{1,1}$	=	0.000010
$B/N_{1,2}$	=	0.000015
$B/N_{1,3}$	=	0.000020
$B/N_{1,4}$	=	0.000025
$B/N_{1,5}$	=	0.000030



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

CALCULO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA
 -----PARA YACIMIENTOS CON EMPUJE HIDRAULICO-----

YACIMIENTO SHUSHUFINDI-AGUARICO, ARENA U
 TIPO DE ACUIFERO RADIAL

DATOS GENERALES

PRESION INICIAL DEL YACIMIENTO (PI, LPC)	0.38670D+04
PRESION AL PUNTO DE BURBUJEO (PB, LPC)	0.12640D+04
FACTOR VOLUMETRICO TOTAL A LA PRESION INICIAL (BTI, BY/BN)	0.11079D+01
FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS A LA PRESION INICIAL (BGI, BY/PCN)	0.00000D+00
RAZON GAS EN SOLUCION-PETROLEO A LA PRESION INICIAL (RSI, PCN/BN)	0.23000D+03
RAZON DEL VOLUMEN INICIAL DE LA CAPA DE GAS AL VOLUMEN INICIAL DE PETROLEO (M, ADIMENSIONAL)	0.00000D+00
POROSIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (PORO, FRACCION)	0.17230D+00
PERMEABILIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (K, MD)	0.60408D+03
SATURACION DE AGUA CONNATA (SW, FRACCION)	0.15000D+00
COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION (CF, 1/LPC)	0.37500D-05
COMPRESIBILIDAD DEL AGUA (CW, 1/LPC)	0.36200D-05
COMPRESIBILIDAD DEL PETROLEO (CO, 1/LPC)	0.75000D-05
VISCOSIDAD DEL AGUA (UW, CP)	0.32000D+00
ESPESOR PROMEDIO (H, PIES)	0.37160D+02
TD/T ASUMIDO (DT, 1/MESES)	0.20000D-01
RADIO DEL YACIMIENTO (RI, PIES)	0.23354D+05



DATOS PVT Y DE PRODUCCION - INYECCION

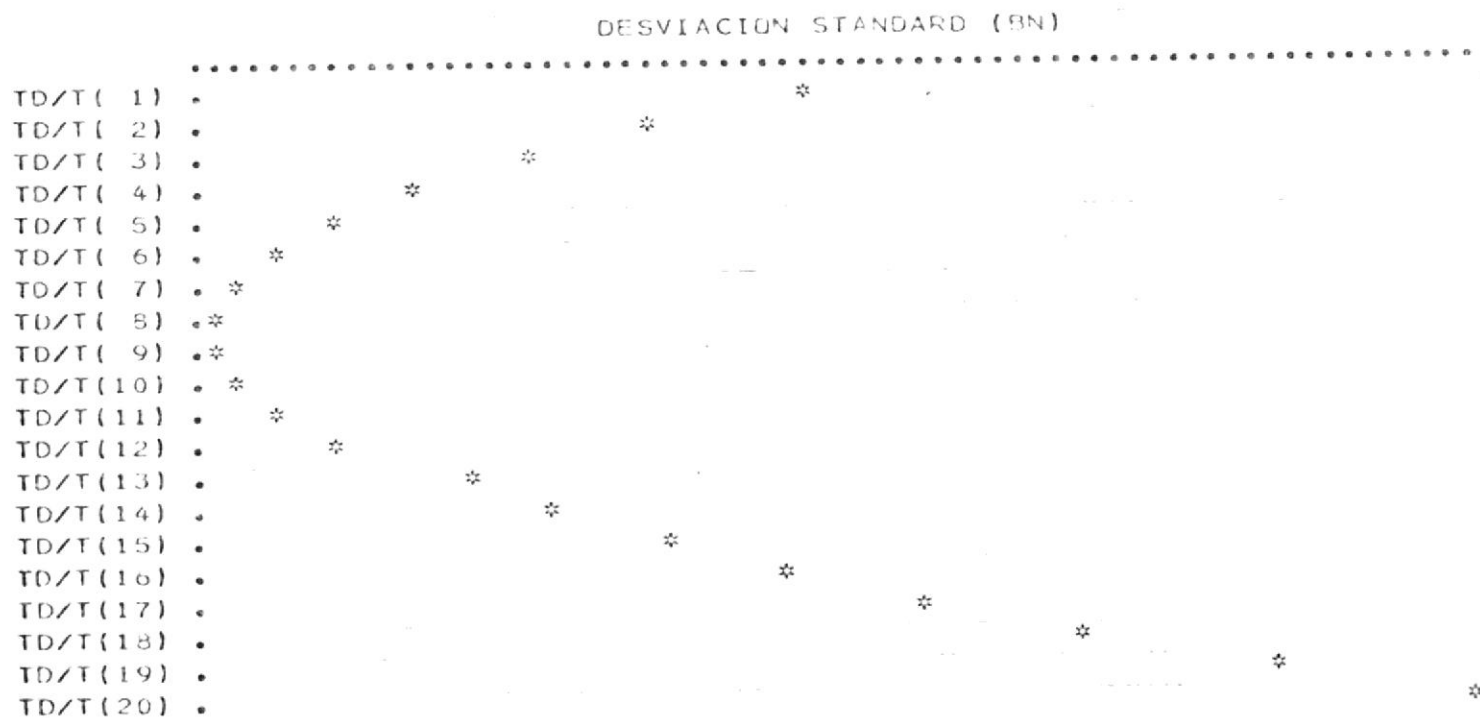
TIEMPO (T, MESES)	PRESION EN EL YACIMIENTO (P, LPC)	PRESION EN CONTACTO AGUA-PET. (PCAP, LPC)	FACTOR VOLUMETRICO TOTAL (BT, BY/BN)	FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS (BG, BY/PCN)	RAZON GAS-PETROLEO ACUMULADA (RP, PCN/BN)
0.1700D+02	0.35390D+04	0.35390D+04	0.11106D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.2900D+02	0.33300D+04	0.33300D+04	0.11124D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.4100D+02	0.31730D+04	0.31730D+04	0.11137D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.5300D+02	0.29990D+04	0.29990D+04	0.11151D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.6500D+02	0.28900D+04	0.28900D+04	0.11160D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.7700D+02	0.27140D+04	0.27140D+04	0.11175D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.8900D+02	0.25840D+04	0.25840D+04	0.11186D+01	0.00000D+00	0.23000D+03
0.1010D+03	0.24820D+04	0.24820D+04	0.11194D+01	0.00000D+00	0.23000D+03

TIEMPO (T, MESES)	PRODUCCION ACUMULADA DE PETROLEO (NP, BN)	PRODUCCION ACUMULADA DE AGUA (WP, BY)	VOLUMEN TOTAL AGUA INYECTADO (WI, BY)	VOLUMEN TOTAL GAS INYECTADO (GI, PCN)	FACTOR VOL. DEL GAS INYECTADO (BIG, BY/PCN)
0.1700D+02	0.10225D+08	0.89720D+05	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.2900D+02	0.21318D+08	0.11696D+06	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.4100D+02	0.32286D+08	0.14325D+06	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.5300D+02	0.44477D+08	0.21489D+06	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.6500D+02	0.56067D+08	0.38254D+06	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.7700D+02	0.69538D+08	0.65132D+06	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.8900D+02	0.83022D+08	0.11606D+07	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00
0.1010D+03	0.96051D+08	0.17740D+07	0.00000D+00	0.00000D+00	0.00000D+00

RESULTADOS DE DESVIACION STANDARD PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS
EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MESES)	DESVIACION STANDARD (BN)
TD/T(1) = 0.306000D-01	DS(1) = 0.297083D+07
TD/T(2) = 0.309400D-01	DS(2) = 0.295008D+07
TD/T(3) = 0.312800D-01	DS(3) = 0.293269D+07
TD/T(4) = 0.316200D-01	DS(4) = 0.291852D+07
TD/T(5) = 0.319600D-01	DS(5) = 0.290740D+07
TD/T(6) = 0.323000D-01	DS(6) = 0.289923D+07
TD/T(7) = 0.326400D-01	DS(7) = 0.289388D+07
TD/T(8) = 0.329800D-01	DS(8) = 0.289126D+07
TD/T(9) = 0.333200D-01	DS(9) = 0.289129D+07
TD/T(10) = 0.336600D-01	DS(10) = 0.289390D+07
TD/T(11) = 0.340000D-01	DS(11) = 0.289908D+07
TD/T(12) = 0.343400D-01	DS(12) = 0.290669D+07
TD/T(13) = 0.346800D-01	DS(13) = 0.292601D+07
TD/T(14) = 0.350200D-01	DS(14) = 0.293754D+07
TD/T(15) = 0.353600D-01	DS(15) = 0.295164D+07
TD/T(16) = 0.357000D-01	DS(16) = 0.296832D+07
TD/T(17) = 0.360400D-01	DS(17) = 0.298761D+07
TD/T(18) = 0.363800D-01	DS(18) = 0.300954D+07
TD/T(19) = 0.367200D-01	DS(19) = 0.303414D+07
TD/T(20) = 0.370600D-01	DS(20) = 0.306148D+07

GRAFICO



METODO VTN

NUMERO DE ITERACIONES 3
 TD/T OPTIMO (1/MESES) 0.3298000D-01
 DESVIACION STANDARD MINIMA (BN) 0.2891263D+07

TIEMPO (T, MESES)	DELTA PCAP PROMEDIO (DP, LPC)	SUMATORIA DP*FUNC.AJ. (SUMAT,LPC)	X	Y	YC
			(X,LPC-BN/BY)	(Y, BN)	(YC, BN)
0.1700D+02	0.16400D+03	0.18002D+03	0.39693D+05	0.25236D+10	0.25220D+10
0.2900D+02	0.26850D+03	0.48925D+03	0.65192D+05	0.31754D+10	0.31785D+10
0.4100D+02	0.19300D+03	0.83831D+03	0.86573D+05	0.37281D+10	0.37290D+10
0.5300D+02	0.16550D+03	0.12318D+04	0.10217D+06	0.41332D+10	0.41303D+10
0.6500D+02	0.14150D+03	0.16528D+04	0.12183D+06	0.46402D+10	0.46350D+10
0.7700D+02	0.14250D+03	0.21106D+04	0.13149D+06	0.48817D+10	0.48851D+10
0.8900D+02	0.15300D+03	0.26132D+04	0.14616D+06	0.52592D+10	0.52629D+10
0.1010D+03	0.11600D+03	0.31216D+04	0.16216D+06	0.56776D+10	0.56740D+10



TIEMPO (T, MESES)	DESVIACION STANDARD (DS, BN)	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO (N, BN)	CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)	INTRUSION DE AGUA POR BALANCE DE MATERIALES (WEBAL, BY)	INTRUSION DE AGUA POR VAN EVERDIN GEN Y HURST (WEVAN, BY)
0.1700D+02	0.16141D+07			0.46418D+07	0.46345D+07
0.2900D+02	0.24236D+07	0.15090D+10	0.25562D+05	0.12573D+08	0.12595D+08
0.4100D+02	0.20348D+07	0.15030D+10	0.25688D+05	0.21573D+08	0.21581D+08
0.5300D+02	0.22709D+07	0.14989D+10	0.25763D+05	0.31746D+08	0.31711D+08
0.6500D+02	0.26156D+07	0.14974D+10	0.25788D+05	0.42601D+08	0.42551D+08
0.7700D+02	0.27594D+07	0.15002D+10	0.25745D+05	0.54280D+08	0.54334D+08
0.8900D+02	0.29101D+07	0.15018D+10	0.25724D+05	0.67207D+08	0.67273D+08
0.1010D+03	0.28913D+07	0.15002D+10	0.25744D+05	0.80415D+08	0.80362D+08

VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN) 0.1500180D+10
 CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC) 0.2574391D+05

RESULTADOS DE N Y B PARA LOS DISTINTOS B/N ASUMIDOS

B/N	TD/T OPTIMO	NUMERO DE ITERACIONES	SUMA NORMALIZADA	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO(N) (BN)	CONSTANTE INTRUSION DE AGUA (B) (BY/LPC)
(BY/LPC-BN)	(1/MESES)				
0.1000D-04	0.77520D-01	4	0.14759D-03	0.15132D+10	0.15132D+05
0.1500D-04	0.40400D-01	4	0.23904D-05	0.15063D+10	0.22594D+05
0.2000D-04	0.26520D-01	3	0.94987D-06	0.14847D+10	0.22695D+05
0.2500D-04	0.19800D-01	3	0.13547D-05	0.14444D+10	0.36110D+05
0.3000D-04	0.15520D-01	3	0.29292D-05	0.14130D+10	0.42390D+05

MEJOR VALOR DE B/N (BY/LPC-BN) = 0.200000D-04



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

-----METODO MC EWEN-----

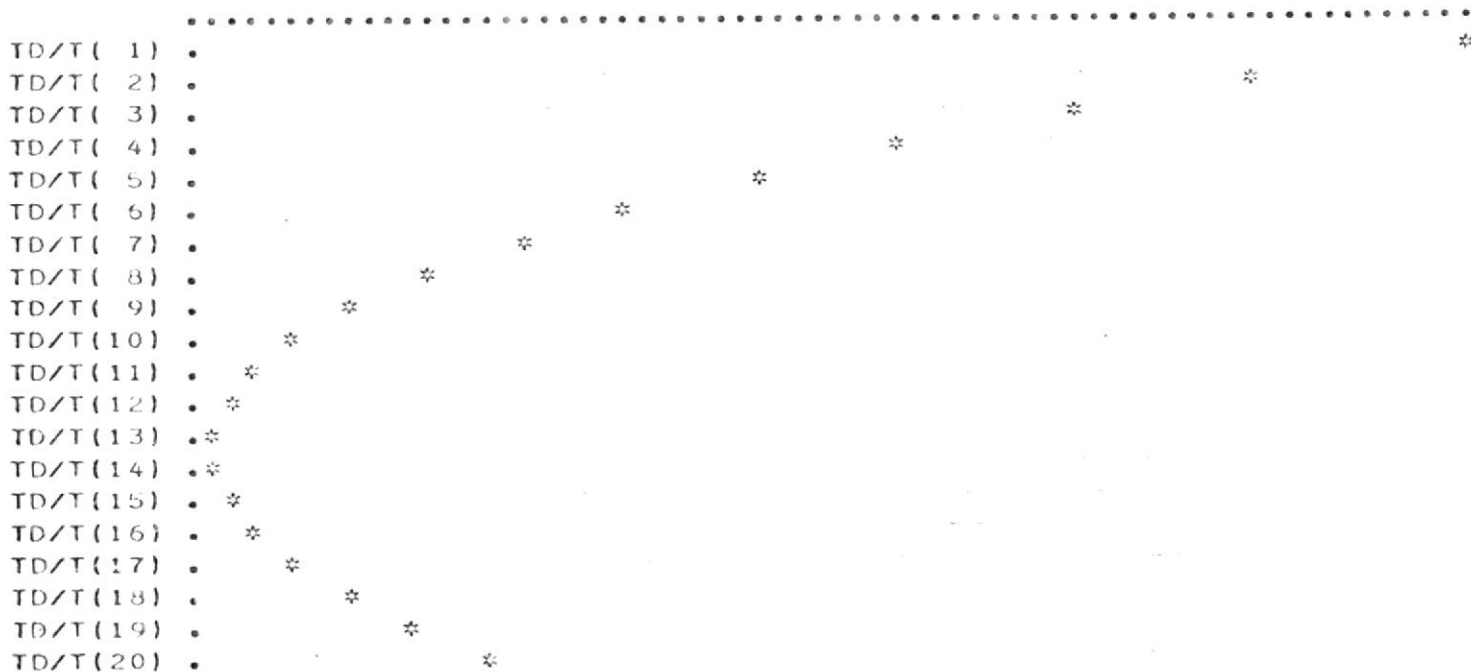
B/N (BY/LPC-BN) 0.2000D-04

RESULTADOS DE LA SUMA NORMALIZADA PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS
EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MESES)	SUMA NORMALIZADA
TD/T(1) = 0.234000D-01	SN(1) = 0.555873D-04
TD/T(2) = 0.236600D-01	SN(2) = 0.464787D-04
TD/T(3) = 0.239200D-01	SN(3) = 0.383099D-04
TD/T(4) = 0.241800D-01	SN(4) = 0.310447D-04
TD/T(5) = 0.244400D-01	SN(5) = 0.246846D-04
TD/T(6) = 0.247000D-01	SN(6) = 0.191164D-04
TD/T(7) = 0.249600D-01	SN(7) = 0.143513D-04
TD/T(8) = 0.252200D-01	SN(8) = 0.103580D-04
TD/T(9) = 0.254800D-01	SN(9) = 0.710663D-05
TD/T(10) = 0.257400D-01	SN(10) = 0.458737D-05
TD/T(11) = 0.260000D-01	SN(11) = 0.271261D-05
TD/T(12) = 0.262600D-01	SN(12) = 0.151958D-05
TD/T(13) = 0.265200D-01	SN(13) = 0.949871D-06
TD/T(14) = 0.267800D-01	SN(14) = 0.590207D-06
TD/T(15) = 0.270400D-01	SN(15) = 0.362380D-06
TD/T(16) = 0.273000D-01	SN(16) = 0.229918D-06
TD/T(17) = 0.275600D-01	SN(17) = 0.1450915D-06
TD/T(18) = 0.278200D-01	SN(18) = 0.922009D-06
TD/T(19) = 0.280800D-01	SN(19) = 0.5944181D-06
TD/T(20) = 0.283400D-01	SN(20) = 0.39126361D-06

GRAFICO

SUMA NORMALIZADA



-----METODO MC EWEN-----

NUMERO DE ITERACIONES 3
 B/N (BY/LPC-BN) 0.2000000D-04
 ID/T OPTIMO (1/MESES) 0.2652000D-01
 SUMA NORMALIZADA MINIMA 0.9498712D-06

TIEMPO (T, MESES)	DELTA PCAP PROMEDIO (DP, LPC)	SUMATORIA DP*FUNC.AD. (SUMAT,LPC)	X (X, BY)	Y (Y, BY/BN)	YC (YC, BY/BN)
0.17000+02	0.164000+03	0.157870+03	0.114460+08	0.769270-02	0.770980-02
0.29000+02	0.268500+03	0.428650+03	0.238310+08	0.160780-01	0.160510-01
0.41000+02	0.183000+03	0.732780+03	0.361000+08	0.243390-01	0.243140-01
0.53000+02	0.155500+03	0.107470+04	0.498330+08	0.335510-01	0.335640-01
0.65000+02	0.141500+03	0.144010+04	0.629530+08	0.423680-01	0.424000-01
0.77000+02	0.142500+03	0.183730+04	0.793600+08	0.527980-01	0.527770-01
0.89000+02	0.153000+03	0.227410+04	0.940290+08	0.633610-01	0.633300-01
0.10100+03	0.116000+03	0.271650+04	0.109290+09	0.735810-01	0.736110-01

TIEMPO (T, MESES)	SUMA NORMALIZADA (SN, -----)	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO (N, BN)	CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)	INTRUSION DE AGUA POR BALANCE DE MATERIALES (WEBAL, BY)	INTRUSION DE AGUA POR EVERTDIN HURST (WEVAN, EY)
0.17000+02	0.480380-07	0.148790+10	0.297570+05	0.471180+07	0.468730+07
0.29000+02	0.185260-06	0.148330+10	0.296660+05	0.126880+08	0.127290+08
0.41000+02	0.299030-06	0.148320+10	0.296650+05	0.217230+08	0.217600+08
0.53000+02	0.327250-06	0.148440+10	0.296880+05	0.319320+08	0.319140+08
0.65000+02	0.516750-06	0.148510+10	0.297020+05	0.428100+08	0.427620+08
0.77000+02	0.597600-06	0.148470+10	0.296940+05	0.545270+08	0.545580+08
0.89000+02	0.779540-06	0.148440+10	0.296890+05	0.674830+08	0.675300+08
0.10100+03	0.949870-06	0.148470+10	0.296950+05	0.807120+08	0.806670+08

VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN) 0.14847440+10
 CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC) 0.29694890+05



BIBLIOTECA NACIONAL
 ESPOL

VARIABLES de control utilizadas en el programa VOLPE para calcular N y B en la arena T del campo Shushufindi-Aguarico:

ND	=	8
NDSPB	=	0
JUEZ1	=	2
JUEZ2	=	2
JUEZ3	=	2
JUEZ4	=	4
NRED	=	1
r_{ed1}	=	35.00
NCN	=	5
$B/N_{1,1}$	=	0.000010
$B/N_{1,2}$	=	0.000015
$B/N_{1,3}$	=	0.000020
$B/N_{1,4}$	=	0.000025
$B/N_{1,5}$	=	0.000030



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

YACIMIENTO SHUSHUFINDI-AGUARICO, ARENA T
TIPO DE ACUIFERO RADIAL

DATOS GENERALES

PRESION INICIAL DEL YACIMIENTO (PI, LPC)	0.405000+04
PRESION AL PUNTO DE BURBUJEO (PB, LPC)	0.105800+04
FACTOR VOLUMETRICO TOTAL A LA PRESION INICIAL (BTI, BY/BN)	0.115580+01
FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS A LA PRESION INICIAL (BGI, BY/PCN)	0.000000+00
RAZON GAS EN SOLUCION-PETROLEO A LA PRESION INICIAL (RSI, PCN/BN)	0.300000+03
RAZON DEL VOLUMEN INICIAL DE LA CAPA DE GAS AL VOLUMEN INICIAL DE PETROLEO (M, ADIMENSIONAL)	0.000000+00
POROSIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (PORO, FRACCION)	0.172600+00
PERMEABILIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (K, MD)	0.558540+03
SATURACION DE AGUA CONNATA (SW, FRACCION)	0.150000+00
COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION (CF, 1/LPC)	0.375000-05
COMPRESIBILIDAD DEL AGUA (CW, 1/LPC)	0.362000-05
COMPRESIBILIDAD DEL PETROLEO (CO, 1/LPC)	0.750000-05
VISCOSIDAD DEL AGUA (UW, CP)	0.320000+00
ESPESOR PROMEDIO (H, PIES)	0.428000+02
TD/T ASUMIDO (DT, 1/MESES)	0.200000-01
RADIO DEL YACIMIENTO (RI, PIES)	0.1580+05



DATOS PVT Y DE PRODUCCION - INYECCION

TIEMPO (T, MESES)	PRESION EN EL YACIMIENTO (P, LPC)	PRESION EN CONTACTO AGUA-PET. (PCAP, LPC)	FACTOR VOLUMETRICO TOTAL (BT, BY/BN)	FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS (BG, BY/PCN)	RAZON GAS-PETROLEO ACUMULADA (RP, PCN/BN)
0.17000+02	0.350000+04	0.350000+04	0.116060+01	0.000000+00	0.300000+03
0.29000+02	0.337900+04	0.339900+04	0.115140+01	0.000000+00	0.300000+03
0.41000+02	0.324000+04	0.324000+04	0.116280+01	0.000000+00	0.300000+03
0.53000+02	0.304400+04	0.304400+04	0.116450+01	0.000000+00	0.300000+03
0.65000+02	0.295300+04	0.295300+04	0.116530+01	0.000000+00	0.300000+03
0.77000+02	0.274800+04	0.274800+04	0.116710+01	0.000000+00	0.300000+03
0.89000+02	0.263100+04	0.263100+04	0.116810+01	0.000000+00	0.300000+03
0.10100+03	0.254200+04	0.254200+04	0.116990+01	0.000000+00	0.300000+03

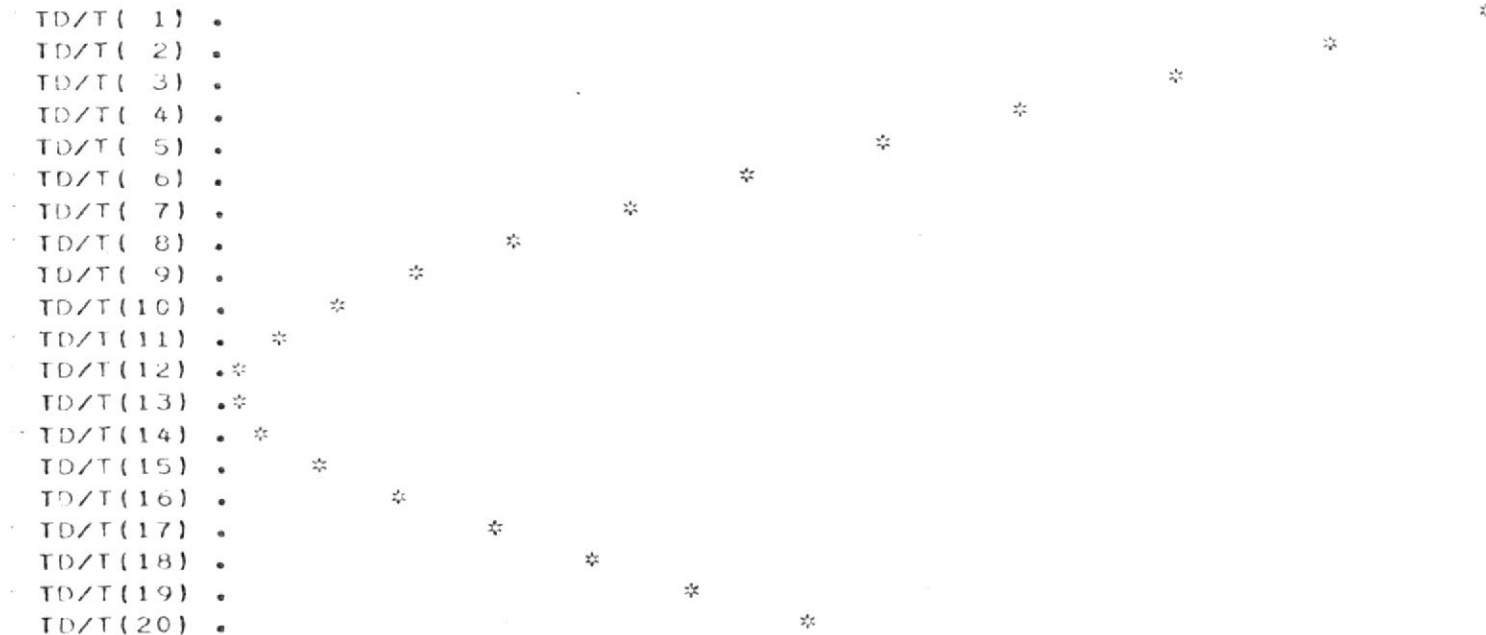
TIEMPO (T, MESES)	PRODUCCION ACUMULADA DE PETROLEO (NP, BN)	PRODUCCION ACUMULADA DE AGUA (WP, BY)	VOLUMEN TOTAL AGUA INYECTADO (WI, BY)	VOLUMEN TOTAL GAS INYECTADO (GI, PCN)	FACTOR VOL. DEL GAS INYECTADO (BIG, BY/PCN)
0.17000+02	0.234000+08	0.205320+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.29000+02	0.424330+08	0.232800+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.41000+02	0.613030+08	0.272000+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.53000+02	0.838240+08	0.404800+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.65000+02	0.105310+09	0.718520+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.77000+02	0.130530+09	0.122260+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.89000+02	0.155890+09	0.217930+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.10100+03	0.180360+09	0.333100+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00

RESULTADOS DE DESVIACION STANDARD PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MESES)	DESVIACION STANDARD (RN)
TD/T(1) = 0.5040000-01	DS(1) = 0.4921550+07
TD/T(2) = 0.5096000-01	DS(2) = 0.4537130+07
TD/T(3) = 0.5152000-01	DS(3) = 0.4163460+07
TD/T(4) = 0.5208000-01	DS(4) = 0.3802110+07
TD/T(5) = 0.5264000-01	DS(5) = 0.3455220+07
TD/T(6) = 0.5320000-01	DS(6) = 0.3125310+07
TD/T(7) = 0.5376000-01	DS(7) = 0.2816090+07
TD/T(8) = 0.5432000-01	DS(8) = 0.2537880+07
TD/T(9) = 0.5488000-01	DS(9) = 0.2293080+07
TD/T(10) = 0.5544000-01	DS(10) = 0.2093810+07
TD/T(11) = 0.5600000-01	DS(11) = 0.1951540+07
TD/T(12) = 0.5656000-01	DS(12) = 0.1826150+07
TD/T(13) = 0.5712000-01	DS(13) = 0.1720150+07
TD/T(14) = 0.5768000-01	DS(14) = 0.1640520+07
TD/T(15) = 0.5824000-01	DS(15) = 0.1576010+07
TD/T(16) = 0.5880000-01	DS(16) = 0.15261270+07
TD/T(17) = 0.5936000-01	DS(17) = 0.14890920+07
TD/T(18) = 0.5992000-01	DS(18) = 0.14625070+07
TD/T(19) = 0.5048000-01	DS(19) = 0.2992000+07
TD/T(20) = 0.6104000-01	DS(20) = 0.3270620+07

GRAFICO

DESVIACION STANDARD (RN)



NUMERO DE ITERACIONES 4
 TD/T OPTIMO (1/MESES) 0.57120000-01
 DESVIACION STANDARD MINIMA (BN) 0.18761510+07

TIEMPO (T, MESES)	DELTA PCAP PROMEDIO (DP, LPC)	SUMATORIA DP*FUNC.AD. (SUMAT, LPC)	X (X, LPC-BN/9Y)	Y (Y, BN)	YC (YC, BN)
0.17000+02	0.275000+03	0.423410+03	0.528560+05	0.341590+10	0.341560+10
0.29000+02	0.325500+03	0.998730+03	0.106250+06	0.525740+10	0.526330+10
0.41000+02	0.133000+03	0.153080+04	0.130520+06	0.610100+10	0.610290+10
0.53000+02	0.177500+03	0.216510+04	0.148580+06	0.672620+10	0.672750+10
0.65000+02	0.143500+03	0.283870+04	0.178490+06	0.776140+10	0.776220+10
0.77000+02	0.148000+03	0.357260+04	0.189020+06	0.812500+10	0.812660+10
0.89000+02	0.161000+03	0.438140+04	0.212860+06	0.895250+10	0.895110+10
0.10100+03	0.103000+03	0.518490+04	0.236720+06	0.977720+10	0.977650+10

TIEMPO (T, MESES)	DESVIACION STANDARD (DS, BN)	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO (N, PN)	CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)	INTRUSION DE AGUA BALANCE DE MATERIALES (WEBAL, BY)	INTRUSION DE AGUA POR EVERDIN GEN Y HURST (WEVAN, BY)
0.17000+02	0.723230+06			0.146400+08	0.146460+08
0.29000+02	0.293180+07	0.158290+10	0.346790+05	0.345840+08	0.345450+08
0.41000+02	0.262570+07	0.158880+10	0.345920+05	0.529250+08	0.529480+08
0.53000+02	0.236420+07	0.158970+10	0.345770+05	0.743720+08	0.748900+08
0.65000+02	0.214420+07	0.158970+10	0.345770+05	0.981740+08	0.981870+08
0.77000+02	0.206180+07	0.159000+10	0.345740+05	0.123540+09	0.123570+09
0.89000+02	0.193680+07	0.158890+10	0.345860+05	0.151580+09	0.151550+09
0.10100+03	0.187620+07	0.158840+10	0.345890+05	0.179350+09	0.179340+09

VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN) 0.15883500+10
 CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC) 0.34589300+05



RESULTADOS DE N Y B PARA LOS DISTINTOS B/N ASUMIDOS

B/N (BY/LPC-BN)	TD/T OPTIMO (1/MESES)	NUMERO DE ITERACIONES	SUMA NORMALIZADA	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO(N) (BN)	CONSTANTE INTRUSION DE AGUA (B) (BY/LPC)
0.10000-04	0.137360+00	5	0.204070-04	0.182190+10	0.182190+05
0.15000-04	0.871200-01	5	0.486400-05	0.170100+10	0.255150+05
0.20000-04	0.627200-01	4	0.353830-06	0.161690+10	0.323390+05
0.25000-04	0.489600-01	4	0.970650-06	0.154400+10	0.385990+05
0.30000-04	0.400000-01	4	0.410210-05	0.148390+10	0.445130+05

MEJOR VALOR DE B/N (BY/LPC-BN) = 0.200000-04



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

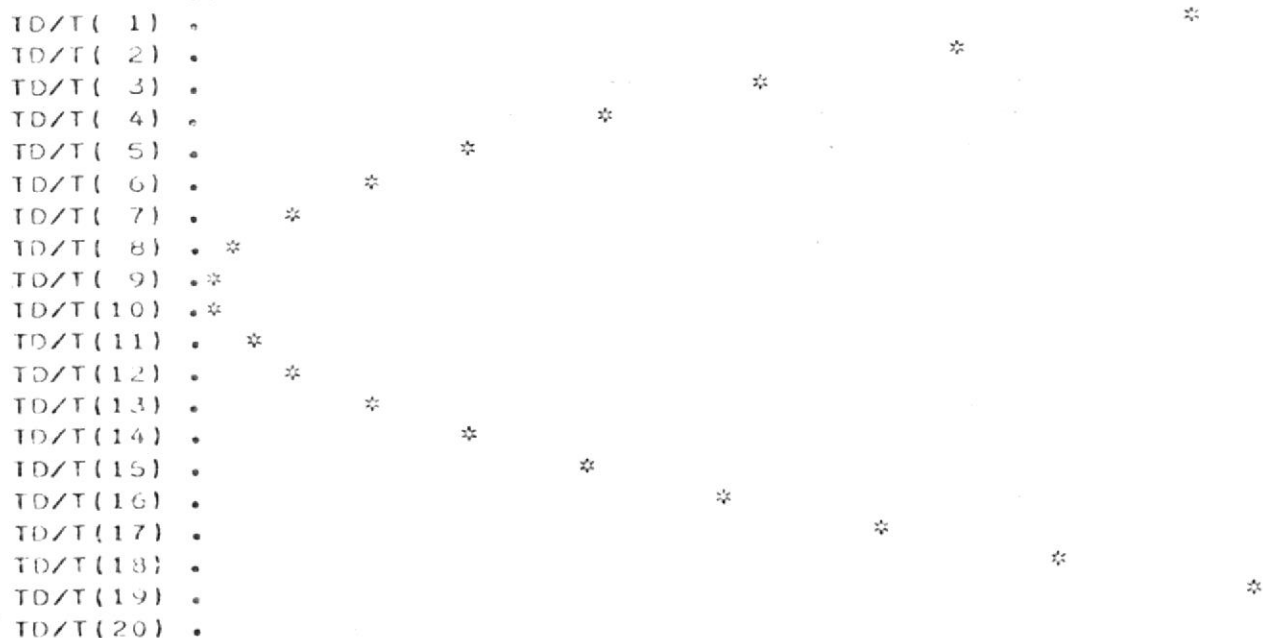
B/N (BY/LPC-BN) 0.20000-04

RESULTADOS DE LA SUMA NORMALIZADA PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MESES)	SUMA NORMALIZADA
TD/T(1) = 0.5760000-01	SN(1) = 0.2556540-04
TD/T(2) = 0.5824000-01	SN(2) = 0.1962110-04
TD/T(3) = 0.5888000-01	SN(3) = 0.1453790-04
TD/T(4) = 0.5952000-01	SN(4) = 0.1028250-04
TD/T(5) = 0.6016000-01	SN(5) = 0.6822930-05
TD/T(6) = 0.6080000-01	SN(6) = 0.4128860-05
TD/T(7) = 0.6144000-01	SN(7) = 0.2171090-05
TD/T(8) = 0.6208000-01	SN(8) = 0.9216700-06
TD/T(9) = 0.6272000-01	SN(9) = 0.3538340-06
TD/T(10) = 0.5336000-01	SN(10) = 0.4419280-05
TD/T(11) = 0.6400000-01	SN(11) = 0.1161360-05
TD/T(12) = 0.6464000-01	SN(12) = 0.2488530-05
TD/T(13) = 0.6528000-01	SN(13) = 0.4400830-05
TD/T(14) = 0.6592000-01	SN(14) = 0.6876530-05
TD/T(15) = 0.6656000-01	SN(15) = 0.9894790-05
TD/T(16) = 0.5720000-01	SN(16) = 0.1343560-04
TD/T(17) = 0.6784000-01	SN(17) = 0.1747980-04
TD/T(18) = 0.6848000-01	SN(18) = 0.2200880-04
TD/T(19) = 0.6912000-01	SN(19) = 0.2700490-04
TD/T(20) = 0.6976000-01	SN(20) = 0.3245110-04

GRAFICO

SUMA NORMALIZADA



-----METODO MC EWEN-----

NUMERO DE ITERACIONES 4
 B/N (BY/LPC-BN) 0.20000000-04
 TD/T OPTIMO (1/MESES) 0.62720000-01
 SUMA NORMALIZADA MINIMA 0.35383360-06

TIEMPO	DELTA PCAP PROMEDIO	SUMATORIA DP*FUNC.AD.	X	Y	YC
(T, MESES)	(DP, LPC)	(SUMAT,LPC)	(X, BY)	(Y, BY/BN)	(YC, BY/BN)
0.17000+02	0.275000+03	0.449020+03	0.273630+08	0.169910-01	0.169230-01
0.29000+02	0.325500+03	0.105990+04	0.495140+08	0.305970-01	0.306220-01
0.41000+02	0.130000+03	0.162660+04	0.715550+08	0.442600-01	0.442540-01
0.53000+02	0.177500+03	0.230260+04	0.980180+08	0.606240-01	0.606200-01
0.65000+02	0.143500+03	0.302110+04	0.123440+09	0.763260-01	0.763390-01
0.77000+02	0.148000+03	0.380460+04	0.153570+09	0.749910-01	0.949730-01
0.89000+02	0.161000+03	0.466820+04	0.184270+09	0.113850+00	0.113970+00
0.10100+03	0.103000+03	0.582710+04	0.214150+09	0.132450+00	0.132440+00



TIEMPO	SUMA NORMALIZADA	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO	CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA	INTRUSION DE AGUA BALANCE DE MATERIALES	INTRUSION DE AGUA POR VAN EVERDIN GEN Y HURST
(T, MESES)	(SN, -----)	(N, BN)	(B, BY/LPC)	(WEBAL, BY)	(WEVAN, BY)
0.17000+02	0.264260-06	0.161050+10	0.322090+05	0.144110+08	0.145210+08
0.29000+02	0.299920-06	0.161640+10	0.323280+05	0.343150+08	0.342750+08
0.41000+02	0.302500-06	0.161660+10	0.323320+05	0.525910+08	0.526020+08
0.53000+02	0.303700-06	0.161670+10	0.323340+05	0.744550+08	0.744530+08
0.65000+02	0.313770-06	0.161690+10	0.323390+05	0.977200+08	0.976980+08
0.77000+02	0.332500-06	0.161680+10	0.323360+05	0.123000+09	0.123030+09
0.89000+02	0.353070-06	0.161700+10	0.323390+05	0.150990+09	0.150960+09
0.10100+03	0.353830-06	0.161690+10	0.323390+05	0.178730+09	0.178740+09

VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN) 0.16169320+10
 CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC) 0.32338630+05

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- (a) Para la arena U del campo Shushufindi-Aguarico, el volumen original de petróleo es aproximadamente 1500 MM BN y la constante de intrusión de agua es 26000 BY/LPC. Para la arena T, el valor del volumen original de petróleo es 1600 MM BN y la constante de intrusión de agua es 34500 BY/LPC.
- (b) El método de McEwen permite obtener resultados satisfactorios de N y B aún cuando los datos de presión presentan dudas respecto a su exactitud, lo que no ocurre en el método VIM. Sin embargo el método de McEwen tiene la desventaja de que se necesita asumir varios valores de B/N (lo que ocasiona un mayor tiempo de trabajo del computador) para obtener los resultados deseados.
- (c) A pesar de que las diferentes ecuaciones utilizadas para el cálculo de N y B por los métodos VIM y McEwen fueron deducidas en base a ciertas asunciones ideales que no ocurren en la práctica, los resultados obtenidos por estos métodos son satisfactorios.
- (d) Los resultados de N y B de un yacimiento calculados por los métodos VIM y de McEwen son satisfactorios cuando se observa una constancia en los valores de N y B calculados para los diferentes tiempos y una gran similitud entre la intrusión de agua calculada por la ecuación de balance de materiales con la calculada




72
BIBLIOTECA FIC
ESPOL

da por la ecuación de van Everdingen y Hurst; si ésto no ocurre, lo más probable es que haya errores en los datos. De lo dicho - se desprende que los resultados obtenidos para las arenas U y T del campo Shushufindi-Aguarico son altamente confiables.

- (e) Mientras mayor cantidad de datos de presión - producción - inyección se disponga, mejores serán los resultados obtenidos - por lo que se debe ir alimentando con más datos al programa a medida que se vaya obteniendo más información.
- (f) Para yacimientos inicialmente subsaturados y que tengan suficiente información de presión-producción-inyección bajo el punto de burbujeo, es preferible no utilizar para el cálculo de N y B por el método VIM, los valores de X y Y que se obtienen con los datos sobre el punto de burbujeo. En este período es donde mayor error ocasiona en los resultados, las ligeras diferencias de presión con respecto a su valor verdadero. Esto se consigue en el programa VOLPE haciendo que la variable NDSPB leída por la subrutina DATOS equivalga al número de datos que exista sobre el punto de burbujeo.
- (g) En vista de que en el oriente ecuatoriano los yacimientos son subsaturados, se recomienda que al determinar sus presiones promedio se lo haga con la mayor precisión y cuidado posible a fin de poder determinar resultados satisfactorios de N y B.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

- (h) Se recomienda correr el programa VOLPE para otros yacimientos - del Oriente con empuje hidráulico lateral y flujo no continuo.
- (i) Cuando se corre el programa VOLPE para un yacimiento por primera vez, es preferible que JUEZ3 y JUEZ4 sean igual a 1 a fin de tener el listado de los diferentes Δt_D asumidos vs las desviaciones standard o sumas normalizadas calculadas para todas las iteraciones realizadas hasta obtener el Δt_{Dopt} . De esta manera se puede detectar si el programa está determinando el Δt_{Dopt} y si los datos del yacimiento son confiables. 
- (j) Para seleccionar el mejor valor de B/N que permita obtener los resultados de N y B por el método de McEwen, se recomienda tomar para cada r_{eD} dos valores de B/N mayores y menores al calculado por la ecuación (42) y (43) con un amplio rango de variación y determinar con la suma normalizada el mejor valor de los cinco asumidos. Posteriormente el rango de variación de los valores de B/N irá disminuyendo y girando alrededor del B/N que se va determinando, hasta obtenerlo con la precisión que desee el usuario. Obviamente esto habrá que hacerlo para cada valor de los r_{eD} utilizados (NRED = 1). Como para calcular el mejor valor de B/N no se necesita el método VIM, es preferible que JUEZ2 sea igual a 3 para evitar cálculos innecesarios.
- (k) En vista del gran número de iteraciones que se realiza tanto en el método VIM como en el método de McEwen, el programa toma mu-

cho tiempo (un promedio de 40 minutos por valor de r_{eD}) para -
calcular N y B de un yacimiento, por lo que se recomienda que -
este programa preferiblemente se lo ejecute en un computador -
más rápido que el IBM S/34 o que se lo haga separadamente para
cada valor de r_{eD} (NRED = 1).



BIBLIOTECA FICTI
ESPOL

APENDICE A

ECUACIONES PARA CALCULAR LAS FUNCIONES BESSEL J_0 , J_1 , Y_0 , Y_1

Las funciones Bessel J_0 , J_1 , Y_0 , Y_1 pueden calcularse, en forma muy aproximada, con las siguientes ecuaciones⁹:

(a) Para $0 < u \leq 3$

$$J_0(u) = 1 - 2.2499997(u/3)^2 + 1.2656208(u/3)^4 \\ - 0.3163866(u/3)^6 + 0.0444479(u/3)^8 \\ - 0.0039444(u/3)^{10} + 0.0002100(u/3)^{12}$$

$$J_1(u) = u(0.5 - 0.56249985(u/3)^2 + 0.21093573(u/3)^4 \\ - 0.03954289(u/3)^6 + 0.00443319(u/3)^8 \\ - 0.00031761(u/3)^{10} + 0.00001109(u/3)^{12})$$

$$Y_0(u) = (2/\pi) \ln(u/2)J_0(u) + 0.36746691 + 0.60559366(u/3)^2 \\ - 0.74350384(u/3)^4 + 0.25300117(u/3)^6 \\ - 0.04261214(u/3)^8 + 0.00427916(u/3)^{10} \\ - 0.00024846(u/3)^{12}$$

$$Y_1(u) = (2/\pi) \ln(u/2)J_1(u) - (0.6366198 + 0.2212091(u/3)^2 \\ + 2.1682709(u/3)^4 - 1.3164827(u/3)^6 + 0.3123951(u/3)^8 \\ - 0.0400976(u/3)^{10} + 0.0027873(u/3)^{12})/u$$



**BIBLIOTECA FICT
ESPOL**

(b) Para $3 \leq u < \infty$

$$J_0(u) = u^{-1/2} f_0 \cos \theta_0$$

$$J_1(u) = u^{-1/2} f_1 \cos \theta_1$$

$$Y_0(u) = u^{-1/2} f_0 \operatorname{sen} \theta_0$$

$$Y_1(u) = u^{-1/2} f_1 \operatorname{sen} \theta_1$$

donde:

$$f_0 = 0.79788456 - 0.00000077(3/u) - 0.00552740(3/u)^2 - 0.00009512(3/u)^3 + 0.00137237(3/u)^4 - 0.00072805(3/u)^5 + 0.00014476(3/u)^6$$

$$f_1 = 0.79788456 + 0.00000156(3/u) + 0.01659667(3/u)^2 + 0.00017105(3/u)^3 - 0.00249511(3/u)^4 + 0.00113653(3/u)^5 - 0.00020033(3/u)^6$$

$$\theta_0 = u - 0.78539816 - 0.04166397(3/u) - 0.00003954(3/u)^2 + 0.00262573(3/u)^3 - 0.00054125(3/u)^4 - 0.00029333(3/u)^5 + 0.00013558(3/u)^6$$

$$\theta_1 = u - 2.35619449 + 0.12499612(3/u) + 0.00005650(3/u)^2 - 0.00637879(3/u)^3 + 0.00074348(3/u)^4 + 0.00079824(3/u)^5 - 0.00029166(3/u)^6$$

Los resultados obtenidos por estas ecuaciones difieren de los valores verdaderos en un valor absoluto menor a 9×10^{-8} .



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

APENDICE B

CALCULO DE LA FUNCION ADIMENSIONAL DE LA ECUACION DE INTRUSION
DE AGUA PRESENTADA POR VAN EVERDINGEN Y HURST
PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y EXTENSION INFINITA

Van Everdingen y Hurst presentaron la siguiente ecuación para calcular la función adimensional $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión infinita para t_D mayor a 0.01:

$$Q(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))}$$



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

En vista de que la ecuación (B-1) presenta un integral no tan fácil de resolver, es conveniente expresarla para su desarrollo, de la siguiente manera:

$$Q(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{u_1} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} + \frac{4}{\pi^2} \int_{u_1}^{u_2} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} + \frac{4}{\pi^2} \int_{u_2}^{\infty} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} \quad (B-2)$$

donde u_1 es un valor pequeño de u y u_2 es un valor grande, definidos más adelante.

Haciendo las siguientes definiciones:

$$Q_1(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^{u_1} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} \quad (B-3)$$

$$Q_2(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_{u_1}^{u_2} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} \quad (B-4)$$

$$Q_3(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_{u_2}^{\infty} \frac{(1 - e^{-u^2 t_D}) du}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} \quad (B-5)$$

se tiene que:

$$Q(t_D) = Q_1(t_D) + Q_2(t_D) + Q_3(t_D) \quad (B-6)$$

A continuación se estudiará como calcular los valores de $Q_1(t_D)$, $Q_2(t_D)$ y $Q_3(t_D)$, para obtener mediante la ecuación (B-6) el valor de $Q(t_D)$.

ASOCIACION DE ESTUDIANTES DE
INGENIERIA DE GEOLOGIA MINAS
Y PETROLEOS A E I G M P - ESPOL

CALCULO DE $Q_1(t_D)$

El valor de $Q_1(t_D)$ viene dado por la ecuación (B-3), donde u_1 es un valor de u tan pequeño que se cumple las siguientes condiciones:

$$(a) 1 - e^{-u^2 t_D} = u^2 t_D \quad (B-7)$$

$$(b) J_0(u) = 1 \quad (B-8)$$

$$(c) Y_0(u) = \frac{2}{\pi} (\ln u - 0.11593) \quad (B-9)$$

En la Tabla B-I se puede observar que la condición (a) aproximadamente se cumple cuando $u^2 t_D$ es menor o igual a 0.02 y que las condiciones (b) y (c) se cumplen cuando u es menor o igual a 0.02. Resumiendo, las tres condiciones se cumplen si el valor de u es menor o igual a $\sqrt{0.02/t_D}$ y menor o igual a 0.02.

Para las condiciones mencionadas, la ecuación (B-3) puede desarrollarse de la siguiente manera:

$$Q_1(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_0^u \frac{u^2 t_D du}{u^3 \left(1 + \frac{4}{\pi^2} (\ln u - 0.11593)^2\right)}$$

$$Q_1(t_D) = \frac{4t_D}{\pi^2} \int_0^u \frac{du/u}{1 + \frac{4}{\pi^2} (\ln u - 0.11593)^2}$$

$$Q_1(t_D) = \frac{4t_D}{\pi^2} \int_0^u \frac{d(\ln u - 0.11593)}{1 + \frac{4}{\pi^2} (\ln u - 0.11593)^2}$$

Esta integral es de la forma

$$\int_a^b \frac{dx}{1 + a^2 x^2} = \left| \frac{1}{a} \arctan(ax) \right|_a^b$$

y por lo tanto se tiene que

$$Q_1(t_D) = \frac{4t_D}{\pi^2} \left| \frac{\pi}{2} \arctan\left(\frac{2}{\pi} (\ln u - 0.11593)\right) \right|_0^u$$

$$Q_1(t_D) = \frac{2t_D}{\pi} \left(\arctan\left(\frac{2}{\pi} (\ln u_1 - 0.11593)\right) - \left(-\frac{\pi}{2}\right) \right)$$



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

TABLA B-I

(1)	(2)	(3)	(4)
u	$1-e^{-u}$	$\frac{1}{J_0^2(u) + Y_0^2(u)}$ verdadero	$\frac{1}{J_0^2(u) + Y_0^2(u)}$ aproximado
0.002	0.0019980	0.5799776×10^{-1}	0.5799766×10^{-1}
0.004	0.0039920	0.7204663×10^{-1}	0.7204600×10^{-1}
0.006	0.0059820	0.8268816×10^{-1}	0.8268646×10^{-1}
0.008	0.0079680	0.9168424×10^{-1}	0.9168082×10^{-1}
0.010	0.0099501	0.9967393×10^{-1}	0.9966805×10^{-1}
0.012	0.0119282	0.1069716	0.1069624
0.014	0.0139024	0.1137584	0.1137451
0.016	0.0158726	0.1201496	0.1201311
0.018	0.0178389	0.1262236	0.1261989
0.020	0.0198013	0.1320364	0.1320044
0.022	0.0217597	0.1376298	0.1375893
0.024	0.0237142	0.1430359	0.1429856
0.026	0.0256649	0.1482797	0.1482184
0.028	0.0276116	0.1533815	0.1533077
0.030	0.0295544	0.1583577	0.1582700
0.032	0.0314934	0.1632218	0.1631188
0.034	0.0334284	0.1679855	0.1678654
0.036	0.0353597	0.1726582	0.1725196
0.038	0.0372870	0.1772484	0.1770895
0.040	0.0392105	0.1817632	0.1815823



$$Q_1(t_D) = \frac{2t_D}{\pi} \arctan\left(\frac{2}{\pi} (\ln u - 0.11593)\right) + t_D \quad (B-10)$$

Hay que tener presente que u_1 debe ser menor o igual a $\sqrt{0.02/t_D}$ y también a 0.02, ya que mediante esas condiciones se obtuvo la ecuación (B-10).

CALCULO DE $Q_3(t_D)$

El cálculo de $Q_2(t_D)$ se realiza mediante métodos numéricos que serán explicados más adelante. El valor de $Q_3(t_D)$ viene dado por la ecuación (B-5), donde u_2 es un valor de u tan grande que se cumple las siguientes condiciones:

$$(a) e^{-u^2 t_D} = 0 \quad (B-11)$$

$$(b) J_0(u) = \sqrt{2/\pi u} \sin(u + \pi/4) \quad (B-12)$$

$$(c) Y_0(u) = \sqrt{2/\pi u} \sin(u - \pi/4) \quad (B-13)$$

En la Tabla B-II se puede observar que la condición (a) aproximadamente se cumple cuando $u^2 t_D$ es mayor o igual a 16 y que las condiciones (b) y (c) se cumple cuando u es mayor o igual a 40. Por lo tanto, para que se cumpla las tres condiciones, el valor de u_2 debe ser mayor o igual a 40 y mayor o igual a $\sqrt{16/t_D}$ y en vista de que el menor valor de t_D es 0.01, se puede resumir diciendo que las tres condiciones se cumple si u es mayor o igual a 40.

Utilizando las ecuaciones (B-12) y (B-13) y aplicando trigonometría,

TABLA B-II

(1) u	(2) e^{-u}	(3)	(4)
		$\frac{1}{J_0^2(u) + Y_0^2(u)}$ verdadero	$\frac{1}{J_0^2(u) + Y_0^2(u)}$ aproximado
2.00	0.1353353	0.3219320×10^1	0.3141593×10^1
4.00	0.1831564×10^{-1}	0.6328514×10^1	0.6283186×10^1
6.00	0.2478752×10^{-2}	0.9456249×10^1	0.9424779×10^1
8.00	0.3354626×10^{-3}	0.1259036×10^2	0.1256637×10^2
10.00	0.4539993×10^{-4}	0.1572731×10^2	0.1570796×10^2
12.00	0.6144212×10^{-5}	0.1886575×10^2	0.1884956×10^2
14.00	0.8315287×10^{-6}	0.2200506×10^2	0.2199115×10^2
16.00	0.1125352×10^{-6}	0.2514494×10^2	0.2513274×10^2
18.00	0.1522998×10^{-7}	0.2828519×10^2	0.2827434×10^2
20.00	0.2061154×10^{-8}	0.3142570×10^2	0.3141593×10^2
22.00	0.2789468×10^{-9}	0.3456641×10^2	0.3455752×10^2
24.00	$0.3775135 \times 10^{-10}$	0.3770727×10^2	0.3769912×10^2
26.00	$0.5109089 \times 10^{-11}$	0.4084824×10^2	0.4084071×10^2
28.00	$0.6914400 \times 10^{-12}$	0.4398929×10^2	0.4398230×10^2
30.00	$0.9357623 \times 10^{-13}$	0.4713042×10^2	0.4712389×10^2
32.00	$0.1266417 \times 10^{-13}$	0.5027161×10^2	0.5026549×10^2
34.00	$0.1713908 \times 10^{-14}$	0.5341284×10^2	0.5340708×10^2
36.00	$0.2319523 \times 10^{-15}$	0.5655411×10^2	0.5654867×10^2
38.00	$0.3139133 \times 10^{-16}$	0.5969542×10^2	0.5969027×10^2
40.00	$0.4248354 \times 10^{-17}$	0.6283676×10^2	0.6283186×10^2
42.00	$0.5749522 \times 10^{-18}$	0.6597811×10^2	0.6597345×10^2
44.00	$0.7781132 \times 10^{-19}$	0.6911950×10^2	0.6911505×10^2
46.00	$0.1053062 \times 10^{-19}$	0.7226089×10^2	0.7225664×10^2
48.00	$0.1425164 \times 10^{-20}$	0.7540231×10^2	0.7539823×10^2
50.00	$0.1928750 \times 10^{-21}$	0.7854374×10^2	0.7853982×10^2

se obtiene la siguiente ecuación:

$$J_0^2(u) + Y_0^2(u) = 2/\pi u \quad (\text{B-14})$$

Reemplazando las ecuaciones (B-11) y (B-14) en la (B-5), se obtiene la ecuación (B-15) de la siguiente manera:

$$Q_3(t_D) = \frac{4}{\pi^2} \int_{u_2}^{\infty} \frac{du}{u^3 (2/\pi u)}$$

$$Q_3(t_D) = \frac{2}{\pi} \int_{u_2}^{\infty} \frac{du}{u^2}$$

$$Q_3(t_D) = \frac{2}{\pi} \left[-\frac{1}{u} \right]_{u_2}^{\infty}$$

$$Q_3(t_D) = 2/\pi u_2$$



BIBLIOTECA FIC
ESPOL (B-15)

Hay que tener presente que u_2 debe ser mayor o igual a 40, ya que me diante esa condición se obtuvo la ecuación (B-15).

CALCULO DE $Q_2(t_D)$

Para calcular $Q_2(t_D)$ es necesario utilizar métodos numéricos debido a la dificultad que se presenta al tratar de resolver la integral de la ecuación (B-4).

Haciendo las siguientes definiciones:

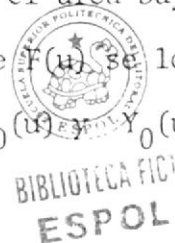
$$F(u) = \frac{1 - e^{-u^2 t_D}}{u^3 (J_0^2(u) + Y_0^2(u))} \quad (\text{B-16})$$

$$A = \int_{u_1}^{u_2} F(u) du \quad (B-17)$$

y reemplazándolas en la ecuación (B-4) se obtiene la ecuación (B-18)

$$Q_2(t_D) = \frac{4}{\pi^2} A \quad (B-18)$$

Como se puede observar en la ecuación (B-18), el cálculo de $Q_2(t_D)$ es sencillo una vez que se obtenga el valor de A , definido por la ecuación (B-17) y el cual se lo puede obtener calculando el área bajo la curva $F(u)$ vs u desde $u=u_1$ hasta $u=u_2$. Los valores de $F(u)$ se obtiene por la ecuación (B-16) y las funciones Bessel $J_0(u)$ y $Y_0(u)$ por las ecuaciones detalladas en el Apéndice A.



De la Fig. B-1, en donde se ha graficado $F(u)$ vs u para $t_D = 1, 10, 100$ y 1000 , se puede hacer las siguientes apreciaciones:

- (a) $F(u)$ disminuye a medida que u aumenta.
- (b) $F(u)$ aumenta a medida que t_D aumenta.
- (c) $F(u)$ tiende a ∞ cuando u tiende a 0 y $F(u)$ tiende a 0 cuando u tiende a ∞ .
- (d) A medida que u incrementa, $F(u)$ deja de depender de t_D . Esto concuerda con la observación hecha en la Tabla B-II en que se determinó que para $u^2 t_D$ mayor o igual a 16, "e" elevado a la $-u^2 t_D$ es igual a 0 y por lo tanto $F(u)$ deja de ser función de t_D .
- (e) A medida que t_D incrementa, menor es el valor de u necesario pa-

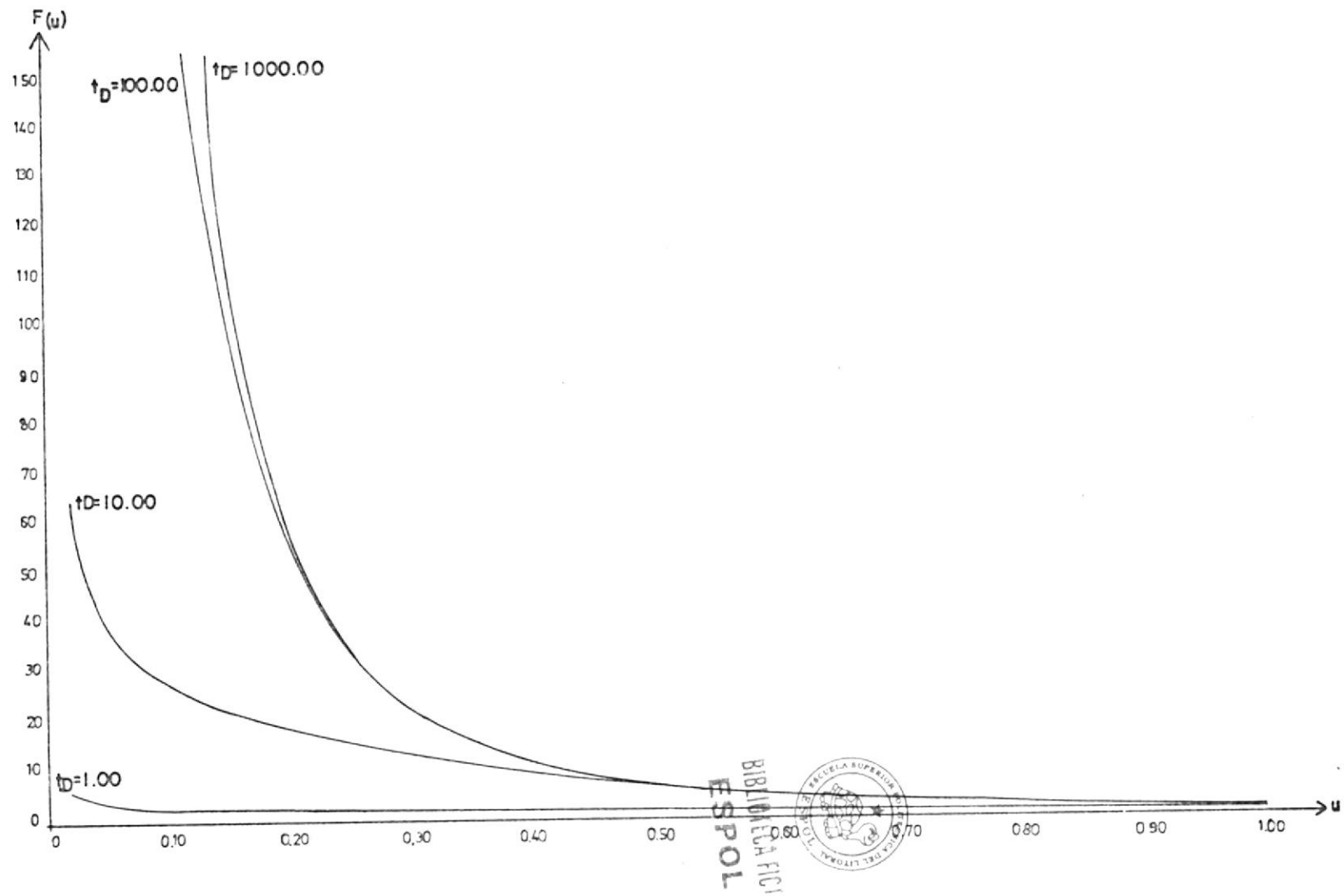
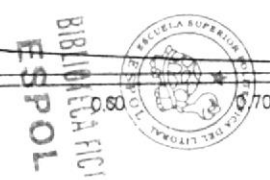


FIG. B-1 GRAFICO DE LA FUNCION $F(u)$ COMO FUNCION DE u PARA $t_D = 1, 10, 100$ y 1000



ra que $F(u)$ sea independiente de t_D . Esto es un complemento de la observación anterior, ya que si t_D se incrementa, el valor de u necesario para que $u^2 t_D$ sea mayor o igual a 16 es obviamente menor.

(f) A medida que u incrementa, la convergencia de $F(u)$ se va haciendo más lenta.

Estas observaciones se las debe tener muy presente en el cálculo de A , el cual no es otra cosa que el área bajo la curva $F(u)$ desde $u=u_1$ hasta $u=u_2$. El método a utilizarse para calcular dicha área es el de los Trapecios, el cual divide el área total en fragmentos pequeños, tales que sus superficies puedan calcularse con aproximación como si fuera un trapecio para finalmente sumarlas y obtener así el área total deseada. Mientras más rápida es la convergencia de $F(u)$, más pequeños deben ser los fragmentos de área, a fin de obtener un resultado con buena aproximación. Por esta razón, es conveniente dividir el área a calcularse en tres partes: una primera parte donde la convergencia de $F(u)$ es rápida, una segunda parte donde es menos rápida y una tercera parte donde es más lenta (Fig. B-2).

La primera parte, a diferencia de las otras dos, no está dividida en fragmentos con Δu iguales, sino que éstos son cada vez más grandes a medida que u va aumentando y la convergencia de $F(u)$ va disminuyendo, es decir que Δu es función de u (denominado $\Delta u_1(u)$). Esta primera parte abarca desde u_1 hasta un valor de u tal que el $\Delta u_1(u)$

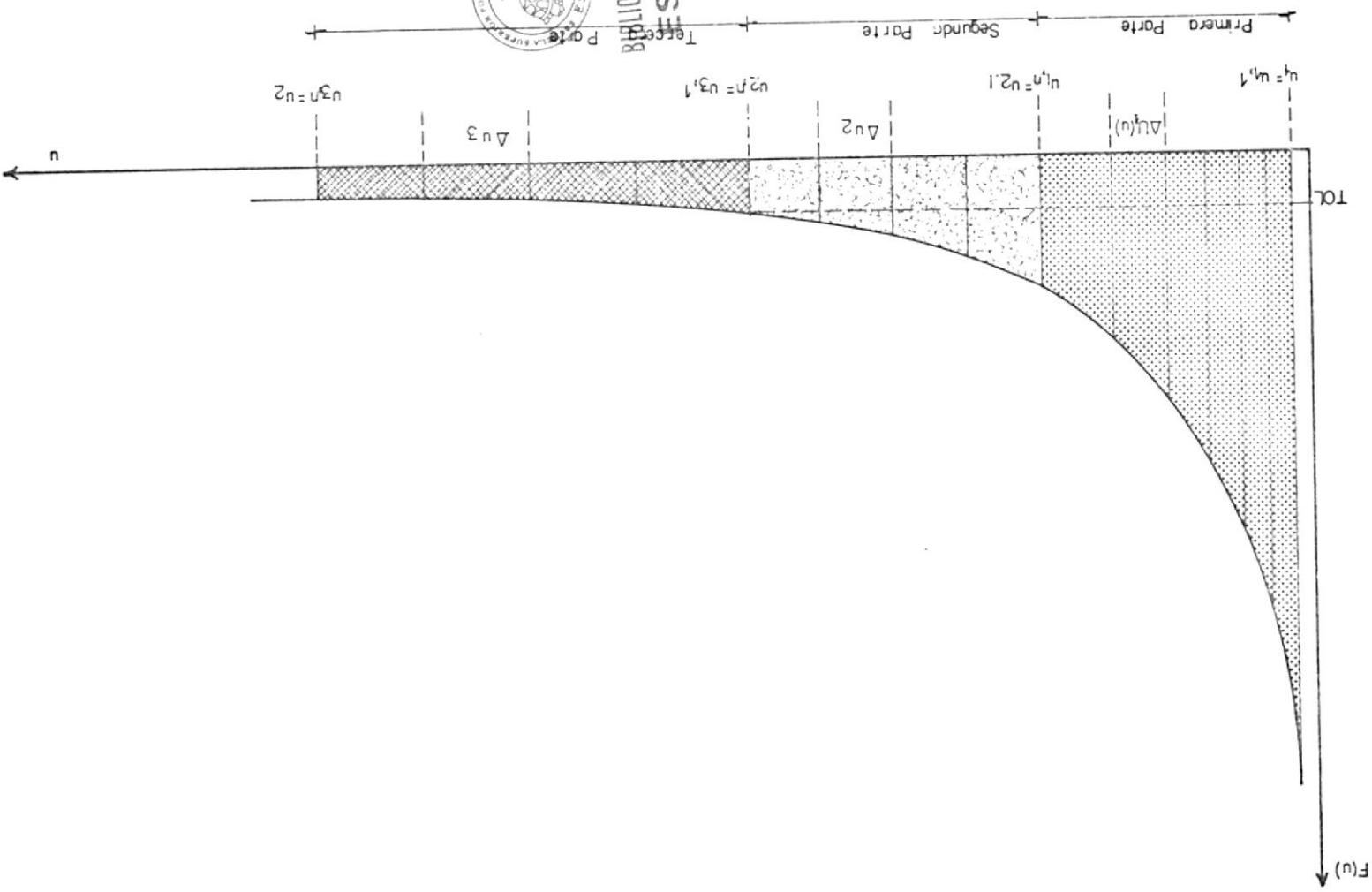


FIG. B-2 GRAFICO ESPERADO DE $F(u)$ COMO FUNCION



BIBLIOTECA FIC
 FISICOL

sea menor al Δu_2 (el Δu de la segunda parte).

Definiendo:

$$u_{1,1} = u_1$$

$$u_{1,2} = u_{1,1} + \Delta u_1(u_{1,1})$$

$$u_{1,3} = u_{1,2} + \Delta u_1(u_{1,2})$$

$$\begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \quad \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$u_{1,n} = u_{1,n-1} + \Delta u_1(u_{1,n-1})$$



BIBLIOTECA FIC I
ESPOL

se tiene que el área de la primera parte (AREA I) puede calcularse - por la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{AREA I} = & \frac{F(u_{1,1}) + F(u_{1,2})}{2} \Delta u_1(u_{1,1}) + \\ & \frac{F(u_{1,2}) + F(u_{1,3})}{2} \Delta u_1(u_{1,2}) + \dots + \\ & \frac{F(u_{1,n-1}) + F(u_{1,n})}{2} \Delta u_1(u_{1,n-1}) \end{aligned} \quad (\text{B-19})$$

La segunda parte abarca desde el valor de u donde terminó la primera parte ($u_{1,n}$) hasta un valor de u tal que $F(u)$ en ese punto sea menor a una tolerancia denominada TOL. En esta parte los Δu son iguales - (Δu_2 es constante).

Definiendo:

$$u_{2,1} = u_{1,n}$$

$$u_{2,2} = u_{2,1} + \Delta u_2$$

$$u_{2,3} = u_{2,2} + \Delta u_2$$

$$\begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \quad \begin{array}{c} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$u_{2,n} = u_{2,n-1} + \Delta u_2$$



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

se tiene que el área de la segunda parte (AREA II) puede calcularse mediante la ecuación (B-20) obtenida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{AREA II} &= \frac{F(u_{2,1}) + F(u_{2,2})}{2} \Delta u_2 + \\ &\frac{F(u_{2,2}) + F(u_{2,3})}{2} \Delta u_2 + \dots + \\ &\frac{F(u_{2,n-1}) + F(u_{2,n})}{2} \Delta u_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{AREA II} &= \frac{\Delta u_2}{2} (F(u_{2,1}) + 2F(u_{2,2}) + 2F(u_{2,3}) + \dots + \\ &2F(u_{2,n-1}) + F(u_{2,n})) \end{aligned}$$

$$\text{AREA II} = \frac{\Delta u_2}{2} (F(u_{2,1}) + 2 \sum_{i=2}^{n-1} F(u_{2,i}) + F(u_{2,n})) \quad (\text{B-20})$$

La tercera parte abarca desde el punto en que $F(u)$ sea menor a TOL - hasta $u=u_2$. En esta parte, los Δu (denominados Δu_3) también son iguales pero más grandes que los Δu_2 por las razones ya explicadas - anteriormente.

Definiendo:

$$u_{3,1} = u_{2,n}$$

$$u_{3,2} = u_{3,1} + \Delta u_3$$

$$u_{3,3} = u_{3,2} + \Delta u_3$$

$$\begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array} \quad \begin{array}{l} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{array}$$

$$u_{3,n} = u_{3,n-1} + \Delta u_3 = u_2$$

y haciendo el mismo desarrollo que se hizo para obtener la ecuación para calcular el área de la segunda parte, se tiene que el área de la tercera parte (AREA III) puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$AREA III = \frac{\Delta u_3}{2} (F(u_{3,1}) + 2 \sum_{i=2}^{n-1} F(u_{3,i}) + F(u_{3,n})) \quad (B-21)$$

Una vez calculado el área de las 3 partes por las ecuaciones (B-19), (B-20) y (B-21), se suma estos valores y se obtiene así el valor de A deseado, con el cual mediante la ecuación (B-18) se puede calcular



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

$Q_2(t_D)$ para finalmente con los valores de $Q_1(t_D)$ y $Q_3(t_D)$ calculados con las ecuaciones (B-10) y (B-15) respectivamente, obtener el valor de $Q(t_D)$ usando la ecuación (B-1).

SELECCION DE $\Delta u_1(u)$, Δu_2 , Δu_3 Y TOL

Una vez determinado el método que permita calcular $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión infinita, queda por seleccionar los valores de $\Delta u_1(u)$, Δu_2 , Δu_3 y TOL con los cuales se puede obtener $Q(t_D)$ empleando el menor tiempo posible de uso de la computadora, el cual puede ser controlado con el número de iteraciones realizadas en el programa. El método a utilizarse para esta selección consiste en calcular $Q(t_D)$ para varios t_D y diferentes valores de $\Delta u_1(u)$, Δu_2 , Δu_3 y TOL, los cuales se los va cambiando a fin de ir optimizando el programa, es decir, conseguir que el programa haga un menor número de iteraciones sin variar el resultado de $Q(t_D)$ o que su variación sea despreciable.

En la Tabla B-III se muestra los resultados obtenidos de $Q(t_D)$ para diferentes valores de $\Delta u_1(u)$ y manteniendo constante Δu_2 , Δu_3 y TOL. En ella se puede observar claramente como van mejorando los resultados de $Q(t_D)$ a medida que $\Delta u_1(u)$ va disminuyendo. Analizando detenidamente estos resultados se concluye que $\Delta u_1(u) = 0.1u$ es un valor aconsejable para el cálculo de $Q(t_D)$. Para $\Delta u_1(u) = 0.05u$ la disminución que se consigue en el resultado de $Q(t_D)$ con respecto a

TABLA B-III

Valores de $Q(t_D)$ para $\Delta u_2=0.02$, $\Delta u_3=0.2$, $\Delta u_1(u) = 0.1u$ y diferentes valores de $\Delta u_1(u)$

t_D	$\Delta u_1(u) = u$		$\Delta u_1(u) = 0.5u$		$\Delta u_1(u) = 0.1u$		$\Delta u_1(u) = 0.05u$	
	$Q(t_D)$	# iteración	$Q(t_D)$	# iteración	$Q(t_D)$	# iteración	$Q(t_D)$	# iteración
0.05	0.2765949	217	0.2765462	217	0.2764859	232	0.2764557	262
100	0.4333962×10^2	381	0.4321057×10^2	382	0.4307316×10^2	399	0.4305367×10^2	430
250	0.9192842×10^2	382	0.9143944×10^2	383	0.9097960×10^2	404	0.9093062×10^2	439
1×10^4	0.2271507×10^4	384	0.2225776×10^4	388	0.2200807×10^4	423	0.2199681×10^4	477
1×10^5	0.1815289×10^5	386	0.1777389×10^5	390	0.1758910×10^5	435	0.1758115×10^5	501
1×10^6	0.1506515×10^6	388	0.1477760×10^6	393	0.1463975×10^6	448	0.1463385×10^6	524
1×10^{10}	0.8929709×10^9	394	0.8810297×10^9	405	0.8753214×10^9	496	0.8750775×10^9	619



la de $\Delta u_1(u) = 0.1u$ es insignificante, su porcentaje de diferencia es menor al 0.06% mientras que en el número de iteraciones se obtiene un incremento hasta en un 25%.

En la Tabla B-IV se muestra los resultados obtenidos de $Q(t_D)$ para diferentes valores de Δu_2 y manteniendo constante $\Delta u_1(u)$ (igual a 0.1u), Δu_3 y TOL. En ella se puede observar que un valor aceptable de Δu_2 para calcular $Q(t_D)$ es 0.1. El porcentaje de diferencia de los valores de $Q(t_D)$ para $\Delta u_2 = 0.01$ y $\Delta u_2 = 0.1$ es menor al 0.06% mientras que en el número de iteraciones la disminución es mayor al 50%. Seguir aumentando el valor de Δu_2 ya no llevaría a obtener una reducción significativa en el número de iteraciones y por lo tanto no es conveniente, ya que hay que tener presente que mientras más se aumenta el valor de Δu_2 , más iteraciones se hará en el cálculo del área de la parte primera en donde el Δu es una función de u que tiene que calcularse para cada iteración y por lo tanto más tiempo de uso de computadora se necesitará. Esto no ocurre en las partes segunda y tercera en donde los Δu son constantes.

Para la selección de Δu_3 y TOL hay la necesidad de trabajar con valores pequeños de t_D , ya que para los valores grandes el área de la parte tercera es despreciable y por lo tanto no puede visualizarse las variaciones de $Q(t_D)$ con los cambios de Δu_3 y TOL. Si se fija una diferencia de porcentaje máxima permitida de 0.15% en los $Q(t_D)$ calculados para los nuevos Δu_3 y TOL con respecto a los ya calcula-

TABLA B-IV

Valores de $Q(t_D)$ para $\Delta u_1(u)=0.1u$, $\Delta u_2=0.2$, $TOL=0.1$ y diferentes valores de Δu_2

t_D	$\Delta u_2 = 0.01$		$\Delta u_2 = 0.02$		$\Delta u_2 = 0.03$		$\Delta u_2 = 0.04$		$\Delta u_2 = 0.05$	
	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.
0.05	0.276486	242	0.276486	232	0.276491	230	0.276456	252	0.276442	234
100	0.430619×10^2	591	0.430732×10^2	399	0.430779×10^2	337	0.430801×10^2	307	0.430813×10^2	289
250	0.909627×10^2	596	0.909796×10^2	404	0.909845×10^2	342	0.909866×10^2	311	0.909878×10^2	294
1×10^4	0.220079×10^4	615	0.220081×10^4	423	0.220081×10^4	361	0.220081×10^4	351	0.220082×10^4	313
1×10^5	0.175891×10^5	627	0.175891×10^5	435	0.175891×10^5	373	0.175891×10^5	343	0.175891×10^5	325
1×10^6	0.146398×10^6	639	0.146398×10^6	448	0.146398×10^6	385	0.146398×10^6	355	0.146398×10^6	337
1×10^{10}	0.875321×10^9	687	0.875321×10^9	496	0.875321×10^9	434	0.875321×10^9	403	0.875321×10^9	386

t_D	$\Delta u_2 = 0.06$		$\Delta u_2 = 0.07$		$\Delta u_2 = 0.08$		$\Delta u_2 = 0.09$		$\Delta u_2 = 0.10$	
	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.
0.05	0.276432	235	0.276425	236	0.276423	237	0.276421	238	0.276419	239
100	0.430820×10^2	277	0.430826×10^2	270	0.430829×10^2	264	0.430832×10^2	260	0.430834×10^2	256
250	0.909886×10^2	282	0.909891×10^2	274	0.909895×10^2	269	0.909898×10^2	264	0.909900×10^2	261
1×10^4	0.220082×10^4	302	0.220082×10^4	294	0.220082×10^4	288	0.220082×10^4	284	0.220082×10^4	280
1×10^5	0.175891×10^5	314	0.175891×10^5	306	0.175891×10^5	300	0.175891×10^5	296	0.175891×10^5	292
1×10^6	0.146398×10^6	326	0.146398×10^6	318	0.146398×10^6	312	0.146398×10^6	308	0.146398×10^6	304
1×10^{10}	0.875321×10^9	374	0.875321×10^9	366	0.875321×10^9	360	0.875321×10^9	356	0.875321×10^9	353

dos para $\Delta u_3 = 0.2$ y $TOL = 0.1$, se puede determinar observando la Tabla B-V, que $\Delta u_3 = 1$ y $TOL = 0.05$ son valores aconsejables para calcular $Q(t_D)$, ya que con ellos se consigue disminuir el número de iteraciones a más de la mitad sin que los valores de $Q(t_D)$ sobrepasen el rango permitido. Incrementando aún más el valor de Δu_3 se obtendría valores de $Q(t_D)$ mayores a los permitidos o en caso contrario no se conseguiría una disminución significativa en el número de iteraciones.

Finalmente, se puede concluir que los siguientes valores de $\Delta u_1(u)$, Δu_2 , Δu_3 y TOL son recomendables para calcular el valor de $Q(t_D)$ utilizando la computadora en el menor tiempo posible:

$$\Delta u_1(u) = 0.1u$$

$$\Delta u_2 = 0.1$$

$$\Delta u_3 = 1.0$$

$$TOL = 0.05$$

SUBROUTINA INTADI

La subrutina INTADI calcula la función adimensional $Q(t_D)$ para acuíferos de tipo radial y extensión infinita utilizando el método y las ecuaciones estudiadas en el presente apéndice.

De manera resumida, los pasos que se siguen en la subrutina INTADI -

TABLA B-V

Valores de $Q(t_D)$ para $\Delta u_1(u)=0.1u$, $\Delta u_2=0.1$ y diferentes valores de Δu_3 y TOL

t_D	$\Delta u_3=0.2$ TOL=0.1		$\Delta u_3=0.2$ TOL=0.5		$\Delta u_3=0.2$ TOL=1.0		$\Delta u_3=0.5$ TOL=0.5		$\Delta u_3=1.0$ TOL=0.5	
	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.
0.01	0.117754	239	0.117754	239	0.117754	239	0.117763	122	0.117792	83
0.05	0.276419	239	0.276419	239	0.276419	239	0.276490	122	0.276733	83
0.10	0.404403	249	0.404404	239	0.404404	239	0.404603	122	0.405301	83
1.00	0.156894×10^1	253	0.156937×10^1	242	0.156977×10^1	239	0.157274×10^1	127	0.158453×10^1	89
10.00	0.740871×10^1	253	0.740915×10^1	242	0.741024×10^1	239	0.741253×10^1	128	0.742405×10^1	90
100.00	0.430834×10^2	256	0.430839×10^2	245	0.430849×10^2	243	0.430877×10^2	131	0.431005×10^2	93
250.00	0.909900×10^2	261	0.909905×10^2	250	0.909913×10^2	248	0.909941×10^2	136	0.910065×10^2	98

t_D	$\Delta u_3=0.5$ TOL=0.1		$\Delta u_3=1.0$ TOL=0.1		$\Delta u_3=1.0$ TOL=0.05		$\Delta u_3=1.2$ TOL=0.05		$\Delta u_3=1.2$ TOL=0.04	
	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.	$Q(t_D)$	# ITER.
0.01	0.117763	122	0.117792	83	0.117792	83	0.117808	77	0.117808	77
0.05	0.276490	122	0.276733	83	0.276724	113	0.276864	107	0.276813	117
0.10	0.404595	138	0.405282	101	0.404886	122	0.405113×10^1	116	0.404926	124
1.00	0.156929×10^1	145	0.157054×10^1	109	0.156946×10^1	124	0.156971×10^1	118	0.156949×10^1	124
10.00	0.740906×10^1	145	0.741031×10^1	109	0.740923×10^1	124	0.740948×10^1	118	0.740926×10^1	124
100.00	0.430838×10^2	148	0.430850×10^2	112	0.430840×10^2	127	0.430842×10^2	121	0.430840×10^2	128
250.00	0.909903×10^2	153	0.909915×10^2	117	0.909905×10^2	132	0.909908×10^2	126	0.909905×10^2	133

para calcular $Q(t_D)$ son los siguientes:

- (a) Se define los valores de $\Delta u_1(u)$, Δu_2 , Δu_3 y TOL.
- (b) Se calcula $Q_1(t_D)$ utilizando la ecuación (B-10).
- (c) Se calcula A sumando los valores de AREA I, AREA II y AREA III - calculados con las ecuaciones (B-19), (B-20) y (B-21) respectivamente.
- (d) Se calcula $Q_2(t_D)$ utilizando la ecuación (B-18).
- (e) Se calcula $Q_3(t_D)$ utilizando la ecuación (B-15).
- (f) Se calcula $Q(t_D)$ utilizando la ecuación (B-6).
- (g) Se regresa al programa principal.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

En el Apéndice E se presenta el diagrama de flujo y el listado de la subrutina explicada.

APENDICE C

METODOLOGIA PARA CALCULAR LAS RAICES a_j UTILIZADAS PARA EVALUAR LA FUNCION ADIMENSIONAL $Q(t_D)$ PARA ACUIFEROS DE TIPO RADIAL Y EXTENSION FINITA

En la sección 2.4 se presentó en la Tabla III las raíces a_1, a_2, a_3 y a_4 de la ecuación (13) para $r_{eD} = 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25$ y 30 . De estas raíces, se determinó que sólo las dos primeras deben ser utilizadas para calcular la función adimensional $Q(t_D)$ para los r_{eD} anteriormente mencionados, mediante ciertas reglas también estudiadas en la sección 2.4.

La metodología utilizada para calcular estas raíces con una aproximación de cinco decimales fue la siguiente:

- (a) Se iguala la expresión del lado izquierdo del signo igual de la ecuación (13) a una variable cualquiera:

$$J_1(a_j r_{eD}) Y_0(a_j) - Y_1(a_j r_{eD}) J_0(a_j) = F$$

- (b) Se selecciona el valor de r_{eD} para el cual se desea calcular $Q(t_D)$.

- (c) Se calcula F variando los valores de a_j con un incremento de 0.1 desde cero hasta que el resultado de F cambie de signo. Se toman los dos valores de a_j entre los cuales el cambio de signo de F se efectúa.

- (d) Se calcula F variando los valores de a_j entre los seleccionados en el paso anterior con un incremento de 0.001. Se toma los nuevos valores de a_j entre los cuales el cambio de signo de F se efectúa.
- (e) Se vuelve a calcular F variando esta vez los valores de a_j entre los seleccionados en el paso (d). El incremento con que cambia el valor de a_j en este paso es de 0.00001. La raíz a_j seleccionada es aquella con la cual se obtiene el menor valor absoluto de F .
- (f) Si se desea obtener más de una raíz, en el paso (c) los valores de a_j se siguen incrementando hasta que F cambie de signo tantas veces como número de raíces se quiere obtener. Se selecciona todo par de valores de a_j entre los cuales el cambio de signo se efectúa y posteriormente se repite los pasos (d) y (e) con cada uno de ellos.
- (g) Si se desea calcular las raíces a_j para varios r_{eD} , entonces habrá que hacerse los pasos (c), (d), (e) y (f) para cada uno de ellos.

Con el propósito de aclarar la metodología explicada, a continuación se muestra parte de los resultados obtenidos para determinar la primera raíz a_1 para r_{eD} igual a 5:

- (a) Incrementando el valor de a_j en 0.1, el primer cambio de signo -

de F se determinó para los siguientes valores:

$$a_j = 0.2$$

$$F = 0.30$$

$$a_j = 0.3$$

$$F = -0.47 \times 10^{-1}$$

- (b) Incrementando el valor de a_j en 0.001 entre los anteriormente señalados, el nuevo cambio de signo de F se registra para los siguientes valores:

$$a_j = 0.282$$

$$F = 0.10081 \times 10^{-2}$$

$$a_j = 0.283$$

$$F = -0.18004 \times 10^{-2}$$



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

- (c) Finalmente, incrementando el valor de a_j en 0.00001 entre los anteriormente señalados, el nuevo cambio de signo de F se registra para los siguientes valores:

$$a_j = 0.28235$$

$$F = 0.23397 \times 10^{-4}$$

$$a_j = 0.28236$$

$$F = -0.47099 \times 10^{-5}$$

- (d) La primera raíz a_1 para r_{eD} igual a 5 será 0.28236; por cuanto para este valor se obtuvo el menor valor absoluto de F .

De la misma manera se determinó las otras raíces para éste y los otros valores de r_{eD} , los cuales se muestran en la Tabla III de la sección 2.4.

APENDICE D

CALCULO SIMULTANEO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y DE LA CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA PARA UN YACIMIENTO DE LA FORMACION WILCOX EN LOS ESTADOS UNIDOS

El cálculo del volumen original de petróleo y de la constante de intrusión de agua de este yacimiento fue realizado por van Everdingen, Timmerman y McMahon⁵. En este apéndice se presentan los resultados obtenidos para este yacimiento utilizando el programa VOLPE, los cuales comparados con los resultados publicados en la Referencia 5, demuestran la validez del programa mencionado. Las variables de control utilizadas para la ejecución del programa fueron las siguientes:

ND	=	36	NDSPB	=	4
JUEZ1	=	2	JUEZ2	=	2
JUEZ3	=	2	JUEZ4	=	4
NRED	=	1	r _{eD1}	=	35.00
NCN	=	5	B/N _{1,1}	=	0.0000080
B/N _{1,2}	=	0.0000085	B/N _{1,3}	=	0.0000090
B/N _{1,4}	=	0.0000095	B/N _{1,5}	=	0.0000100

A continuación se presenta el listado con los datos del yacimiento y los resultados de N y B obtenidos con el programa VOLPE:

CALCULO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA
 -----PARA YACIMIENTOS CON EMPUJE HIDRAULICO-----

YACIMIENTO WILCOX (EL UU)
 TIPO DE ACUIFERO RADIAL

DATOS GENERALES

PRESION INICIAL DEL YACIMIENTO (PI, LPC)	0.379300+04
PRESION AL PUNTO DE BURBUJEO (PA, LPC)	0.369000+04
FACTOR VOLUMETRICO TOTAL A LA PRESION INICIAL (BTI, BY/BN)	0.153560+01
FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS A LA PRESION INICIAL (BGI, BY/PCN)	0.930000-03
RAZON GAS EN SOLUCION-PETROLEO A LA PRESION INICIAL (RSI, PCN/BN)	0.900000+03
RAZON DEL VOLUMEN INICIAL DE LA CAPA DE GAS AL VOLUMEN INICIAL DE PETROLEO (M, ADIMENSIONAL)	0.000000+00
POROSIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (PORO, FRACCION)	0.209000+00
PERMEABILIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO (K, MD)	0.275000+03
SATURACION DE AGUA CONNATA (SW, FRACCION)	0.150000+00
COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION (CF, 1/LPC)	0.207000-05
COMPRESIBILIDAD DEL AGUA (CW, 1/LPC)	0.680000-05
COMPRESIBILIDAD DEL PETROLEO (CO, 1/LPC)	0.131000-04
VISCOSIDAD DEL AGUA (Ug, CP)	0.250000+00
ESPESOR PROMEDIO (H, PIES)	0.192000+02
TD/T ASUMIDO (DT, 1/MESES)	0.100000+02
RADIO DEL YACIMIENTO (RI, PIES)	0.710000+04



BIBLIOTECA FICTICIA
 ESPOL

DATOS PVT Y DE PRODUCCION - INYECCION

TIEMPO (T, MFSES)	PRESION EN EL YACIMIENTO (P, LPC)	PRESION EN CONTACTO AGUA-PLT. (PCAP, LPC)	FACTOR VOLUMETRICO TOTAL (BT, BY/BN)	FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS (UG, BY/PCN)	RAZON GAS- PETROLLO ACUMULADA (RP, PCN/BN)
0.30000+01	0.376600+04	0.378200+04	0.153580+01	0.836610-03	0.900000+03
0.60000+01	0.376800+04	0.377400+04	0.153630+01	0.840450-03	0.900000+03
0.90000+01	0.373900+04	0.374800+04	0.153710+01	0.845640-03	0.900000+03
0.12000+02	0.369900+04	0.379400+04	0.153820+01	0.853230-03	0.900000+03
0.15000+02	0.365700+04	0.365000+04	0.154270+01	0.861410-03	0.900000+03
0.18000+02	0.361300+04	0.364300+04	0.154830+01	0.870230-03	0.919000+03
0.21000+02	0.355200+04	0.359500+04	0.155610+01	0.880100-03	0.914000+03
0.24000+02	0.351100+04	0.354700+04	0.156280+01	0.890100-03	0.910000+03
0.27000+02	0.347600+04	0.351800+04	0.156300+01	0.895390-03	0.911000+03
0.30000+02	0.344400+04	0.348500+04	0.157280+01	0.906000-03	0.917000+03
0.33000+02	0.340800+04	0.343700+04	0.157550+01	0.914000-03	0.937000+03
0.36000+02	0.337500+04	0.341600+04	0.158380+01	0.922100-03	0.952000+03
0.39000+02	0.333300+04	0.337900+04	0.159000+01	0.930300-03	0.970000+03
0.42000+02	0.330900+04	0.335800+04	0.159490+01	0.938340-03	0.987000+03
0.45000+02	0.329500+04	0.333800+04	0.159770+01	0.942870-03	0.100500+04
0.48000+02	0.327700+04	0.332400+04	0.160050+01	0.946950-03	0.101500+04
0.51000+02	0.326900+04	0.332400+04	0.160190+01	0.949010-03	0.102200+04
0.54000+02	0.326300+04	0.331900+04	0.160300+01	0.950560-03	0.102000+04
0.57000+02	0.324200+04	0.330200+04	0.160630+01	0.956030-03	0.101700+04
0.60000+02	0.323000+04	0.329200+04	0.160900+01	0.959200-03	0.101700+04
0.63000+02	0.321400+04	0.327600+04	0.161200+01	0.963470-03	0.101700+04
0.66000+02	0.317400+04	0.324300+04	0.161800+01	0.974350-03	0.101700+04
0.69000+02	0.317900+04	0.320600+04	0.162670+01	0.984440-03	0.102200+04
0.72000+02	0.311500+04	0.318400+04	0.163120+01	0.990740-03	0.102300+04
0.75000+02	0.309000+04	0.316500+04	0.163650+01	0.998320-03	0.102300+04
0.78000+02	0.305700+04	0.313500+04	0.164350+01	0.100820-02	0.103200+04
0.81000+02	0.302900+04	0.313200+04	0.164900+01	0.101670-02	0.103700+04
0.84000+02	0.301500+04	0.309500+04	0.165230+01	0.102110-02	0.103900+04
0.87000+02	0.300200+04	0.307600+04	0.165570+01	0.102510-02	0.103900+04
0.90000+02	0.304000+04	0.310300+04	0.164720+01	0.101330-02	0.104000+04
0.93000+02	0.306300+04	0.312500+04	0.164250+01	0.100640-02	0.103700+04
0.96000+02	0.305200+04	0.312000+04	0.164250+01	0.100670-02	0.103200+04
0.99000+02	0.306100+04	0.311500+04	0.164270+01	0.100700-02	0.102900+04
0.10200+03	0.306000+04	0.311400+04	0.164200+01	0.100730-02	0.102400+04
0.10300+03	0.305000+04	0.311500+04	0.164200+01	0.100730-02	0.102200+04
0.10600+03	0.306000+04	0.311600+04	0.164200+01	0.100730-02	0.102000+04

TIEMPO (T, MESES)	PRODUCCION ACUMULADA DE PLTROLEO (NP, BN)	PRODUCCION ACUMULADA DE AGUA (WP, BY)	VOLUMEN TOTAL AGUA INYECTADO (WI, BY)	VOLUMEN TOTAL GAS INYECTADO (GI, PCN)	FACTOR VCL. DEL GAS INYECTADO (BIG, BY/PCN)
0.30000+01	0.135490+05	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.60000+01	0.495350+05	0.370000+03	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.90000+01	0.997740+05	0.103000+04	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.12000+02	0.171880+06	0.175000+04	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.15000+02	0.324840+06	0.383400+04	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.18000+02	0.528070+06	0.484000+04	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.21000+02	0.793010+06	0.774000+04	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.24000+02	0.108890+07	0.138950+05	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.27000+02	0.133990+07	0.243000+05	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.30000+02	0.151550+07	0.376530+05	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.33000+02	0.199060+07	0.584470+05	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.36000+02	0.217200+07	0.111860+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.39000+02	0.244120+07	0.163250+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.42000+02	0.271400+07	0.219850+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.45000+02	0.297010+07	0.301260+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.48000+02	0.317590+07	0.361550+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.51000+02	0.339960+07	0.465380+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.54000+02	0.353020+07	0.551530+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.57000+02	0.338350+07	0.692210+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.60000+02	0.411350+07	0.325220+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.63000+02	0.438540+07	0.983230+06	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.66000+02	0.453290+07	0.118920+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.69000+02	0.431940+07	0.140150+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.72000+02	0.505090+07	0.164510+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.75000+02	0.527470+07	0.190930+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.78000+02	0.545940+07	0.219740+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.81000+02	0.570750+07	0.251450+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.84000+02	0.592150+07	0.282840+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.87000+02	0.609550+07	0.312740+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.90000+02	0.622470+07	0.337700+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.93000+02	0.634340+07	0.365890+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.96000+02	0.647660+07	0.397920+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.99000+02	0.659460+07	0.432650+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.10200+03	0.671170+07	0.479260+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.10500+03	0.683930+07	0.501010+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00
0.10800+03	0.695530+07	0.529110+07	0.000000+00	0.000000+00	0.000000+00

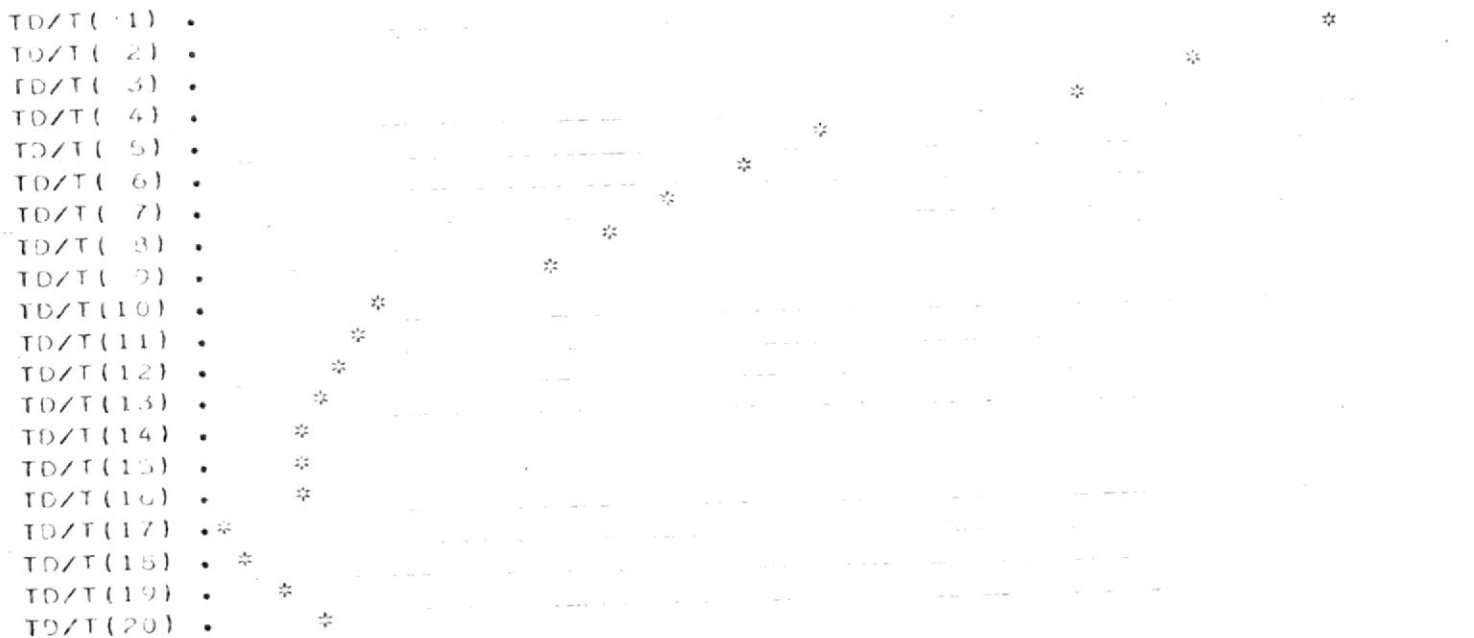


RESULTADOS DE DESVIACION STANDARD PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS
 EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MES)	DESVIACION STANDARD (BN)
TD/T(1) = 0.4000000+01	DS(1) = 0.4242780+06
TD/T(2) = 0.4050000+01	DS(2) = 0.4240170+06
TD/T(3) = 0.4100000+01	DS(3) = 0.4237530+06
TD/T(4) = 0.4150000+01	DS(4) = 0.4235050+06
TD/T(5) = 0.4200000+01	DS(5) = 0.4232700+06
TD/T(6) = 0.4250000+01	DS(6) = 0.4230450+06
TD/T(7) = 0.4300000+01	DS(7) = 0.4227170+06
TD/T(8) = 0.4350000+01	DS(8) = 0.4225320+06
TD/T(9) = 0.4400000+01	DS(9) = 0.4224500+06
TD/T(10) = 0.4450000+01	DS(10) = 0.4221000+06
TD/T(11) = 0.4500000+01	DS(11) = 0.4220560+06
TD/T(12) = 0.4550000+01	DS(12) = 0.4220160+06
TD/T(13) = 0.4600000+01	DS(13) = 0.4219360+06
TD/T(14) = 0.4650000+01	DS(14) = 0.4219520+06
TD/T(15) = 0.4700000+01	DS(15) = 0.4219510+06
TD/T(16) = 0.4750000+01	DS(16) = 0.4219530+06
TD/T(17) = 0.4800000+01	DS(17) = 0.4218010+06
TD/T(18) = 0.4850000+01	DS(18) = 0.4218550+06
TD/T(19) = 0.4900000+01	DS(19) = 0.4219100+06
TD/T(20) = 0.4950000+01	DS(20) = 0.4219220+06

GRAFICO

DESVIACION STANDARD (BN)



-----METODO VTI-----

NUMERO DE ITERACIONES 3
 TDT OPTIMO (17 MESES) 0.48000000+01
 DESVIACION STANDARD MINIMA (LN) 0.42180090+05

TIEMPO (T, MESES)	DELTA PCAP PRODUCID (DP, LPC)	SUMATORIA DP*FUNC. AL. (SUMAT, LPC)	X (X, LPC-BN/RY)	Y (Y, BN)	YC (YC, BN)
0.30000+01	0.250000+01	0.241350+02			
0.60000+01	0.950000+01	0.132290+03			
0.90000+01	0.200000+02	0.402670+03			
0.12000+02	0.320000+02	0.918290+03			
0.15000+02	0.340000+02	0.164540+04	0.209550+06	0.641830+08	0.645170+08
0.18000+02	0.330000+02	0.255590+04	0.182310+06	0.507810+08	0.596440+08
0.21000+02	0.420000+02	0.373530+04	0.171570+06	0.571250+08	0.573270+08
0.24000+02	0.440000+02	0.520120+04	0.180420+06	0.567770+08	0.590770+08
0.27000+02	0.330000+02	0.683450+04	0.200150+06	0.525410+08	0.627370+08
0.30000+02	0.510000+02	0.858110+04	0.215910+06	0.664150+08	0.662390+08
0.33000+02	0.400000+02	0.105550+05	0.234350+06	0.509770+08	0.692120+08
0.35000+02	0.340000+02	0.126700+05	0.250600+06	0.723330+08	0.723040+08
0.39000+02	0.200000+02	0.148880+05	0.257730+06	0.729130+08	0.736380+08
0.42000+02	0.200000+02	0.172240+05	0.277760+06	0.769280+08	0.774360+08
0.45000+02	0.200000+02	0.196000+05	0.302000+06	0.823560+08	0.820390+08
0.48000+02	0.140000+02	0.219840+05	0.324240+06	0.857540+08	0.862400+08
0.51000+02	0.700000+01	0.243240+05	0.351250+06	0.910360+08	0.913460+08
0.54000+02	0.500000+01	0.265430+05	0.378500+06	0.965540+08	0.965230+08
0.57000+02	0.110000+02	0.290000+05	0.320320+06	0.991520+08	0.987430+08
0.60000+02	0.130000+02	0.314120+05	0.419220+06	0.103360+09	0.102510+09
0.63000+02	0.150000+02	0.338210+05	0.425240+06	0.105230+09	0.105350+09
0.66000+02	0.240000+02	0.364730+05	0.416800+06	0.104450+09	0.103770+09
0.69000+02	0.350000+02	0.393040+05	0.410510+06	0.103840+09	0.103530+09
0.72000+02	0.200000+02	0.422620+05	0.425330+06	0.105370+09	0.105370+09
0.75000+02	0.200000+02	0.452600+05	0.431620+06	0.106940+09	0.106560+09
0.78000+02	0.240000+02	0.483890+05	0.431730+06	0.106640+09	0.106590+09
0.81000+02	0.280000+02	0.516430+05	0.435400+06	0.107580+09	0.107490+09
0.84000+02	0.200000+02	0.549400+05	0.452250+06	0.110740+09	0.110470+09
0.87000+02	0.110000+02	0.582330+05	0.467770+06	0.113170+09	0.113410+09
0.90000+02	-0.400000+01	0.613890+05	0.529940+06	0.125460+09	0.125180+09
0.93000+02	-0.100000+02	0.643150+05	0.580770+06	0.135010+09	0.134800+09
0.96000+02	-0.350000+01	0.671800+05	0.600450+06	0.139570+09	0.139470+09
0.99000+02	0.500000+01	0.700990+05	0.630500+06	0.144000+09	0.144220+09
0.10200+03	0.300000+01	0.730130+05	0.650420+06	0.143350+09	0.148940+09
0.10500+03	0.000000+00	0.759970+05	0.641200+06	0.153390+09	0.153640+09
0.10800+03	-0.100000+01	0.787490+05	0.706900+06	0.157790+09	0.158680+09



TIEMPO (T, MESES)	DESVIACION STANDARD (DS, BY)	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO (N, BN)	CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)	INTRUSION DE AGUA POR BALANCE DE MATERIALES (WEPAL, BY)	INTRUSION DE AGUA POR VAN EVERDIN SEN Y HURST (WEVAN, BY)
0.30000+01					
0.60000+01					
0.90000+01					
0.12000+02					
0.15000+02	0.334250+06			0.302900+06	0.311530+06
0.18000+02	0.255620+06	0.283500+08	0.171000+03	0.485840+06	0.483930+06
0.21000+02	0.239040+06	0.257970+08	0.183560+03	0.702520+06	0.707220+06
0.24000+02	0.255460+06	0.254570+08	0.185050+03	0.975150+06	0.984770+06
0.27000+02	0.232520+06	0.251940+08	0.186540+03	0.129070+07	0.129400+07
0.30000+02	0.218350+06	0.242110+08	0.192010+03	0.162950+07	0.162470+07
0.33000+02	0.220770+06	0.245970+08	0.185410+03	0.193780+07	0.199240+07
0.36000+02	0.206760+06	0.244520+08	0.190760+03	0.240040+07	0.239900+07
0.39000+02	0.337330+06	0.253550+08	0.186010+03	0.277110+07	0.281880+07
0.42000+02	0.353050+06	0.254500+08	0.185500+03	0.422970+07	0.426120+07
0.45000+02	0.354570+06	0.247150+08	0.189140+03	0.373150+07	0.371100+07
0.48000+02	0.367360+06	0.249230+08	0.188150+03	0.412940+07	0.416240+07
0.51000+02	0.363240+06	0.249950+08	0.188220+03	0.458480+07	0.460620+07
0.54000+02	0.350130+06	0.247150+08	0.189090+03	0.504650+07	0.504440+07
0.57000+02	0.354370+06	0.244700+08	0.190180+03	0.552100+07	0.549060+07
0.60000+02	0.402330+06	0.241730+08	0.191450+03	0.601200+07	0.594730+07
0.63000+02	0.443320+06	0.239930+08	0.192250+03	0.643210+07	0.641200+07
0.66000+02	0.451140+06	0.239250+08	0.192550+03	0.696510+07	0.690590+07
0.69000+02	0.454410+06	0.239450+08	0.192650+03	0.747980+07	0.744170+07
0.72000+02	0.447350+06	0.237690+08	0.192350+03	0.803120+07	0.800170+07
0.75000+02	0.444590+06	0.236730+08	0.192320+03	0.861020+07	0.857080+07
0.78000+02	0.434570+06	0.240330+08	0.192020+03	0.916510+07	0.916110+07
0.81000+02	0.425490+06	0.240730+08	0.191920+03	0.978940+07	0.977810+07
0.84000+02	0.420320+06	0.241900+08	0.191850+03	0.104370+08	0.104040+08
0.87000+02	0.418440+06	0.241000+08	0.191470+03	0.109920+08	0.110260+08
0.90000+02	0.411140+06	0.242270+08	0.191350+03	0.115550+08	0.116230+08
0.93000+02	0.405320+06	0.242950+08	0.191100+03	0.122000+08	0.121770+08
0.96000+02	0.399760+06	0.243550+08	0.190960+03	0.127410+08	0.127200+08
0.99000+02	0.394250+06	0.244750+08	0.190500+03	0.133470+08	0.132720+08
0.10200+03	0.394720+06	0.245950+08	0.190110+03	0.137910+08	0.138240+08
0.10500+03	0.395460+06	0.247000+08	0.189780+03	0.143200+08	0.143700+08
0.10800+03	0.421300+06	0.247420+08	0.189370+03	0.149000+08	0.149100+08

VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN) 0.24342120+08
CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC) 0.18933430+03

RESULTADOS DE H Y B PARA LOS DISTINTOS BZN ASUMIDOS

BZN	TJ/T OPTIMAO	NUMERO DE ITERACIONES	SUMA NORMALIZADA	VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO(N)	CONSTANTE INTRUSION DE AGUA (B)
(BY/LPC-BN)	(1/M SE S)			(BN)	(BY/LPC)
0.30000-05	0.440000+01	3	0.122350-03	0.253090+08	0.202470+03
0.85000-05	0.418000+01	3	0.122110-03	0.250230+08	0.212590+03
0.90000-05	0.392000+01	3	0.122070-03	0.248600+08	0.223740+03
0.95000-05	0.398000+01	3	0.122160-03	0.248180+08	0.235770+03
0.10000-04	0.352000+01	3	0.122320-03	0.245270	0.245270+03



MEJOR VALOR DE BZN (BY/LPC-BN) = 0.9000000-05

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

B/N (BY/LPC-BN) 0.90000-05

RESULTADOS DE LA SUMA NORMALIZADA PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS EN LA ULTIMA ITERACION

TD/T (1/MESES)	SUMA NORMALIZADA
TD/T(1) = 0.3600000+01	SN(1) = 0.2387140-03
TD/T(2) = 0.3640000+01	SN(2) = 0.2086470-03
TD/T(3) = 0.3680000+01	SN(3) = 0.1834150-03
TD/T(4) = 0.3720000+01	SN(4) = 0.1627010
TD/T(5) = 0.3750000+01	SN(5) = 0.1465000
TD/T(6) = 0.3800000+01	SN(6) = 0.1345300
TD/T(7) = 0.3840000+01	SN(7) = 0.1255800
TD/T(8) = 0.3880000+01	SN(8) = 0.1224960-03
TD/T(9) = 0.3920000+01	SN(9) = 0.1220450
TD/T(10) = 0.3950000+01	SN(10) = 0.1250400-03
TD/T(11) = 0.4000000+01	SN(11) = 0.1315160-03
TD/T(12) = 0.4040000+01	SN(12) = 0.1412450-03
TD/T(13) = 0.4080000+01	SN(13) = 0.1540330-03
TD/T(14) = 0.4120000+01	SN(14) = 0.1697630-03
TD/T(15) = 0.4160000+01	SN(15) = 0.1833050-03
TD/T(16) = 0.4200000+01	SN(16) = 0.2093370-03
TD/T(17) = 0.4240000+01	SN(17) = 0.2331690-03
TD/T(18) = 0.4280000+01	SN(18) = 0.2594650-03
TD/T(19) = 0.4320000+01	SN(19) = 0.2881170-03
TD/T(20) = 0.4360000+01	SN(20) = 0.3190210-03



BIBLIOTECA NACIONAL DE MEXICO
ESPOL

GRAFICO

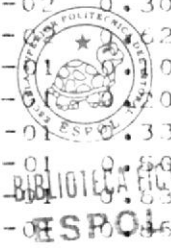
SUMA NORMALIZADA



-----H 1000 MC 27EN-----

NUMERO DE ITERACIONES 3
 RZN (BYZ/LPC-BN) 0.20100000-05
 TOUT OPTIMO (1Z/LPC-S) 0.39200000+01
 SUMA NORMALIZADA MINIMA 0.11208530-03

TIEMPO (T, MESES)	DELTA PCAP PROMEDIO (DP, LPC)	SUMATORIA DE FUNC. AD. (SUPAT, LPC)	X (X, BY)	Y (Y, BYZBN)	YC (YC, BYZBN)
0.30000+01	0.250000+01	0.208110+02	0.208080+05	0.420770-03	0.837020-03
0.60000+01	0.250000+01	0.113870+03	0.756510+05	0.186030-02	0.304330-02
0.90000+01	0.270000+02	0.346020+03	0.154370+06	0.491980-01	0.21040-02
0.12000+02	0.325000+02	0.783170+03	0.262140+06	0.102350-01	0.07060-01
0.15000+02	0.340000+02	0.141000+04	0.503930+06	0.200420-01	0.02720-01
0.18000+02	0.330000+02	0.213700+04	0.331250+06	0.355890-01	0.334380-01
0.21000+02	0.405000+02	0.313290+04	0.124370+07	0.595070-01	0.600260-01
0.24000+02	0.430000+02	0.444230+04	0.169050+07	0.687460-01	0.030110-01
0.27000+02	0.345000+02	0.503150+04	0.213900+07	0.366310-01	0.660410-01
0.30000+02	0.310000+02	0.731510+04	0.250340+07	0.105740+00	0.104720+00
0.33000+02	0.405000+02	0.594120+04	0.310670+07	0.125760+00	0.124970+00
0.36000+02	0.345000+02	0.107850+05	0.365500+07	0.147420+00	0.147060+00
0.39000+02	0.270000+02	0.120850+05	0.420610+07	0.171760+00	0.169190+00
0.42000+02	0.270000+02	0.146440+05	0.477010+07	0.193610+00	0.191980+00
0.45000+02	0.270000+02	0.166540+05	0.534340+07	0.214770+00	0.214940+00
0.48000+02	0.145000+02	0.176590+05	0.581330+07	0.235810+00	0.233850+00
0.51000+02	0.700000+01	0.205430+05	0.639540+07	0.255990+00	0.253630+00
0.54000+02	0.500000+01	0.226000+05	0.679480+07	0.273780+00	0.273320+00
0.57000+02	0.110000+02	0.245890+05	0.735670+07	0.295600+00	0.296330+00
0.60000+02	0.135000+02	0.275230+05	0.791420+07	0.315190+00	0.318350+00
0.63000+02	0.130000+02	0.285950+05	0.845050+07	0.337900+00	0.340330+00
0.65000+02	0.245000+02	0.305990+05	0.913930+07	0.365550+00	0.357600+00
0.69000+02	0.350000+02	0.332910+05	0.982820+07	0.394190+00	0.395020+00
0.72000+02	0.295000+02	0.357900+05	0.105000+08	0.421470+00	0.422350+00
0.75000+02	0.205000+02	0.383280+05	0.112160+08	0.449340+00	0.451150+00
0.78000+02	0.245000+02	0.409810+05	0.119500+08	0.479710+00	0.480690+00
0.81000+02	0.235000+02	0.437130+05	0.127290+08	0.511740+00	0.512010+00
0.84000+02	0.200000+02	0.465030+05	0.134930+08	0.540930+00	0.541260+00
0.87000+02	0.110000+02	0.492740+05	0.143850+08	0.567960+00	0.566560+00
0.90000+02	-0.400000+01	0.519300+05	0.145340+08	0.583210+00	0.584620+00
0.93000+02	-0.175000+02	0.543890+05	0.147510+08	0.598240+00	0.601490+00
0.96000+02	-0.850000+01	0.568770+05	0.154970+08	0.622130+00	0.623390+00
0.99000+02	0.500000+01	0.592510+05	0.162090+08	0.645440+00	0.643980+00
0.10200+03	0.300000+01	0.617020+05	0.165480+08	0.666710+00	0.665540+00
0.10500+03	0.000000+00	0.641250+05	0.170980+08	0.688530+00	0.687360+00
0.10800+03	-0.100000+01	0.665210+05	0.175750+08	0.710090+00	0.707010+00

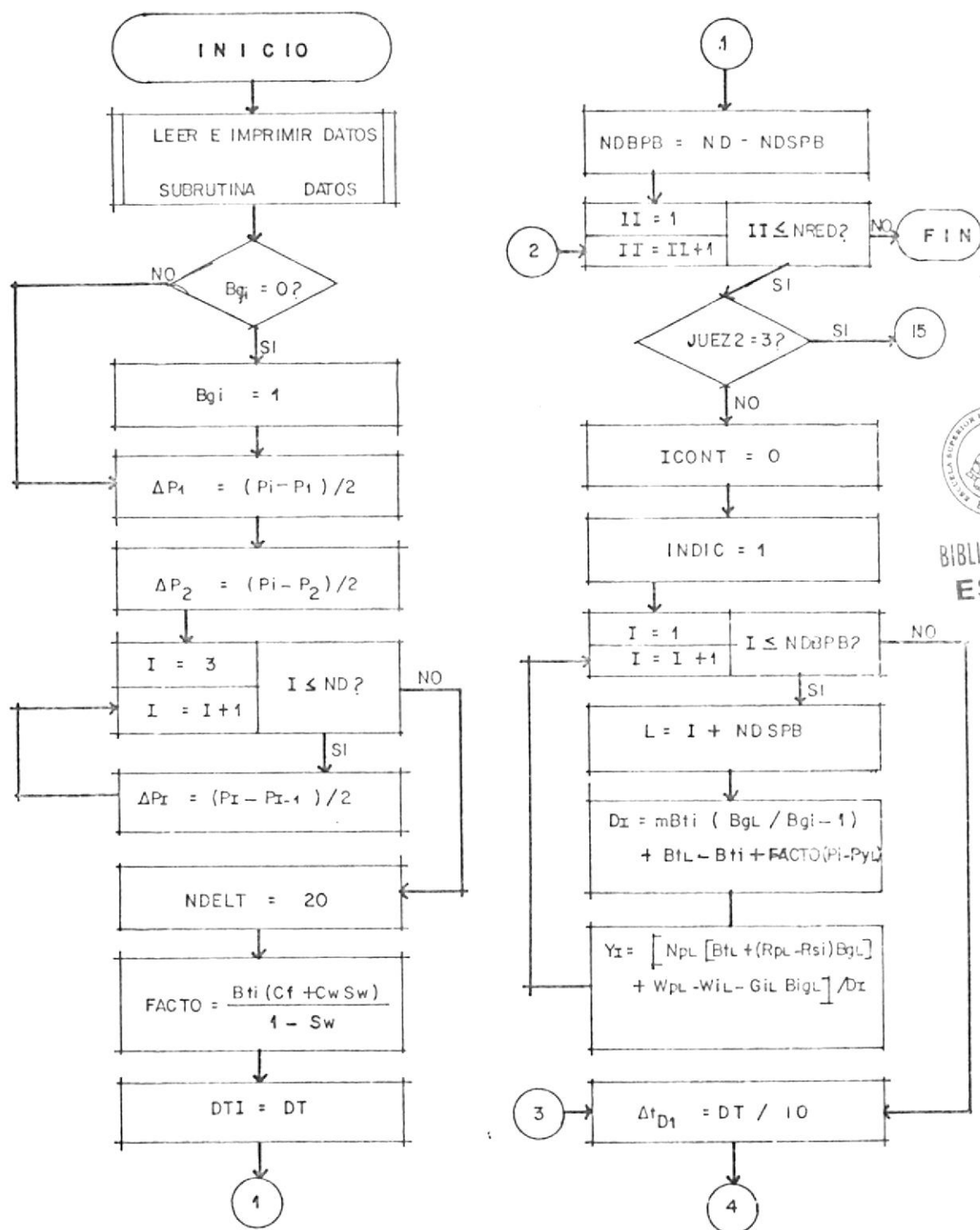


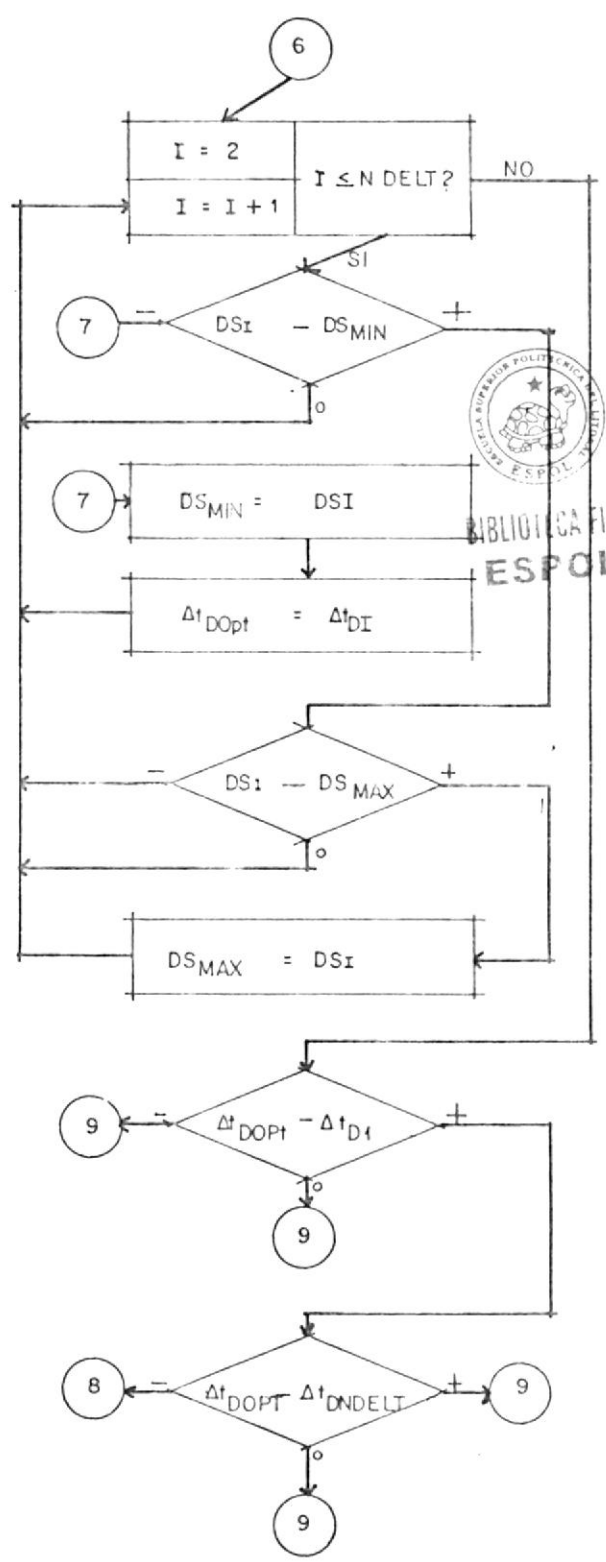
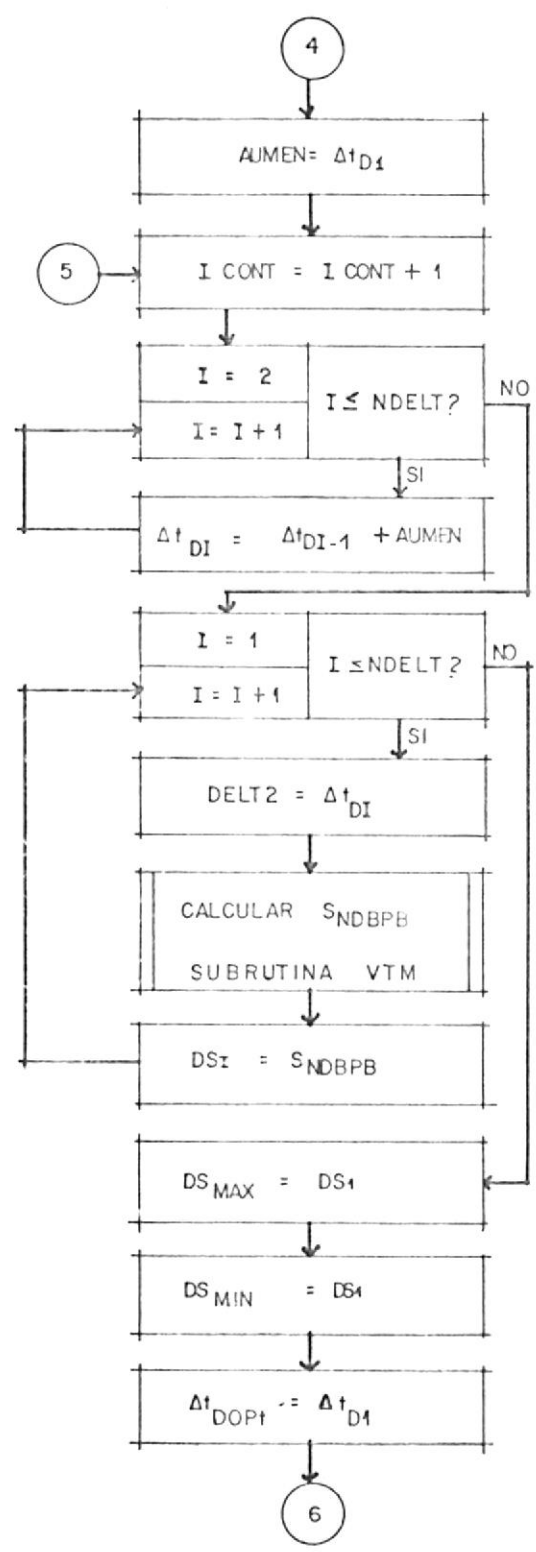
APENDICE E

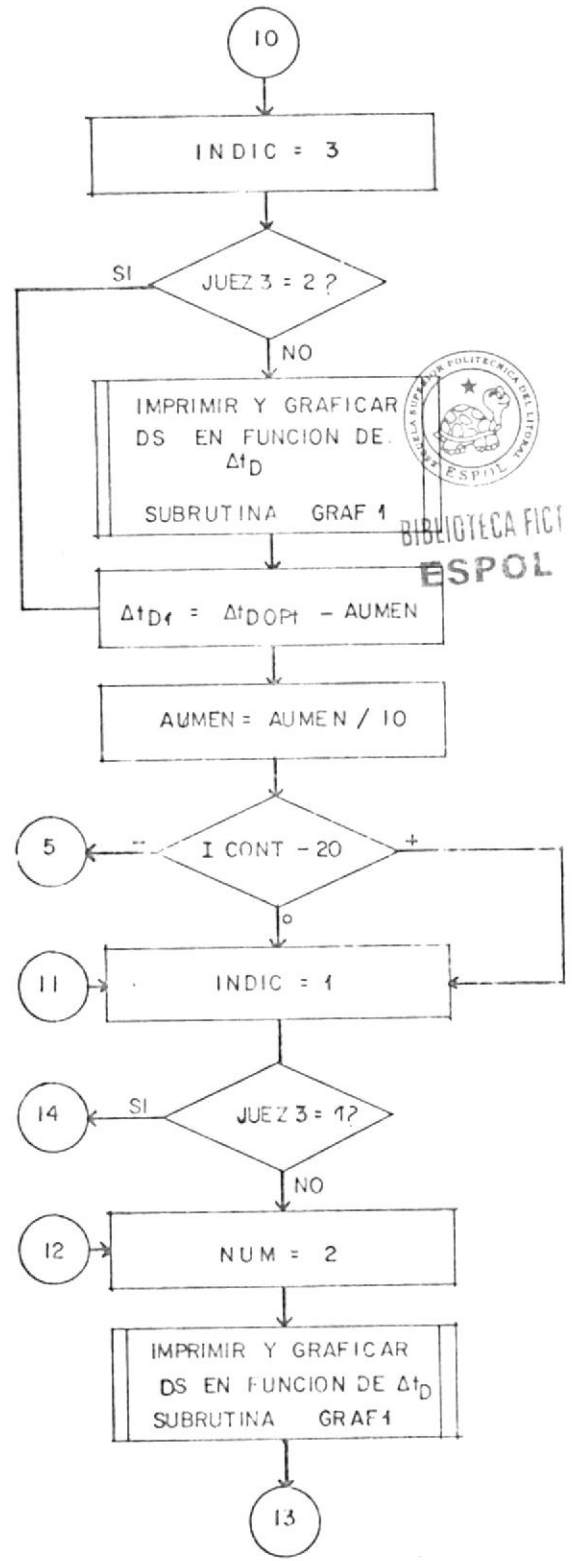
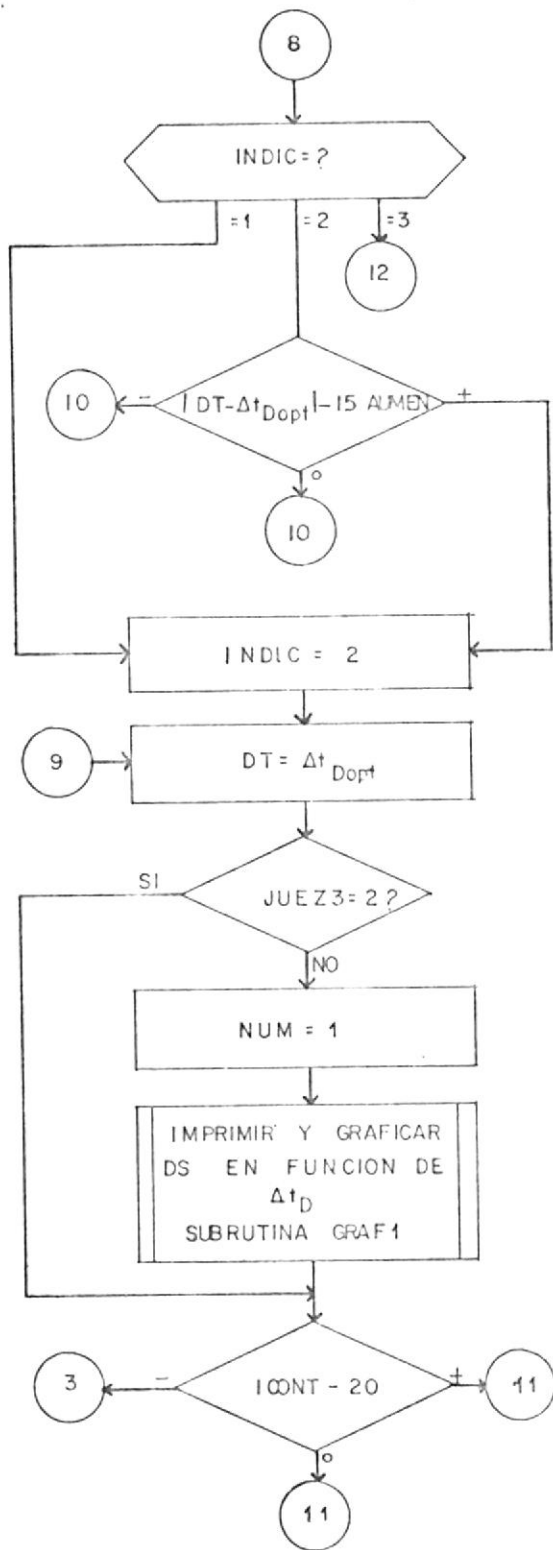
DIAGRAMAS DE FLUJO Y LISTADOS DEL PROGRAMA Y SUBRUTINAS ESTUDIADAS

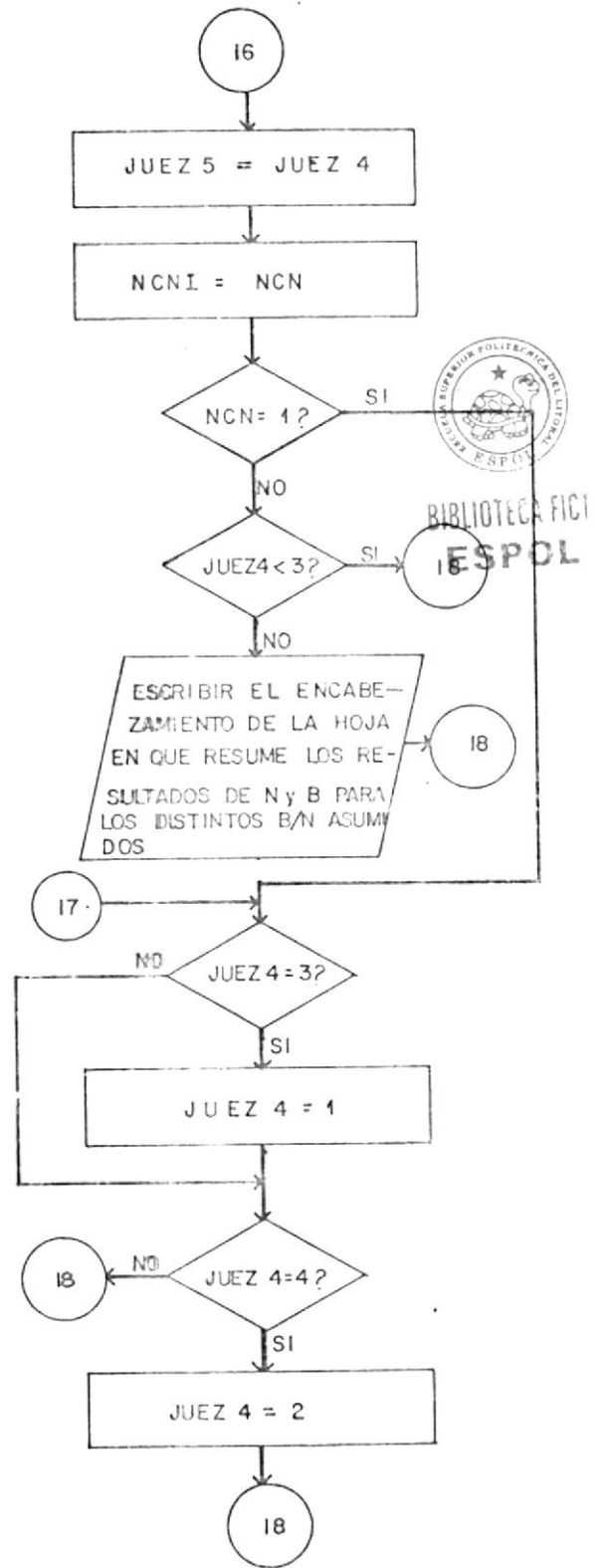
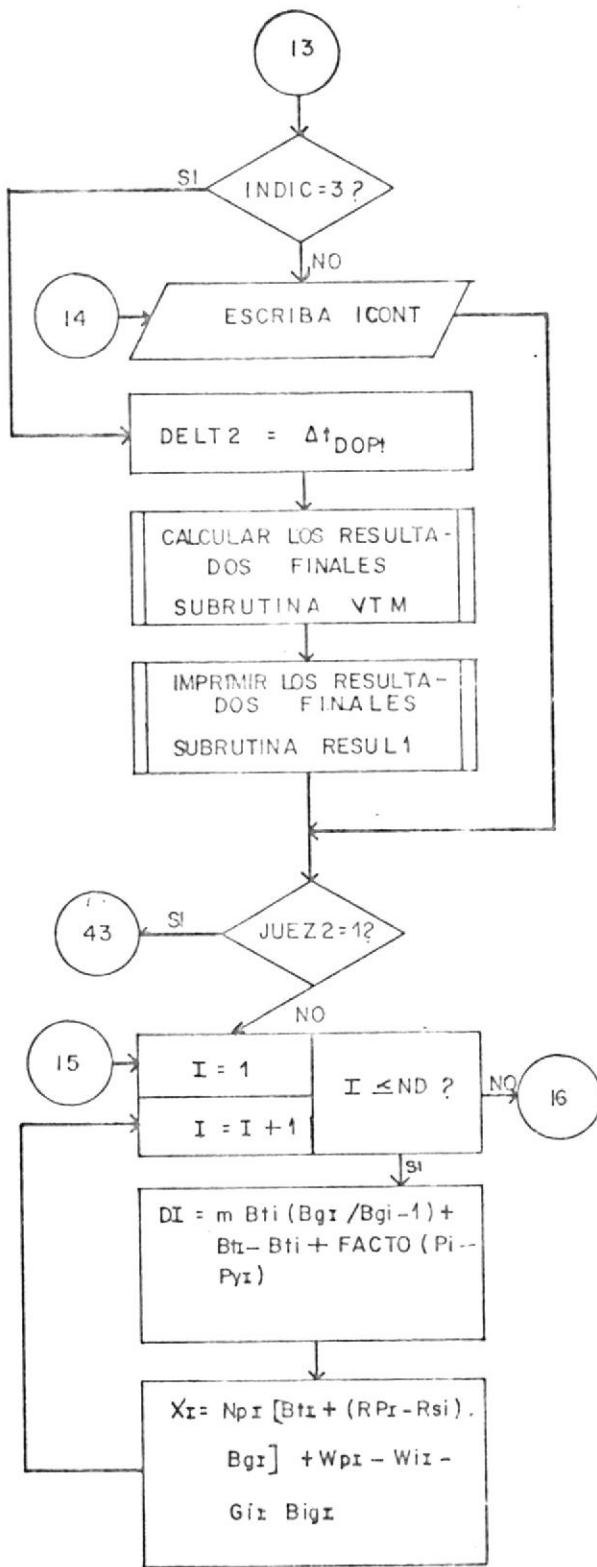
En el Capítulo 4 se estudió el programa VOLPE y las subrutinas DATOS, VIM, MCEWEN, RESULT1, RESULT2, GRAF1, GRAF2, FUNAD e INTAD, con los cuales se calcula simultáneamente el volumen original de petróleo y la constante de intrusión de agua en yacimientos con empuje hidráulico lateral. En el Apéndice B se estudió la subrutina INTAD, la cual permite calcular la función adimensional de la ecuación de intrusión de agua para acuíferos de tipo radial y extensión infinita. En este apéndice se presenta el diagrama de flujo y el listado en FORTRAN IV del programa y de las subrutinas anteriormente mencionados.

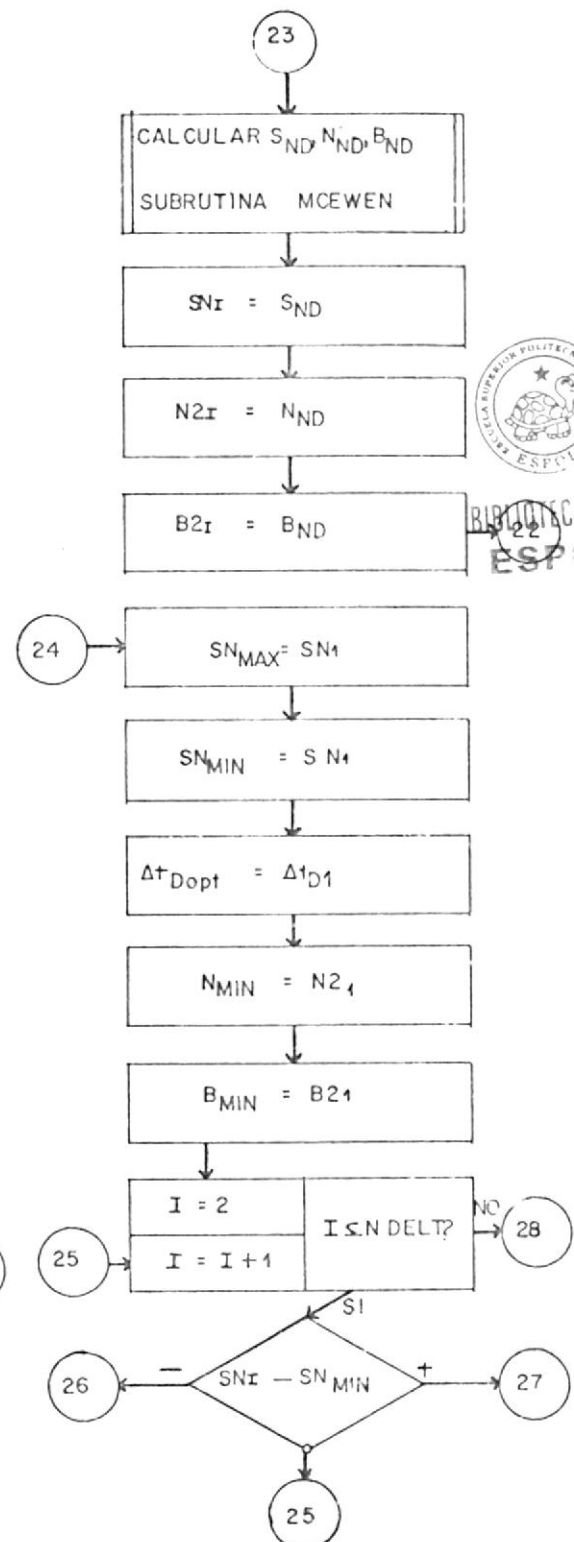
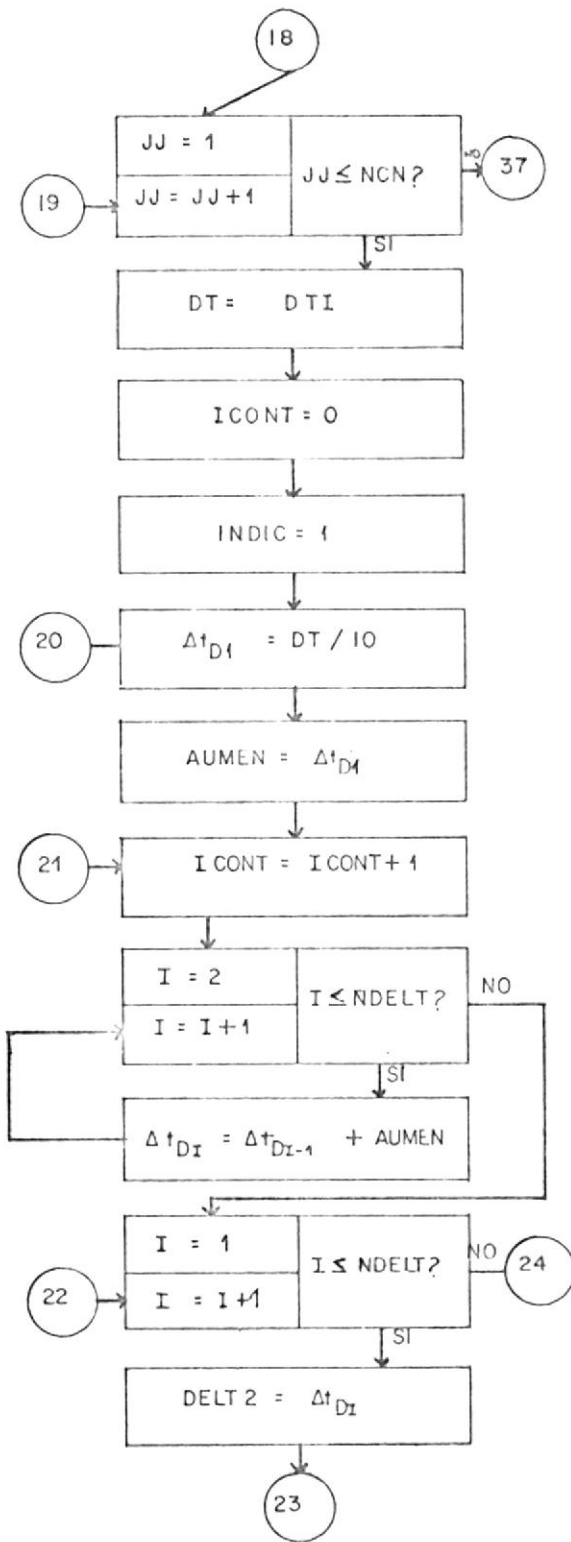
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA VOLPE:


 BIBLIOTECA FIC
 ESPOL

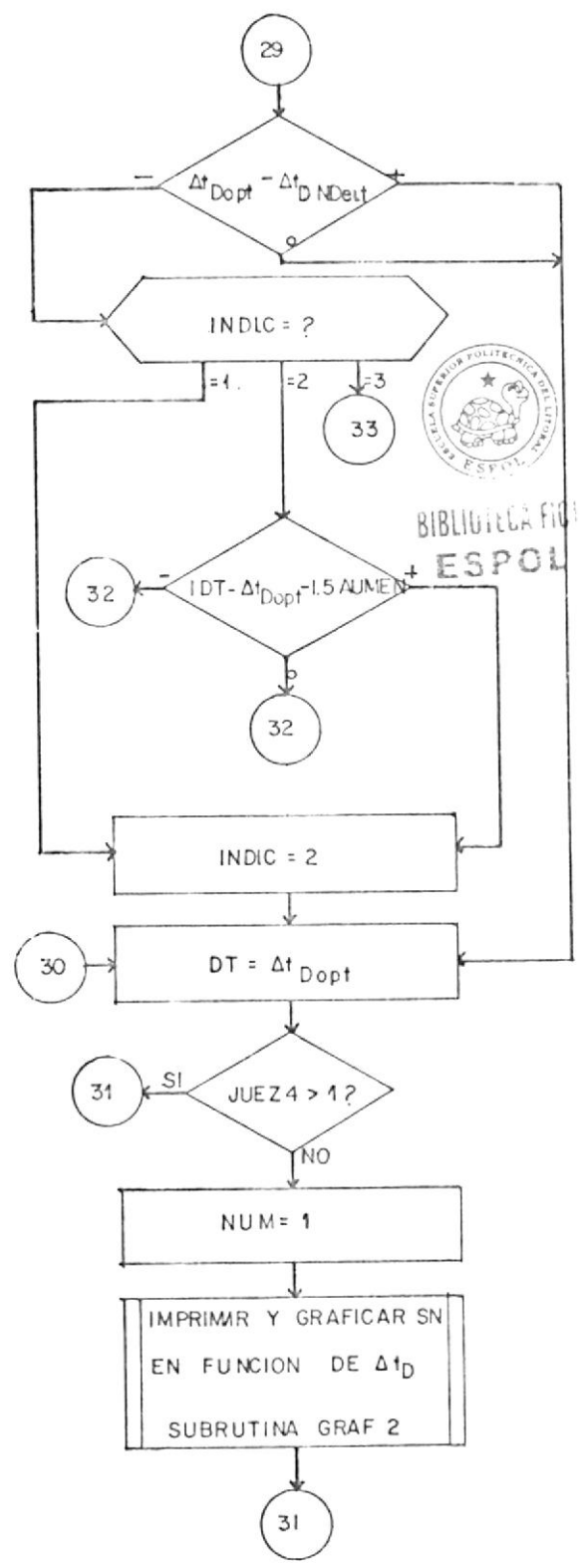
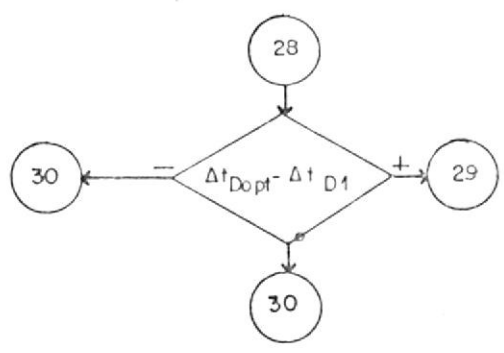
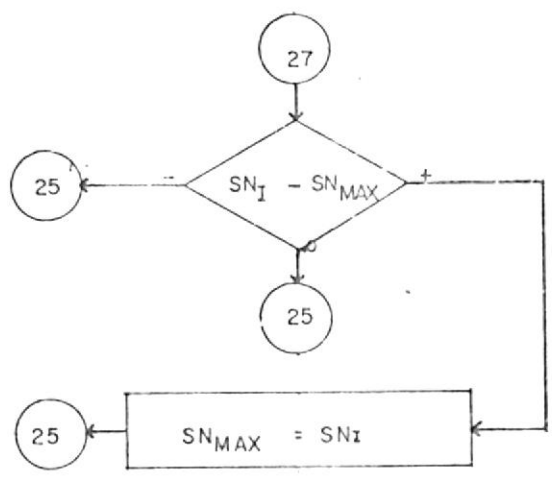
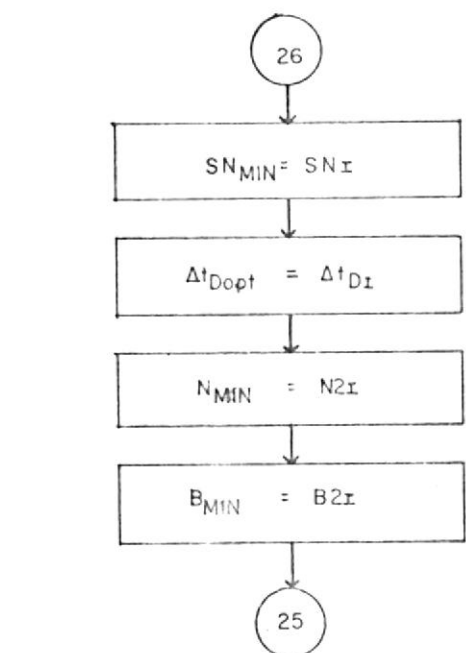


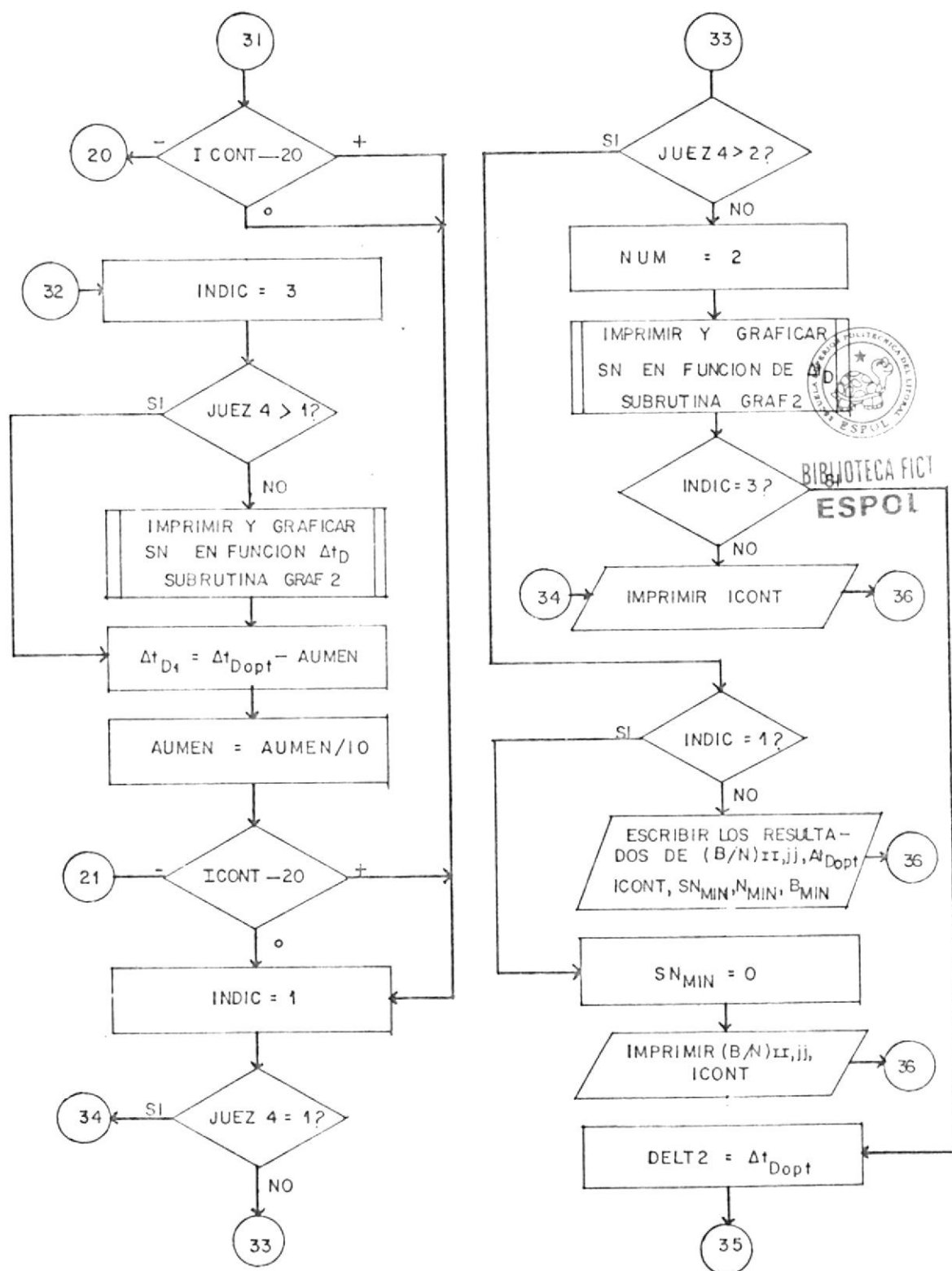


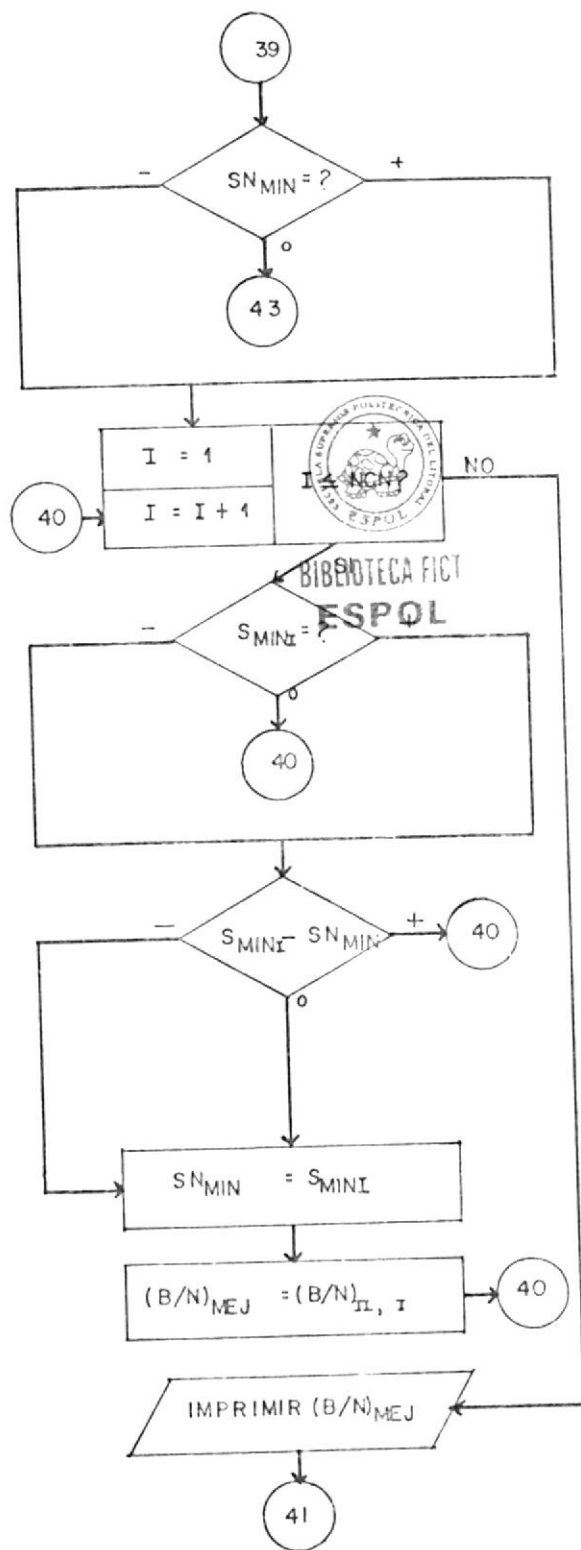
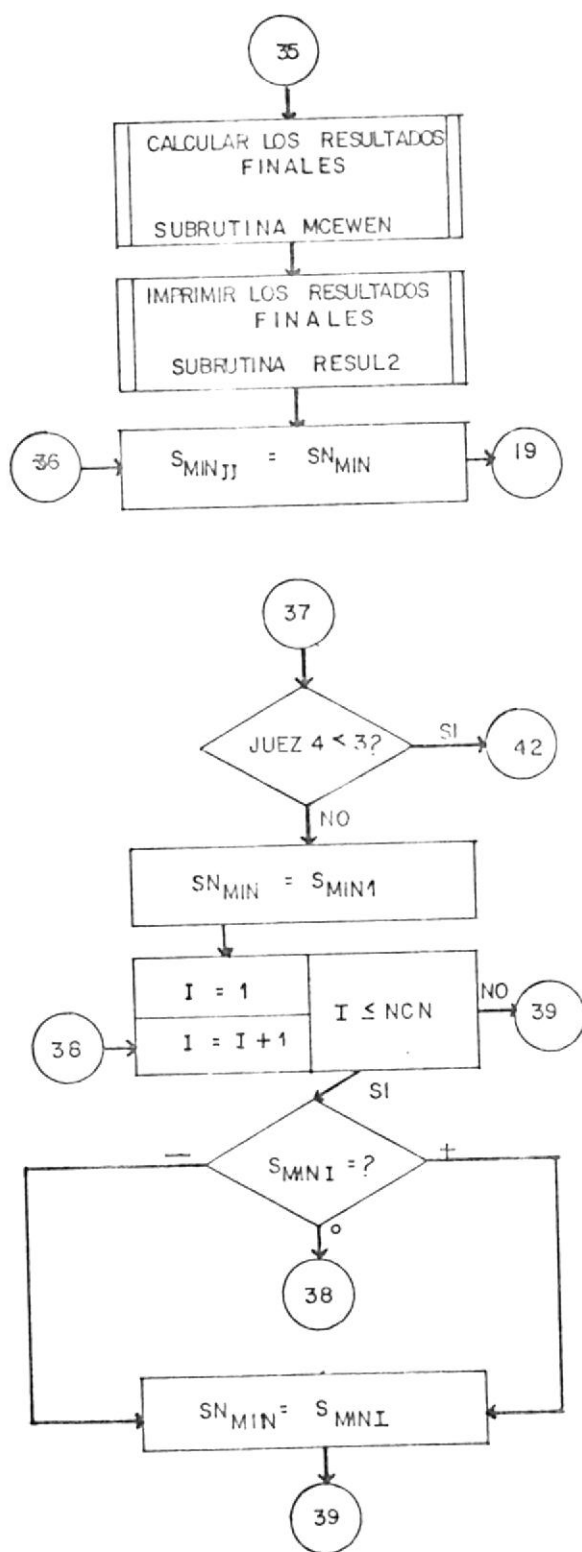


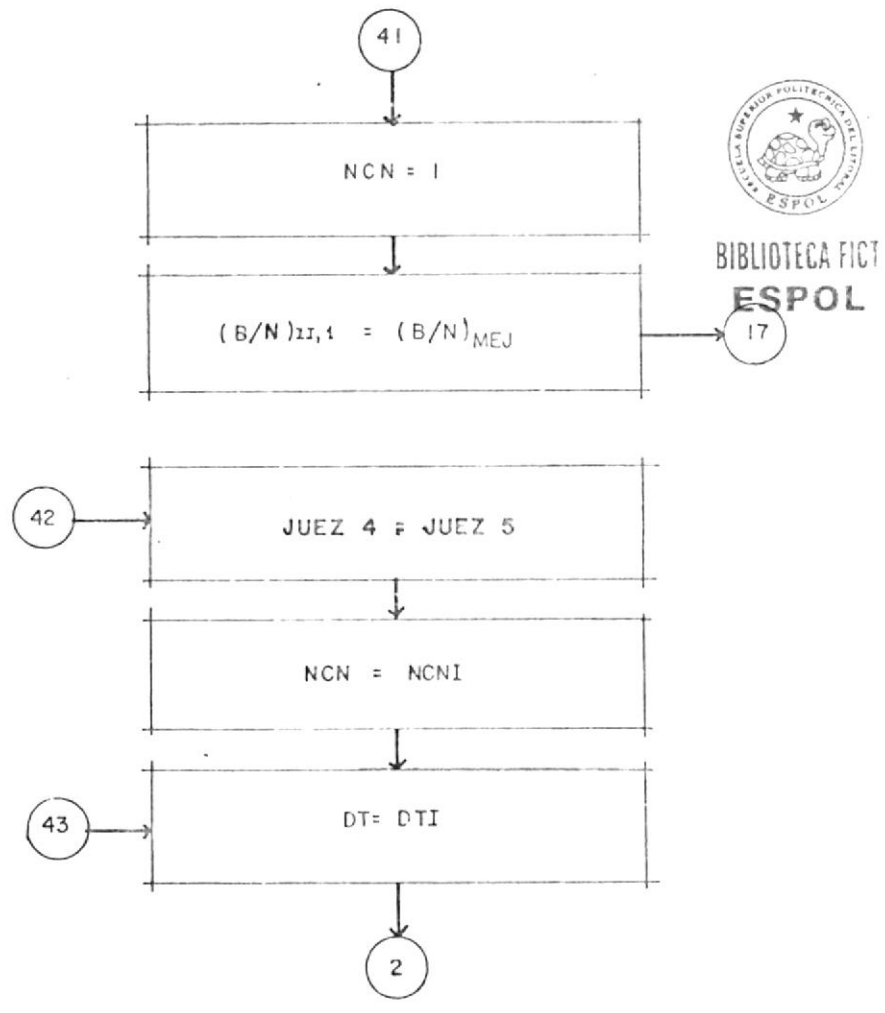


BIBLIOTECA FIC1
ESPOL









```
T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 10.55
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
VOLPE 109131/01AA4B 59/003B 96/60 00000000 486/01E
IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:54
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
```

```
39530 DECIMAL IS THE MAIN STORAGE SIZE OF THE LOAD MEMBER
READ DEVICE=SYSIN
PROCESS LINK(R,LIB(T001)),SUBLIN(T001),NOSOURCE,NOHALT,MAP
```

```
--- PROGRAMA QUE CALCULA EL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO (N)
--- CONSTANTE DE INTRUSION DE AGUA (B) POR LOS METODOS VTM Y MC EWEN.
```



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

```
PROGRAM VOLPE
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC
```

```
--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
--- TILIZADAS.
```

```
COMMON T(50),P(50),PCAP(50),RT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),S(50),S(50),WEVAN(50),WEVAL(50),DELT(50),DS(50),SN(50),RED(20
+),CN(20,20),DELT2
COMMON PI,PCAPI,RTI,BGI,RSI,M,SW,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N2(50),N,NMIN,NP,M
DIMENSION B2(50),SMIN(20)
```

```
--- LLAMADO A LA SUBROUTINA DATOS PARA LA LECTURA Y ESCRITURA DE LOS
--- DATOS A UTILIZARSE.
```

```
CALL DATOS
```

```
--- EL FACTOR VOLUMETRICO INICIAL DEL GAS (BGI) TOMA EL VALOR DE 1 SI
--- ESTE ES 0. ESTO SE REALIZA PARA EVITAR UNA DIVISION PARA CERO EN
--- EL CALCULO DE DENOM.
```

```
IF (BGI.EQ.0.) BGI=1.
```

```
--- CALCULO DEL DELTA PCAP PROMEDIO (DP).
```

```
DP(1)=(PCAPI-PCAP(1))/2.
DP(2)=(PCAPI-PCAP(2))/2.
DO 1 I=3,ND
1 DP(I)=(PCAP(I-2)-PCAP(I))/2.
NDELT=20
FACTO=RTI*(CF+CW*SW)/(1.-SW)
```

```
--- CALCULO DEL PARAMETRO DTI QUE PERMITE CONSERVAR EL VALOR DEL DT
```

C---- LEIDO EN LA SUBROUTINA DATOS.

DTI=DT

C---- CALCULO DEL NUMERO DE LOS DATOS DE PRODUCCION QUE EL USUARIO DESEA
C---- UTILIZARLOS PARA EL CALCULO DE X I Y POR EL METODO VTM.

NDBPB=ND-NDSPB

C---- INICIO DE ITERACIONES. SE HARA LAS ITERACIONES NECESARIAS PARA QUE
C---- CALCULE N Y B PARA TODOS LOS RED DESEADOS.

DO 76 II=1,NRED

C---- SELECCION DEL METODO A UTILIZARSE PARA EL CALCULO DE X I. SI
C---- JUEZ2 ES IGUAL A 3, EL CALCULO NO SE HARA POR EL METODO



BIBLIOTECA FIC+
ESPOL

IF (JUEZ2.EQ.3) GO TO 25

C---- INICIO DEL METODO VTM.

ICONT=0

INDIC=1

C---- CALCULO DEL DENOMINADOR DE LA ECUACION DE BALANCE DE MATERIALES Y
C---- DEL PARAMETRO Y.

DO 2 I=1,NDBPB

L=I+NDSPB

DENOM(I)=M*BTI*(BG(L)/BGI-1.)+BT(L)-BTI+FACTOR*(PI-P(L))

2 Y(I)=(NP(L)*(BT(L)+(RP(L)-RSI)*BG(L))+WP(L)-WI(L)-GI(L)*BIG(L))/DE
+NOM(I)

C---- CALCULO DE LAS DIFERENTES CONSTANTES DE CONVERSION DE TIEMPOS REA-
C---- LES A ADIMENSIONALES (TD/T O DELT) A PARTIR DEL DT ASUMIDO.

3 DELT(1)=DT/10.

AUMEN=DELT(1)

4 ICONT=ICONT+1

DO 5 I=2,NDELT

5 DELT(I)=DELT(I-1)+AUMEN

C---- CALCULO DE LA DESVIACION STANDARD (DS) PARA LOS DIFERENTES TD/T
C---- (DELT) UTILIZANDO LA SUBROUTINA VTM.

DO 6 I=1,NDELT

DELT2=DELT(I)

CALL VTM

6 DS(I)=S(NDBPB)

C---- CALCULO DE LA DESVIACION STANDARD MAXIMA (DSMAX), DESVIACION STAN-
C---- DARD MINIMA (DSMIN) Y DEL TD/T PARA EL CUAL OCURRE LA DESVIACION
C---- STANDARD MINIMA (DELM).

DSMAX=DS(1)


```

DSMIN=DS(1)
DELM=DELTA(1)
DO 10 I=2,NDELTA
IF(DS(I)-DSMIN)7,10,9
7 DSMIN=DS(I)
DELM=DELTA(I)
GO TO 10
8 IF(DS(I)-DSMAX)10,10,9
9 DSMAX=DS(I)
10 CONTINUE

C----- VERIFICACION DE QUE DELM NO SEA NI EL PRIMERO NI EL ULTIMO DE LOS
C----- TD/T.

IF(DELM-DELTA(1))15,15,11
11 IF(DELM-DELTA(NDELTA))12,15,15
12 GO TO(14,13,20),INDIC

C----- VERIFICACION DE QUE DELM SEA APROXIMADO AL DELM DE LA ITERACION
C----- ANTERIOR.

13 IF(ABS(DT-DELM)-1.5*AUMEN)17,17,14
14 INDIC=2

C----- DT TOMA EL VALOR DE DELM PARA CALCULAR LOS NUEVOS TD/T (DELTA) EN
C----- LA SIGUIENTE ITERACION.

15 DT=DELM

C----- LLAMADO A LA SUBROUTINA GRAFI SI EL USUARIO DESEA QUE SE IMPRIMA Y
C----- GRAFIQUE LAS DESVIACIONES STANDARD VS LOS RESPECTIVOS TD/T EN TO-
C----- DAS LAS ITERACIONES QUE SE REALICEN HASTA CALCULAR EL OPTIMO VALOR
C----- DE DELM. ESTO SE REALIZARA SI JUEZ3 ES IGUAL A 1.

IF(JUEZ3.EQ.2)GO TO 16
NUM=1
CALL GRAFI

C----- VERIFICACION DE QUE EL NUMERO DE ITERACIONES REALIZADAS HASTA CAL-
C----- CULAR EL OPTIMO VALOR DE DELM ES MENOR A 20.

16 IF(ICONT-20)3,19,19
17 INDIC=3
IF(JUEZ3.EQ.2)GO TO 18
CALL GRAFI

C----- CALCULO DEL NUEVO Y PRIMER VALOR DE TD/T Y DEL PARAMETRO AUMEN CON
C----- EL CUAL SE CALCULA LOS OTROS TD/T EN LA ULTIMA ITERACION.

18 DELTA(1)=DELM-AUMEN
AUMEN=AUMEN/10.
IF(ICONT-20)4,19,19
19 INDIC=1
IF(JUEZ3.EQ.1)GO TO 21

```



BIBLIOTECA FIC1
ESPOL

C---- LLAMADO A LA SUBROUTINA GRAFI PARA QUE IMPRIMA Y GRAFIQUE LAS DES-
C---- VIACIONES STANDARD VS LOS RESPECTIVOS TD/T EN LA ULTIMA ITERACION.

20 NUM=2
CALL GRAFI
IF(INDIC.EQ.3)GO TO 23

C---- ESCRITURA DEL NUMERO DE ITERACIONES REALIZADAS (ICONT). ESTE PASO
C---- SE EFECTUA CUANDO DESPUES DE 20 ITERACIONES REALIZADAS TODAVIA NO
C---- SE HA CALCULADO EL OPTIMO VALOR DE DELM.

21 WRITE(3,22)ICONT
22 FORMAT(//T7,'NOTA'/T7,'----'//T7,'SE HA REALIZADO ',I2,' ITERACION
+ES. ASUMA UN NUEVO VALOR DE TD/T (DT).')
GO TO 24

C---- LLAMADO A LA SUBROUTINA VTM PARA EL CALCULO DE N, B Y OTROS PARAME-
C---- TROS A IMPRIMIRSE CON LA SUBROUTINA RESUL1.

23 DELT2=DELM
CALL VTM

C---- LLAMADO A LA SUBROUTINA RESUL1 PARA LA ESCRITURA DE LOS RESULTADOS
C---- FINALES.

CALL RESUL1

C---- VERIFICACION DE QUE EL CALCULO DE N Y B TAMBIEN SE HAGA POR EL ME-
C---- TODO DE MC EWEN. SI JUEZ2 ES IGUAL A 1 EL CALCULO SOLO SE HARA POR
C---- EL METODO VTM.

24 IF(JUEZ2.EQ.1)GO TO 76

C---- INICIO DEL METODO DE MC EWEN. CALCULO DEL DENOMINADOR DE LA ECUA-
C---- CION DE BALANCE DE MATERIALES Y DEL PARAMETRO X.

25 DO 26 I=1,ND
DENOM(I)=M*BTI*(PG(I)/BGI-1.)+BT(I)-BTI+FACTO*(PI-P(I))
26 X(I)=NP(I)*(BT(I)+(RP(I)-RSI)*BGI)+WP(I)-WI(I)-GI(I)*SIG(I)

C---- CALCULO DE LOS PARAMETROS JUEZ5 Y NCN1 QUE PERMITEN CONSERVAR LOS
C---- VALORES DE JUEZ4 Y DEL NUMERO DE B/N (NCN) ASUMIDOS PARA CADA RED
C---- Y LEIDOS EN LA SUBROUTINA DATOS.

JUEZ5=JUEZ4
NCN1=NCN

C---- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO DE LA HOJA EN QUE SE RESUME LOS RE-
C---- SULTADOS DE N Y B PARA LOS DISTINTOS B/N ASUMIDOS. ESTO SE REALIZA
C---- UNICAMENTE CUANDO NCN ES MAYOR A 1 Y EL USUARIO DESEA QUE SE IM-
C---- PRIMA EL SET DE RESULTADOS COMPLETOS CON LA SUBROUTINA RESUL2 SOLO
C---- PARA EL MEJOR B/N (ESTO SE REALIZA CUANDO JUEZ4 ES MAYOR A 2).

IF(NCN.EQ.1)GO TO 40
IF(JUEZ4.LT.3)GO TO 41



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

```

GO TO(27,32),JUEZ1
27 GO TO(28,30),11
28 WRITE(3,29)
29 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL FINITO')
GO TO 37
30 WRITE(3,31)
31 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL INFINITO')
GO TO 37
32 IF(RED(11)-32.)33,35,35
33 WRITE(3,34)RED(11)
34 FORMAT(1H1/T19,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL FINITO. RED =',F7.2
+)
GO TO 37
35 WRITE(3,35)
36 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL INFINITO')
37 WRITE(3,38)
38 FORMAT(T7,30(' '), 'METODO MC EWEN',31(' ')//T19,'RESULTADOS DE N Y
+ B PARA LOS DISTINTOS B/N ASUMIDOS')
WRITE(3,39)
39 FORMAT(I60,'VOLUMEN',5X,'CONSTANTE'/T10,'B/N',T22,'TD/T
+RU DE',T43,'SUMA',T58,'ORIGINAL DE INTRUSION'/T21,'OPTIMO',T72,'
+ITERACIONES NORMALIZADA PETROLEO(N) DE AGUA (B)'/T6,'BY/LPC-B
+N) (1/MESES)',T61,'(BN)',T72,'(BY/LPC)'/T6,11(' '),2X,11(' '),2X
+,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' '))
GO TO 41

```



BIBLIOTECA NACIONAL DE ESPOL

C---- CAMBIO DEL VALOR DE JUEZ4 SI NCN ES IGUAL A 1.

```

40 IF(JUEZ4.EQ.3)JUEZ4=1
IF(JUEZ4.EQ.4)JUEZ4=2

```

C---- INICIO DE ITERACIONES. SE HARA LAS ITERACIONES NECESARIAS PARA QUE
C---- CALCULE N Y B PARA LOS DISTINTOS B/N ASUMIDOS PARA CADA RED.

```

41 DO 66 JJ=1,NCN

```

C---- DT RECUPERA SU VALOR INICIAL LEIDO EN LA SUBROUTINA DATOS.

```

DT=DT1
ICONT=0
INDIC=1

```

C---- CALCULO DE LOS DIFERENTES TD/T (DELT), A PARTIR DEL DT ASUMIDO.

```

42 DELT(1)=DT/10.
AUMEN=DELT(1)
43 ICONT=ICONT+1
DO 44 I=2,NDELT
44 DELT(I)=DELT(I-1)+AUMEN

```

C---- CALCULO DE N (N2), B (B2) Y DE LA SUMA NORMALIZADA (SN) PARA LOS
C---- DIFERENTES TD/T, UTILIZANDO LA SUBROUTINA MCEWEN.

```

DO 45 I=1,NDELT
DELT2=DELT(I)

```

```

CALL MCEWEN
SN(I)=S(ND)
N2(I)=N(ND)
45 B2(I)=B(ND)

C---- CALCULO DE LA SUMA NORMALIZADA MAXIMA (SNMAX), SUMA NORMALIZADA
C---- MINIMA (SNMIN) Y DE N, B Y TD/T PARA EL CUAL OCURRE LA SUMA NORMA-
C---- LIZADA MINIMA (NMIN, BMIN Y DELM).

SNMAX=SN(1)
SNMIN=SN(1)
DELM=DELT(1)
NMIN=N2(1)
BMIN=B2(1)
DO 49 I=2,NOELT
IF(SN(I)-SNMIN)45,49,47
46 SNMIN=SN(I)
DELM=DELT(I)
NMIN=N2(I)
BMIN=B2(I)
GO TO 49
47 IF(SN(I)-SNMAX)49,49,48
48 SNMAX=SN(I)
49 CONTINUE

C---- VERIFICACION DE QUE DELM NO SEA NI EL PRIMERO NI EL ULTIMO DE LOS
C---- TD/T.

IF(DELM-DELT(1))54,54,50
50 IF(DELM-DELT(NOELT))51,54,54
51 GO TO(53,52,59),INDIC

C---- VERIFICACION DE QUE DELM SEA APROXIMADO AL DELM DE LA ITERACION
C---- ANTERIOR.

52 IF(ABS(DT-DELM)-1.5*AUMEN)56,56,53
53 INDIC=2

C---- DT TOMA EL VALOR DE DELM PARA CALCULAR LOS NUEVOS TD/T (DELT) EN
C---- LA SIGUIENTE ITERACION.

54 DT=DELM

C---- LLAMADO A LA SUBROUTINA GRAF2 SI EL USUARIO DESHA QUE SE IMPRIMA Y
C---- GRAFIQUE LAS SUMAS NORMALIZADAS VS LOS RESPECTIVOS TD/T EN TODAS
C---- LAS ITERACIONES QUE SE REALICEN HASTA CALCULAR EL OPTIMO VALOR DE
C---- DELM. ESTE PASO SE HARA SI JUEZ4 ES IGUAL A 1.

IF(JUEZ4.GT.1)GO TO 55
NUM=1
CALL GRAF2

C---- VERIFICACION DE QUE EL NUMERO DE ITERACIONES REALIZADAS HASTA CAL-
C---- CULAR EL OPTIMO VALOR DE DELM ES MENOR A 20.

```



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

```

55 IF(ICONT-20)42,58,58
56 INDIC=3
   IF(JUEZ4.GT.1)GO TO 57
   CALL GRAF2

```

C---- CALCULO DEL NUEVO Y PRIMER VALOR DE TD/T Y DEL PARAMETRO AUMEN CON
C---- EL CUAL SE CALCULA LOS OTROS TD/T EN LA ULTIMA ITERACION.

```

57 DELT(1)=DELM-AUMEN
   AUMEN=AUMEN/10.
   IF(ICONT-20)43,58,58
58 INDIC=1
   IF(JUEZ4.EQ.1)GO TO 60

```

C---- LLAMADO A LA SUBROUTINA GRAF2 PARA QUE IMPRIMA Y GRAFIQUE LAS SUMAS
C---- NORMALIZADAS VS LOS RESPECTIVOS TD/T EN LA ULTIMA ITERACION SIEM-
C---- PRE Y CUANDO JUEZ4 SEA MENOR A 3.

```

59 IF(JUEZ4.GT.2)GO TO 61
   NUM=2
   CALL GRAF2
   IF(INDIC.EQ.3)GO TO 65

```



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

C---- ESCRITURA DE ICONT PARA EL CASO DE QUE JUEZ4 SEA 1 O 2. ESTE PASO
C---- SE EFECTUA CUANDO DESPUES DE 20 ITERACIONES REALIZADAS TODAVIA NO
C---- SE HA CALCULADO EL OPTIMO VALOR DE DELM.

```

60 WRITE(3,22)ICONT
   GO TO 66
61 IF(INDIC.EQ.1)GO TO 63

```

C---- ESCRITURA DEL B/N ASUMIDO, DELM, ICONT, SNMIN, NMIN Y BMIN PARA EL
C---- CASO DE QUE JUEZ4 SEA 3 O 4. EN ESTE CASO SE IMPRIMIRA EL SET DE
C---- RESULTADOS COMPLETOS CON LA SUBROUTINA RESUL2 SOLO PARA EL VALOR DE
C---- B/N DONDE SE OBTENGA EL MENOR SNMIN.

```

WRITE(3,62)CN(II, JJ),DELM,ICONT,SNMIN,NMIN,BMIN
62 FORMAT(E16.4,E13.5,6X,I2,5X,3E13.5)
   GO TO 66

```

C---- ESCRITURA DE B/N E ICONT PARA EL CASO DE QUE JUEZ4 SEA 3 O 4. ESTE
C---- PASO SE EFECTUA CUANDO DESPUES DE 20 ITERACIONES REALIZADAS TODA-
C---- VIA NO SE HA CALCULADO EL OPTIMO VALOR DE DELM. SE HACE SNMIN=0.

```

63 SNMIN=0.
   WRITE(3,64)CN(II, JJ),ICONT
64 FORMAT(E16.4,2X,'NO CONVERGE',6X,I2)
   GO TO 66

```

C---- LLAMADO A LAS SUBROUTINAS MCEWEN Y RESUL2 PARA EL CALCULO E IMPRE-
C---- CION DE LOS RESULTADOS FINALES. ESTE PASO SOLO SE REALIZARA CUAN-
C---- DO JUEZ4 SEA 1 O 2.

```

65 DELT2=DELM
   CALL MCEWEN

```

CALL RESUL2

C---- CALCULO DEL PARAMETRO SMIN, QUE PERMITE CONSERVAR TODOS LOS VALORES DEL SNMIN CALCULADO PARA LOS DIFERENTES B/N ASUMIDOS.

66 SMIN(JJ)=SNMIN

C---- VERIFICACION DE QUE JUEZ4 SEA 1 O 2. SI ESTO SUCEDE, EL PROGRAMA EMPIEZA CON UN NUEVO VALOR DE RED O FINALIZA.

IF(JUEZ4.LT.3)GO TO 75

C---- OBTENCION DEL PRIMER VALOR DE SMIN DIFERENTE DE 0.

SNMIN=SMIN(1)

DO 68 I=1,NCN

IF(SMIN(I))67,68,67

67 SNMIN=SMIN(I)

GO TO 59

68 CONTINUE



C---- VERIFICACION DE QUE NO TODOS LOS SMIN CALCULADOS PARA LOS B/N ASUMIDOS SEAN 0.

69 IF(SNMIN)70,76,70

C---- CALCULO DEL CNMEJ (B/N CON EL CUAL SE OBTIENE EL MENOR SMIN DIFERENTE DE 0).

70 DO 73 I=1,NCN

IF(SMIN(I))71,73,71

71 IF(SMIN(I)-SNMIN)72,72,73

72 SNMIN=SMIN(I)

CNMEJ=CN(II,1)

73 CONTINUE

C---- ESCRITURA DE CNMEJ.

WRITE(3,74)CNMEJ

74 FORMAT(///T7,'MEJOR VALOR DE B/N (BY/LPC-BN) =',E14.6)

C---- NCN TOMA EL VALOR DE 1. ESTE PASO SE REALIZA PARA CALCULAR NUEVAMENTE N Y B PARA EL CNMEJ Y PODER IMPRIMIR EL SET DE RESULTADOS COMPLETOS CON LA SUBROUTINA RESUL2.

NCN=1

CN(II,1)=CNMEJ

GO TO 40

C---- JUEZ4 Y NCN RECUPERAN SU VALOR INICIAL (VALORES LEIDOS EN LA SUBROUTINA DATOS).

75 JUEZ4=JUEZ5

NCN=NCN1

----- DT RECUPERA SU VALOR INICIAL (VALOR LEIDO EN LA SUBROUTINA DATOS).

76 DT=DTI

STOP

END

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399		P	DCU0190	00400	031F	00799	
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199		BT	DCU0480	01200	053F	01599	
?? BG	DCU0640	01600	07CF	01999		RP	DCU07D0	02000	095F	02399	
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799		WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199	
?? WI	DCU0CB0	03200	0E0F	03599		GI	DCU0E10	03600	0F9F	03999	
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399		DP	DC 1130	04400	12BF	04799	
?? SUMAT	DCU12C0	04800	144F	05199		DENCM	DC 1450	05200	15DF	05599	
?? X	DC 15E0	05600	176F	05999		Y	DC 1770	06000	197F	06399	
?? YC	DCU1900	06400	1A8F	06799		N	DCU1A90	06800	1C1F	07199	
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599		S	DCU1DB0	07600	1E3F	07999	
?? WEVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399		WEBAL	DCU20D0	08400	225F	08799	
?? DELT	DC 2260	08800	23EF	09199		DS	DC 23F0	09200	257F	09599	
?? SN	DC 2580	09600	270F	09999		RED	DCU2710	10000	289F	09599	
?? CN	DC 2780	10160	342F	13359		DELT2	DC 3430	13360			
?? PI	DCU3434	13368				PCAPI	DCU3440	13376			
?? BTI	DCU3448	13384				BGI	DC 3450	13392			
?? RSI	DCU3458	13400				M	DCU3460	13408			
?? SW	DCU3468	13416				CF	DCU3470	13424			
?? CW	DCU3478	13432				CO	DCU3480	13440			
?? DT	DC 3488	13448				NRED	ICU3490	13456			
?? NCN	IC 3494	13460				ND	ICU3498	13464			
?? NDSPB	ICU349C	13468				NDRPB	IC 34A0	13472			
?? NDELT	IC 34A4	13476				DSMIN	DC 34A8	13480			
?? DSMAX	DC 34B0	13488				SNMIN	DC 34B8	13496			
?? SNMAX	DC 34C0	13504				ICONT	IC 34C8	13512			
?? NUM	IC 34CC	13516				JUEZ1	ICU34D0	13520			
?? JUEZ2	ICU34D4	13524				JUEZ3	ICU34D8	13528			
?? JUEZ4	IC 34DC	13532				II	IC 34E0	13536			
?? JJ	IC 34E4	13540				N2	D 01AD	00429	033C	00828	
?? NMIN	D 033D	00829				B2	D 0345	00837	04D4	01236	
?? SMIN	D 0405	01237	0574	01396		I	I 0575	01397			
?? FACTD	D 0579	01401				DTI	D 0581	01409			
?? INDIC	I 0589	01417				L	I 058D	01421			
?? AUMEN	D 0591	01425				DELM	D 0599	01433			
?? JUEZ5	I 05A1	01441				NCNI	I 05A5	01445			
?? BMIN	D 05A9	01449				CNMEJ	D 05B1	01457			

?? FORT-0098 4 UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP

??SYS-3130 I VOLPE MODULE'S MAIN STORAGE SIZE IS

?? 39680 DECIMAL

??SYS-3131 I 3500 IS THE START CONTROL ADDRESS OF THIS MODULE

??SYS-3132 I THE NONOVERLAY MAIN STORAGE SIZE IS

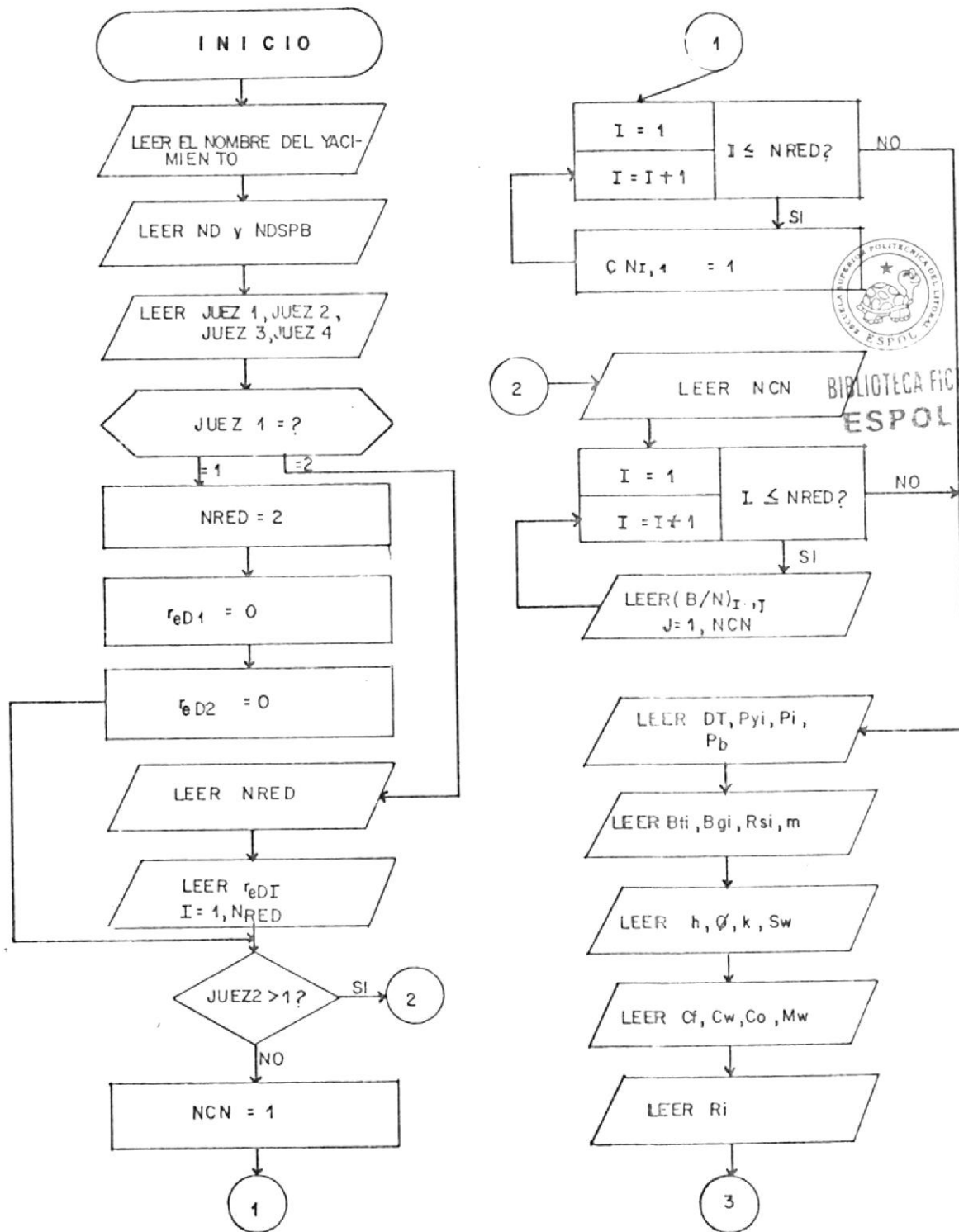
?? 47815 DECIMAL

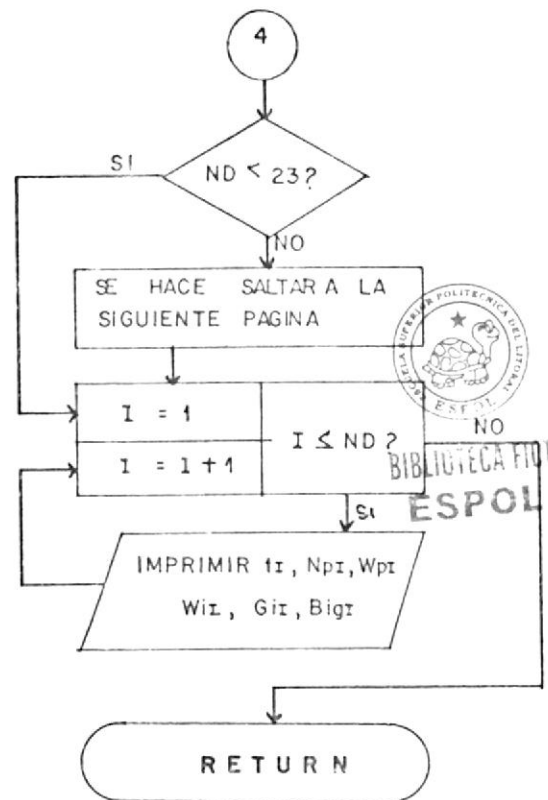
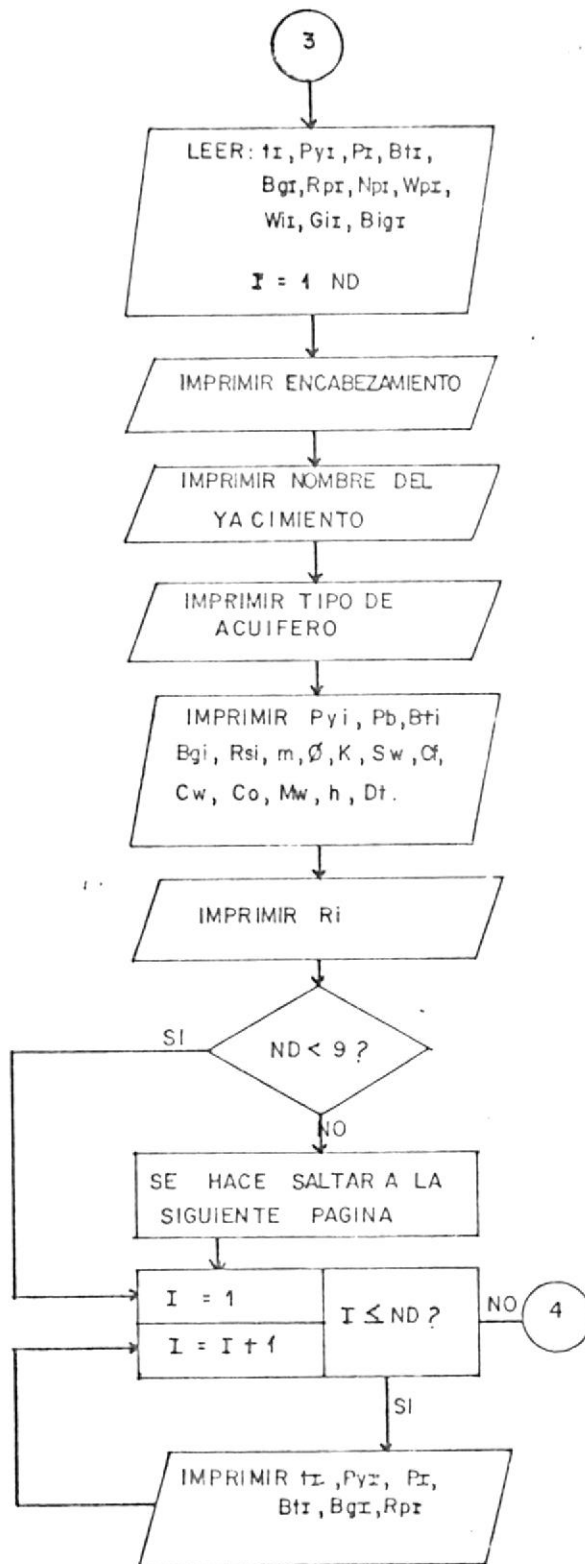
??SYS-3134 I VOLPE MODULE IS CATALOGED AS A LOAD MEMBER

?? T001 IS THE LIBRARY NAME

?? 166 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA DATOS:





```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 10.56
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECCRD ATTRIBUTES LINK ADDR/M
DATOS 108948/01A994 40/0028 96/60 00000000 259/010

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:08
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
4552 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP

```

```

---- SUBROUTINA QUE LEE E IMPRIME LOS DATOS QUE SE UTILIZAN EN EL CALCULO
---- LD DE N Y B DE UN DETERMINADO YACIMIENTO.

```



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

```

SUBROUTINE DATOS
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```

```

---- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
---- TILIZADAS.

```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENCM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT(50),DS(50),SN(50),RED(20
+),CN(20,20),DELT2
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SA,CF,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,ND3
+P0,NOELT,DSMIN,DSMAX,SHMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M,K
DIMENSION YACIM(62)

```

```

---- LECTURA DEL NOMBRE DEL YACIMIENTO

```

```

READ(4,1)YACIM
1 FORMAT(62A1)

```

```

---- LECTURA DEL NUMERO TOTAL DE DATOS DE PRODUCCION (NO) Y DEL NUMERO
---- DE LOS PRIMEROS DATOS DE PRODUCCION QUE EL USUARIO NO DESEA UTILI-
---- ZARLOS PARA EL CALCULO DE X I Y POR EL METODO VTM (NDSPB).

```

```

READ(4,2)NO,NDSPB
2 FURMAT(2I2)

```

```

---- LECTURA DE LOS PARAMETROS QUE INDICARAN EL TIPO DE ACUIFERO
---- (JUEZ1), EL METODO A UTILIZARSE PARA EL CALCULO DE N Y B (JUEZ2),
---- SI SE LLAMA A LA SUBROUTINA GRAF1 PARA TODAS LAS ITERACIONES
---- (JUEZ3) Y SI SE LLAMA A LA SUBROUTINA GRAF2 PARA TODAS LAS ITERA-
---- CIONES (JUEZ4)

```

```

READ(4,3)JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
3 FORMAT(4I1)
GO TO (4,5),JUEZ1

```

C---- NRED TOMA EL VALOR DE 2 Y DOS RED TOMAN EL VALOR DE 0. ESTE PASO
 C---- SE REALIZA PARA ACUIFEROS DE TIPO LINEAL.

```
4 NRED=2
  RED(1)=0.
  RED(2)=0.
  GO TO 8
```

C---- LECTURA DEL NUMERO Y DE LOS VALORES DE RED PARA LOS CUALES SE DE-
 C---- SEA CALCULAR N Y B. ESTE PASO SE REALIZA SOLO PARA ACUIFEROS DE
 C---- TIPO RADIAL.

```
5 READ(4,6)NRED
6 FORMAT(I2)
  READ(4,7)(RED(I),I=1,NRED)
7 FORMAT(6F10.5)
8 IF(JUEZ2.GT.1)GO TO 10
```



C---- NCN Y CN TOMAN EL VALOR DE 1. ESTE PASO SE REALIZA CUANDO EL CAL-
 C---- CULO DE N Y B NO SE HARA POR EL METODO DE MC EWEN.

BIBLIOTECA FICT
 ESPOL

```
NCN=1
DO 9 I=1,NRED
9 CN(I,1)=1.
GO TO 13
```

C---- LECTURA DEL NUMERO Y DE LOS VALORES DE B/N ASUMIDOS PARA CADA RED
 C---- LEIDO. ESTE PASO SE REALIZA CUANDO EL CALCULO DE N Y B SE HARA POR
 C---- EL METODO DE MC EWEN.

```
10 READ(4,6)NCN
DO 11 I=1,NRED
11 READ(4,12)(CN(I,J),J=1,NCN)
12 FORMAT(5F15.8)
```

C---- LECTURA DE LOS DATOS GENERALES DEL YACIMIENTO (CONSTANTE DE CON-
 C---- VERSION DE TIEMPOS REALES A ADIMENSIONALES (VALOR ASUMIDO), PRE-
 C---- SION INICIAL DEL YACIMIENTO, PRESION INICIAL EN EL CONTACTO AGUA -
 C---- PETROLEO, PRESION DEL PUNTO DE BURBUJEO, FACTOR VOLUMETRICO TOTAL
 C---- A LA PRESION INICIAL, FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS A LA PRESION INI-
 C---- CIAL, RAZON GAS EN SOLUCION-PETROLEO A LA PRESION INICIAL, RAZON
 C---- DEL VOLUMEN INICIAL DE LA CAPA DE GAS AL VOLUMEN INICIAL DE PETRO-
 C---- LEO, ESPESOR PROMEDIO DEL YACIMIENTO, POROSIDAD PROMEDIO DEL YACI-
 C---- MIENTO, PERMEABILIDAD PROMEDIO DEL YACIMIENTO, SATURACION DE AGUA,
 C---- COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION, COMPRESIBILIDAD DEL AGUA, COMPRE-
 C---- SIBILIDAD DEL PETROLEO, VISCOSIDAD DEL AGUA Y RADIO O LONGITUD DEL
 C---- YACIMIENTO).

```
13 READ(4,14)DT,PI,PCAPI,PE
  READ(4,14)BTI,BGI,RSI,M
  READ(4,14)H,PORU,K,SW
  READ(4,14)CF,CW,CO,UW
14 FORMAT(4F20.9)
  READ(4,15)RI
15 FORMAT(F20.9)
```

C---- LECTURA DE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION DEL YACIMIENTO
 C---- (TIEMPOS, PRESIONES DEL YACIMIENTO, PRESIONES EN EL CONTACTO AGUA-
 C---- PETROLEO, FACTORES VOLUMETRICOS TOTALES, FACTORES VOLUMETRICOS DEL
 C---- GAS, RAZONES GAS-PETROLEO ACUMULADO, PRODUCCIONES DE PETROLEO,
 C---- PRODUCCIONES DE AGUA, VOLUMENES TOTALES DE AGUA INYECTADO, VOLUMENES
 C---- TOTALES DE GAS INYECTADO Y FACTORES VOLUMETRICOS DEL GAS IN-
 C---- YECTADO).

```
READ(4,14)(T(I),I=1,ND),(P(I),I=1,ND),(PCAP(I),I=1,ND),(BT(I),I=1,
+ND),(BG(I),I=1,ND),(RP(I),I=1,ND),(NP(I),I=1,ND),(WP(I),I=1,ND),(W
+I(I),I=1,ND),(GI(I),I=1,ND),(BIG(I),I=1,ND)
```

C---- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO.

```
WRITE(3,16)
```

```
16 FORMAT(1H1/T8,'CALCULO DEL VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO Y CONSTANT  

+E DE INTRUSION DE AGUA'/T7,18(' '), 'PARA YACIMIENTOS  

+DRAULICO',19(' ')/)
```



C---- ESCRITURA DEL NOMBRE DEL YACIMIENTO.

```
WRITE(3,17)YACIM
```

```
17 FORMAT(T7,'YACIMIENTO ',62A1)
```

C---- ESCRITURA DEL TIPO DE ACUIFERO

```
GO TO (19,20),JUEZ1
```

```
18 WRITE(3,19)
```

```
19 FORMAT(T7,'TIPO DE ACUIFERO LINCAL'/)
```

```
GO TO 22
```

```
20 WRITE(3,21)
```

```
21 FORMAT(T7,'TIPO DE ACUIFERO RADIAL'/)
```

C---- ESCRITURA DE LOS DATOS GENERALES DEL YACIMIENTO.

```
22 WRITE(3,23)PI,PB,BTI,BGI,RSI,M,PORO,K,SW,CF,CW,CO,UW,H,DT
```

```
23 FORMAT(T37,'DATOS GENERALES'/T37,15(' ')/T7,'PRESION INICIAL DEL  

+YACIMIENTO (PI, LPC)',T70,E12.5/T7,'PRESION AL PUNTO DE BURBUJEO (  

+PB, LPC)',T70,E12.5/T7,'FACTOR VOLUMETRICO TOTAL A LA PRESION INIC  

+IAL (BTI, BY/BN)',T70,E12.5/T7,'FACTOR VOLUMETRICO DEL GAS A LA PR  

+ESION INICIAL (BGI, BY/PCN)',T70,E12.5/T7,'RAZON GAS EN SOLUCION-P  

+ETROLEO'/T13,'A LA PRESION INICIAL (RSI, PCN/BN)',T70,E12.5/T7,'RA  

+ZON DEL VOLUMEN INICIAL DE LA CAPA DE GAS'/T13,'AL VOLUMEN INICIAL  

+ DE PETROLEO (M, ADIMENSIONAL)',T70,E12.5/T7,'POROSIDAD PROMEDIO D  

+EL YACIMIENTO (PORO, FRACCION)',T70,E12.5/T7,'PERMEABILIDAD PROMED  

+IO DEL YACIMIENTO (K, MD)',T70,E12.5/T7,'SATURACION DE AGUA CONNAT  

+A (SW, FRACCION)',T70,E12.5/T7,'COMPRESIBILIDAD DE LA FORMACION (C  

+F, 1/LPC)',T70,E12.5/T7,'COMPRESIBILIDAD DEL AGUA (CW, 1/LPC)',T70  

+,E12.5/T7,'COMPRESIBILIDAD DEL PETROLEO (CO, 1/LPC)',T70,E12.5/T7,  

+VISCOSIDAD DEL AGUA (UW, CP)',T70,E12.5/T7,'ESPESOR PROMEDIO (H,  

+PIES)',T70,E12.5/T7,'TIPO/T ASUMIDO (DT, 1/MESES)',T70,E12.5)
```

```
GO TO (24,26),JUEZ1
```

```
24 WRITE(3,25)RI
```

```
25 FORMAT(T7,'LONGITUD DEL YACIMIENTO (RI, PIES)',T70,E12.5//)
```

GO TO 28

25 WRITE(3,27)RI

27 FORMAT(T7,'RADIO DEL YACIMIENTO (RI, PIES)',T70,E12.5//)

C---- VERIFICACION DE QUE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION PUEDEN
C---- ESCRIBIRSE EN LA MISMA PAGINA EN QUE SE IMPRIMEN LOS DATOS GENERA-
C---- LLS.

28 IF(ND.LT.9)GO TO 30

WRITE(3,29)

29 FORMAT(1H1/)

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION
C---- A IMPRIMIRSE (PRIMERA PARTE).

30 WRITE(3,31)

31 FDMAT(T26,'DATOS PVT Y DE PRODUCCION - INYECCION'//T26,371,1)//T2
+1,'PRESION',T32,'PRESION EN',T47,'FACTOR',T60,'FACTOR',T71,'RAZON
+GAS-'//T9,'TIEMPO',T22,'EN EL',T33,'CONTACTO',T45,'VOLUMETRIC',T58
+, 'VOLUMETRIC',T72,'PETROLEO'//T19,'YACIMIENTO',T33,'AGUA-PCN',T48
+, 'TOTAL',T50,'DEL GAS',T72,'ACUMULADA'//T7,'(T, MESES)',3X,'(P, LP
+C)',4X,'(PCAP, LPC)',2X,'(BT, BY/BN)',2X,'(BG, BY/PCN)',2X,'(RP, PCN
+/BN)'//T7,10(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' ')
+(' ')

C---- ESCRITURA DE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION (PRIMERA PAR-
C---- TE).

DO 32 I=1,ND

32 WRITE(3,33)T(I),P(I),PCAP(I),BT(I),BG(I),RP(I)

33 FORMAT(E16.4,5E13.5)

C---- VERIFICACION DE QUE TODOS LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION
C---- PUEDEN ESCRIBIRSE EN LA MISMA PAGINA.

IF(ND.LT.23)GO TO 35

WRITE(3,34)

34 FORMAT(1H1)

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION
C---- A IMPRIMIRSE (SEGUNDA PARTE).

35 WRITE(3,36)

36 FDMAT(//T19,'PRODUCCION',T32,'PRODUCCION',T47,'VOLUMEN',T50,'VOLU
+MEN',T71,'FACTOR VOL.'//T9,'TIEMPO',T20,'ACUMULADA',T33,'ACUMULADA'
+, T45,'TOTAL AGUA',T59,'TOTAL GAS',T73,'DEL GAS'//T19,'DE PETROLEO',
+T34,'DE AGUA',T46,'INYECCION',T59,'INYECCION',T72,'INYECCION'//T7,
+'(T, MESES)',T20,'(NP, BN)',T33,'(WP, BY)',T46,'(WI, BY)',T59,'(GI
+, PCN)',T70,'(BIG, BY/PCN)'//T7,10(' '),2X,11(' '),2X,11(' '),2X,11(' ')
+(' '),2X,11(' '),1X,12(' ')

C---- ESCRITURA DE LOS DATOS PVT Y DE PRODUCCION-INYECCION (SEGUNDA PAR-
C---- TE).

DO 37 I=1,ND

```
37 WRITE(3,33)T(1),NP(I),*P(I),*I(1),GI(1),BIG(I)
```

```
-- RETURN
```

```
END
```

```
?? VARIABLE ALLOCATION MAP
```

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DC	0000	00000	018F	00399	P	DC	0190	00400	031F	00799
?? PCAP	DC	0320	00800	04AF	01199	BT	DC	0480	01200	063F	01599
?? BG	DC	0640	01600	07CF	01999	RP	DC	07D0	02000	095F	02399
?? NP	DC	0960	02400	0AEF	02799	WP	DC	0AF0	02800	0C7F	03199
?? *I	DC	0C80	03200	0E0F	03599	GI	DC	0E10	03600	0E9F	03999
?? BIG	DC	0FA0	04000	112F	04399	DP	DCU1130	04400	12BF	04799	
?? SUMAF	DCU12C0	04800	144F	05199		DENOM	DCU1450	05200	15DF	05599	
?? X	DCU15E0	05600	175F	05999		Y	DCU1770	06000	18FF	06399	
?? YC	DCU1900	06400	1ABF	06799		N	DCU1A70	06800	1C1F	07199	
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599		S	DCU1DB0	07600	1F3F	07999	
?? WEVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399		WEBAL	DCU2000	08400	225F	08799	
?? DELT	DCU2260	08800	23EF	09199		DS	DCU23F0	09200	257F	09599	
?? SN	DCU2580	09600	270F	09999		RED	DC	2710	10000	27AF	10399
?? CN	DC	2760	10160	342F	13359	DELT2	DCU3430	13360			
?? PI	DC	3438	13368			PCAPI	DC	3440	13376		
?? BTI	DC	3448	13384			BGI	DC	3450	13392		
?? RSI	DC	3458	13400			M	DC	3460	13408		
?? SV	DC	3468	13416			CF	DC	3470	13424		
?? CW	DC	3478	13432			CO	DC	3480	13440		
?? DT	DC	3488	13448			NRED	IC	3490	13456		
?? NCN	IC	3494	13460			ND	IC	3498	13464		
?? NOSP6	IC	349C	13468			NDRPB	ICU34A0	13472			
?? NDELT	ICU34A4	13476				DSMIN	DCU34A8	13480			
?? DSMAX	DCU34B0	13488				SNMIN	DCU34B8	13496			
?? SNMAX	DCU34C0	13504				ICONT	ICU34C8	13512			
?? NUM	ICU34CC	13516				JUEZ1	IC	34D0	13520		
?? JUEZ2	IC	34D4	13524			JUEZ3	IC	34D8	13528		
?? JUEZ4	IC	34DC	13532			II	ICU34E0	13536			
?? JJ	ICU34E4	13540				K	D	0006	00006		
?? YACIM	D	000E	00014	01FD	00509	I	I	01FE	00510		
?? J	I	0202	00514			PH	D	0206	00513		
?? H	D	020E	00526			PORD	D	0216	00534		
?? UW	D	021E	00542			RI	D	0226	00550		
?? FORT-0098	4										
??SYS-3133	I	DATOS	MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER								
??		T001	IS THE LIBRARY NAME								
??			26 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS								
??			020 CATEGORY NUMBER								
??SYS-3135	I	DATOS	MODULE'S CODE LENGTH IS								
??			4552 DECIMAL								

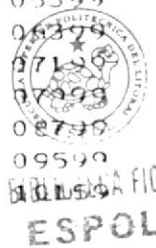
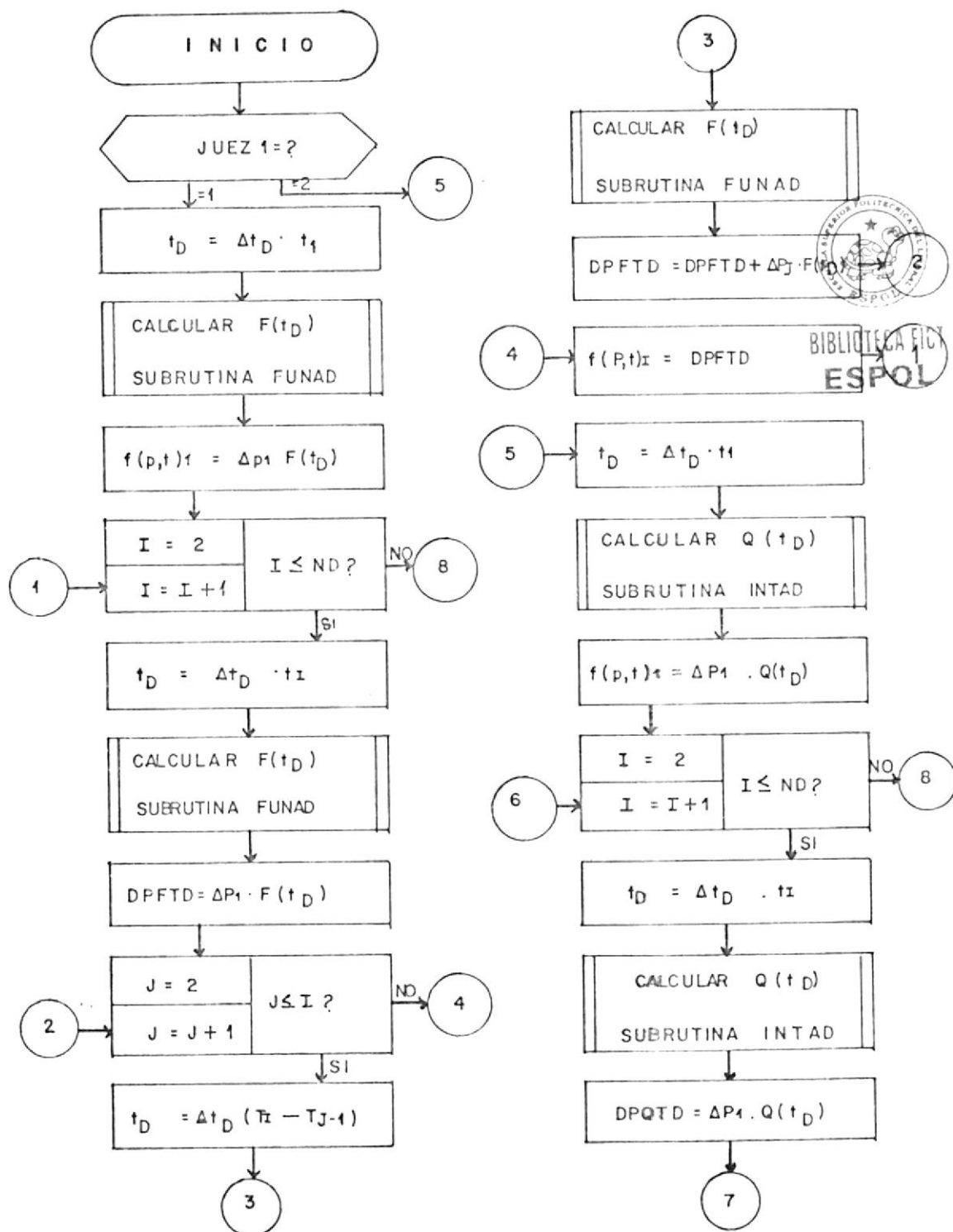
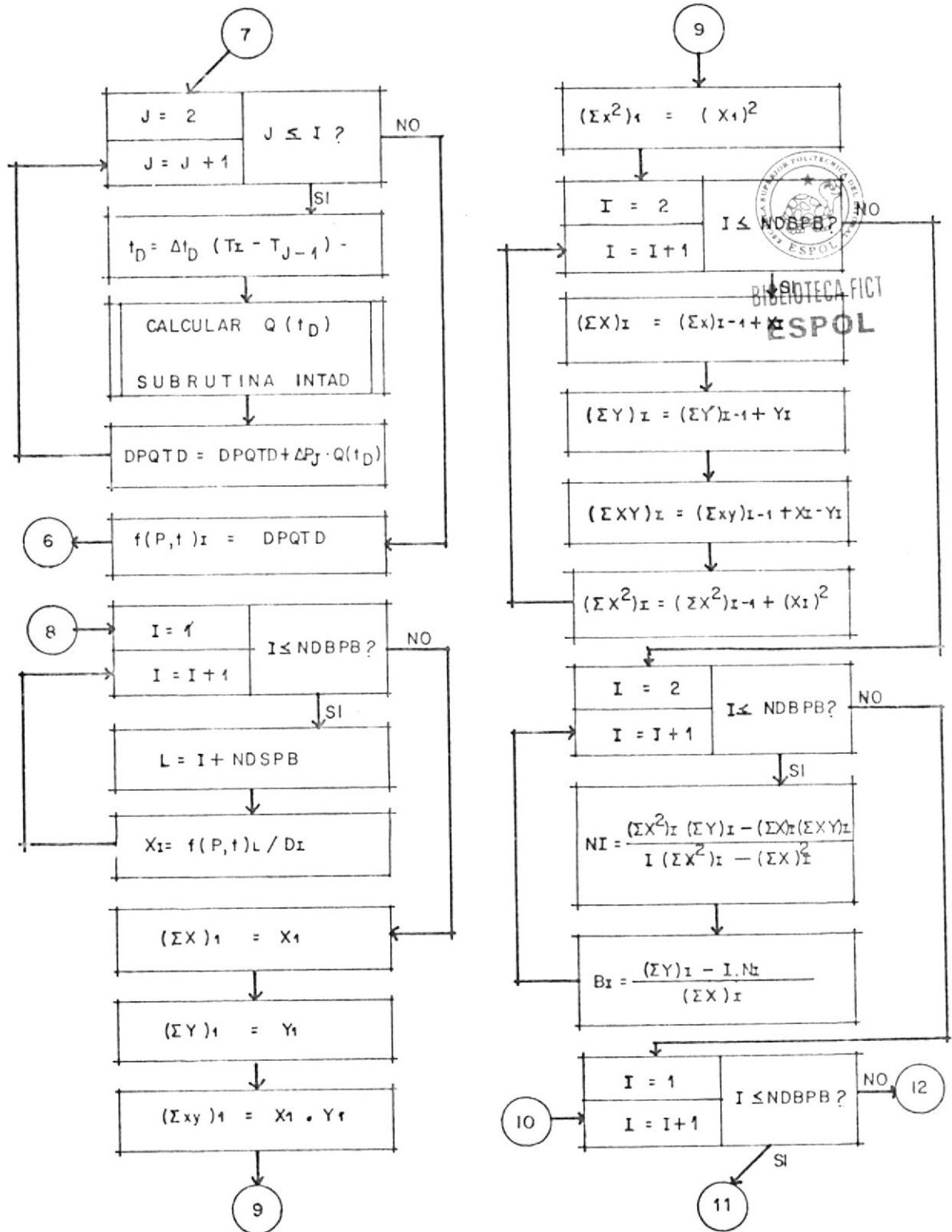
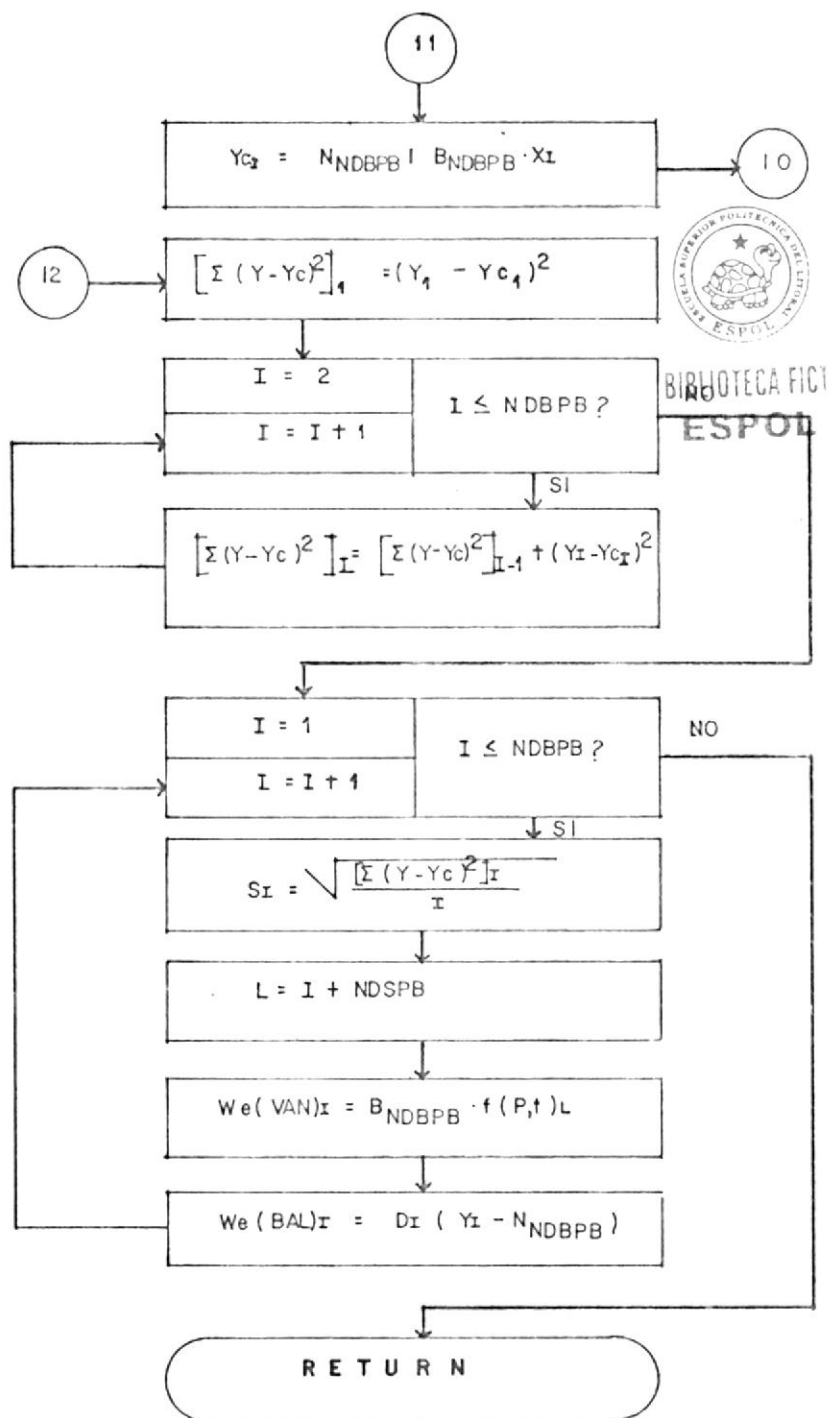


DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA VTM:







```

TOO1      MEMBER          DATE  82/01/10      TIME  10.57
PE  NAME          DISK ADDR          TOTAL  NUM TEXT/RECCRD  ATTRIBUTES  LINK ADDR/
VTM          108999/01A9C7      21/0015      96/60      00000000      157/00

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07      82/01/09  00:15
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
3571 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```

PROCESS OBJECT(R,LIB(TOO1)),NOSOURCE,NOHALT,MAP

```

```

--- SUBROUTINA QUE CALCULA N Y B POR EL METODO VTM.

```

```

SUBROUTINE VTM
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```

```

--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
--- UTILIZADAS.

```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT2(50),DS(50),SN(50),RED(2
+0),CN(20,20),DELT
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SW,CF,C4,CO,DT,NRED,NCN,ND,NOSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M
DIMENSION SUX(50),SUY(50),SUXY(50),SUX2(50),SUYS(50)

```

```

--- SELECCION DEL TIPO DE ACUIFERO

```

```

GO TO(1,4),JUEZ1

```

```

--- CALCULO DEL TIEMPO ADIMENSIONAL (TD), FUNCION ADIMENSIONAL (FTD) Y
--- DE LA SUMATORIA DEL PRODUCTO DP*FTD (SUMAT) PARA ACUIFEROS DE TIPO
--- LINEAL.

```

```

1 TD=DELT*T(1)
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
SUMAT(1)=DP(1)*FTD
DO 3 I=2,ND
TD=DELT*T(I)
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
DPFTD=DP(I)*FTD
DO 2 J=2,I
TD=DELT*(T(I)-T(J-1))
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
2 DPFTD=DPFTD+DP(J)*FTD
3 SUMAT(I)=DPFTD
GO TO 7

```

```

--- CALCULO DEL TIEMPO ADIMENSIONAL (TD), FUNCION ADIMENSIONAL (OTD) Y

```



BIBLIOTECA FICT U-
ESPOL

C---- DE LA SUMATORIA DEL PRODUCTO $DP*QTD$ (SUMAT) PARA ACUIFEROS DE TIPO
C---- RADIAL.

```

4 TD=DELT*T(1)
  CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
  SUMAT(1)=DP(1)*QTD
  DO 6 I=2,ND
    TD=DELT*T(I)
    CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
    DPQTD=DP(I)*QTD
    DO 5 J=2,I
      TD=DELT*(T(I)-T(J-1))
      CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
    5 DPQTD=DPQTD+DP(J)*QTD
  6 SUMAT(I)=DPQTD

```

C---- CALCULO DEL PARAMETRO X.

```

7 DO 8 I=1,NDBPB
  L=I+NDSPB
  8 X(I)=SUMAT(L)/DENOM(I)

```

C---- CALCULO DE LOS PARAMETROS SUX, SUY, SUXY, SUX2, UTILIZADOS
C---- CALCULO DE N Y B.

```

SUX(1)=X(1)
SUY(1)=Y(1)
SUXY(1)=X(1)*Y(1)
SUX2(1)=X(1)**2
DO 9 I=2,NDBPB
  SUX(I)=SUX(I-1)+X(I)
  SUY(I)=SUY(I-1)+Y(I)
  SUXY(I)=SUXY(I-1)+X(I)*Y(I)
  9 SUX2(I)=SUX2(I-1)+X(I)**2

```

C---- CALCULO DE N Y B.

```

DO 10 I=2,NDBPB
  N(I)=(SUX2(I)*SUY(I)-SUX(I)*SUXY(I))/(SUX2(I)*I-SUX(I)**2)
  10 B(I)=(SUY(I)-I*N(I))/SUX(I)

```

C---- CALCULO DEL PARAMETRO YC.

```

DO 11 I=1,NDBPB
  11 YC(I)=N(NDBPB)+B(NDBPB)*X(I)

```

C---- CALCULO DEL PARAMETRO SUYS UTILIZADO PARA EL CALCULO DE LA DESVIA-
C---- CION STANDARD.

```

SUYS(1)=(Y(1)-YC(1))**2
DO 12 I=2,NDBPB
  12 SUYS(I)=SUYS(I-1)+(Y(I)-YC(I))**2

```

C---- CALCULO DE LA DESVIACION STANDARD (S) Y DE LAS INTRUSIONES DE AGUA
C---- USANDO LA ECUACION DE VAN EVERDINGEN Y HURST (WEVAN) Y USANDO LA



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

C---- ECUACION DE BALANCE DE MATERIALES (WEBAL).

```

DO 13 I=1,NDSPB
S(I)=SORT(SOYS(I)/I)
L=I+NDSPB
WEVAN(I)=J(NDSPB)*SUMAT(L)
13 WEBAL(I)=DENOM(I)*(Y(I)-N(NDSPB))
RETURN
END

```

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399		P	DCU0190	00400	031F	00799	
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199		BT	DCU0430	01200	063F	01599	
?? BG	DCU0640	01600	07CF	01999		RP	DCU0700	02000	095F	02399	
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799		WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199	
?? WI	DCU0C80	03200	0E0F	03599		GI	DCU0E10	03600	0F9F	04799	
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399		DP	DCU1130	04400	12BF	05599	
?? SUMAT	DC 12C0	04800	144F	05199		DENOM	DCU1450	05200	150F	06399	
?? X	DC 15E0	05600	176F	05999		Y	DCU1770	06000	18FF	06399	
?? YC	DC 1900	06400	1A8F	05799		N	DC 1A90	06800	1C1F	07799	
?? B	DC 1C20	07200	1DAF	07599		S	DC 1080	07600	1F3F	08799	
?? WEVAN	DC 1F40	08000	20CF	08399		WEBAL	DC 20D0	08400	225F	08799	
?? DELT2	DCU2260	08300	23EF	09199		DS	DCU23F0	09200	257F	09599	
?? SN	DCU2580	09600	270F	09999		RED	DC 2710	10000	27AF	10159	
?? CN	DCU2730	10160	342F	13359		DLT	DCU3430	13360			
?? PI	DCU3438	13368				PCAPI	DCU3440	13376			
?? BTI	DCU3448	13384				BGI	DCU3450	13392			
?? RSI	DCU3458	13400				M	DCU3460	13408			
?? SW	DCU3468	13416				CF	DCU3470	13424			
?? CW	DCU3478	13432				CO	DCU3480	13440			
?? DT	DCU3488	13448				NRED	ICU3490	13456			
?? NCN	ICU3494	13460				ND	ICU3498	13464			
?? NDSPB	ICU349C	13468				NDSPB	ICU34A0	13472			
?? NDEL	ICU34A4	13476				DSMIN	DCU34A8	13480			
?? DSMAX	DCU34B0	13488				SNMIN	DCU34B8	13496			
?? SNMAX	DCU34C0	13504				ICONT	ICU34C8	13512			
?? NUM	ICU34CC	13516				JUEZ1	ICU34D0	13520			
?? JUEZ2	ICU34D4	13524				JUEZ3	ICU34D8	13528			
?? JUEZ4	ICU34DC	13532				II	IC 34E0	13536			
?? JJ	ICU34E4	13540				SUX	D 0006	00006	0195	00405	
?? SUY	D 0195	00405	0325	00805		SUXY	D 0326	00806	0485	01205	
?? SUX2	D 0486	01206	0645	01605		SUYS	D 0646	01606	07D5	02005	
?? TD	D 07D6	02006				FTD	D 07DE	02014			
?? I	I 07E6	02022				DPFTD	D 07EA	02026			
?? J	I 07F2	02034				QTD	D 07F6	02038			
?? DPQTD	D 07FF	02046				L	I 0806	02054			



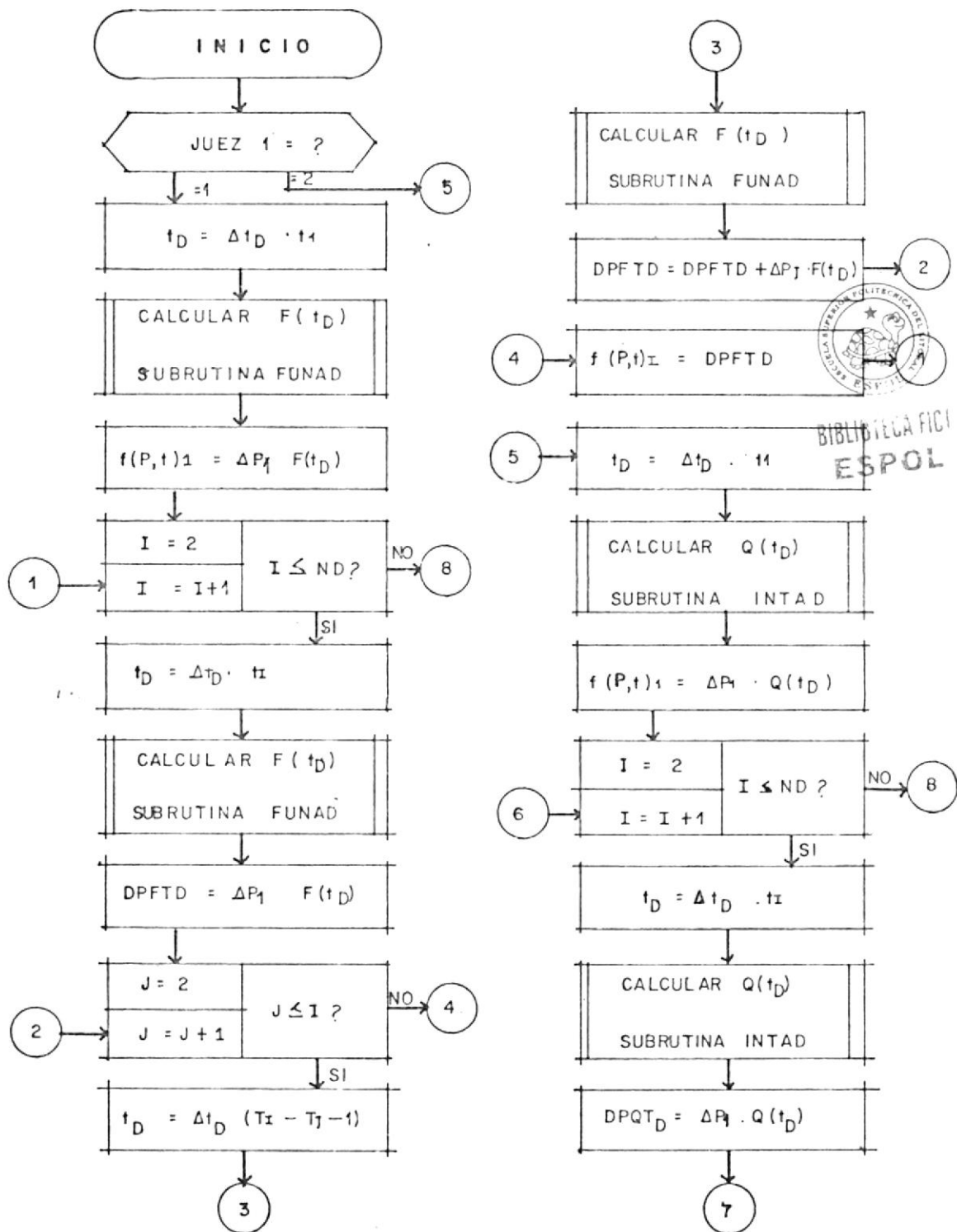
BIBLIOTECA
ESPOL

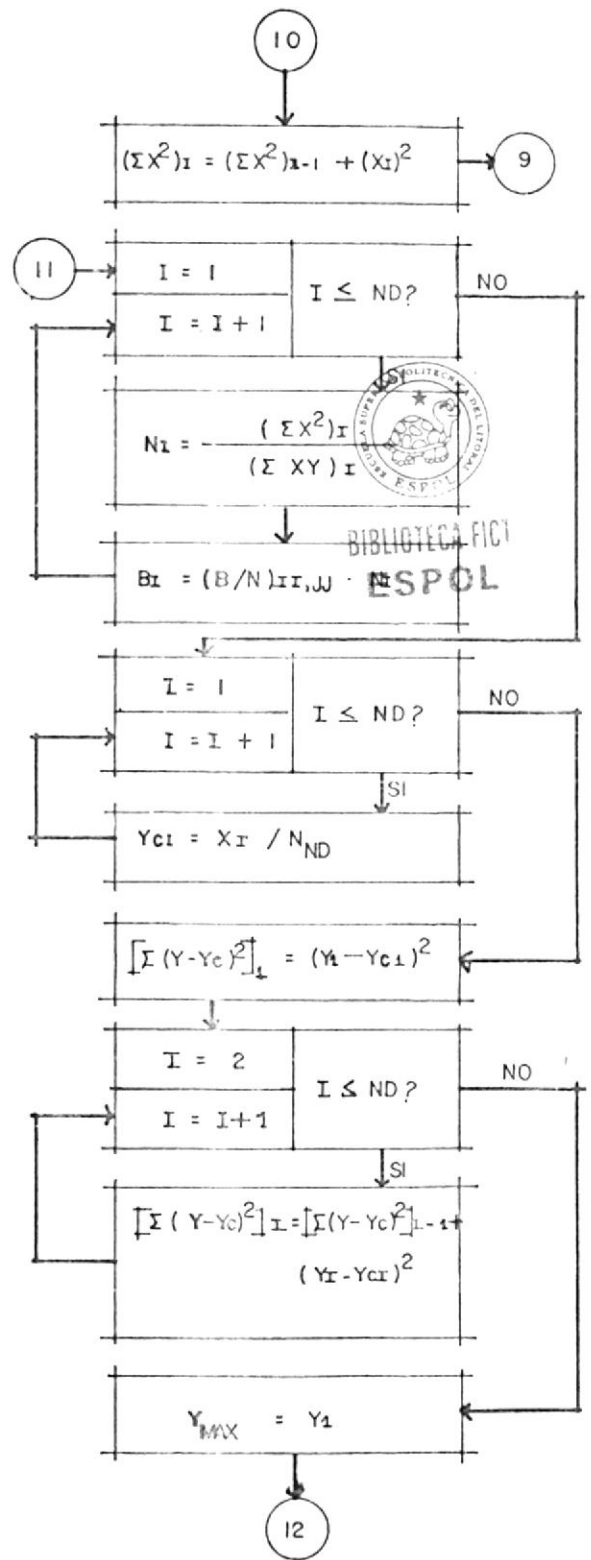
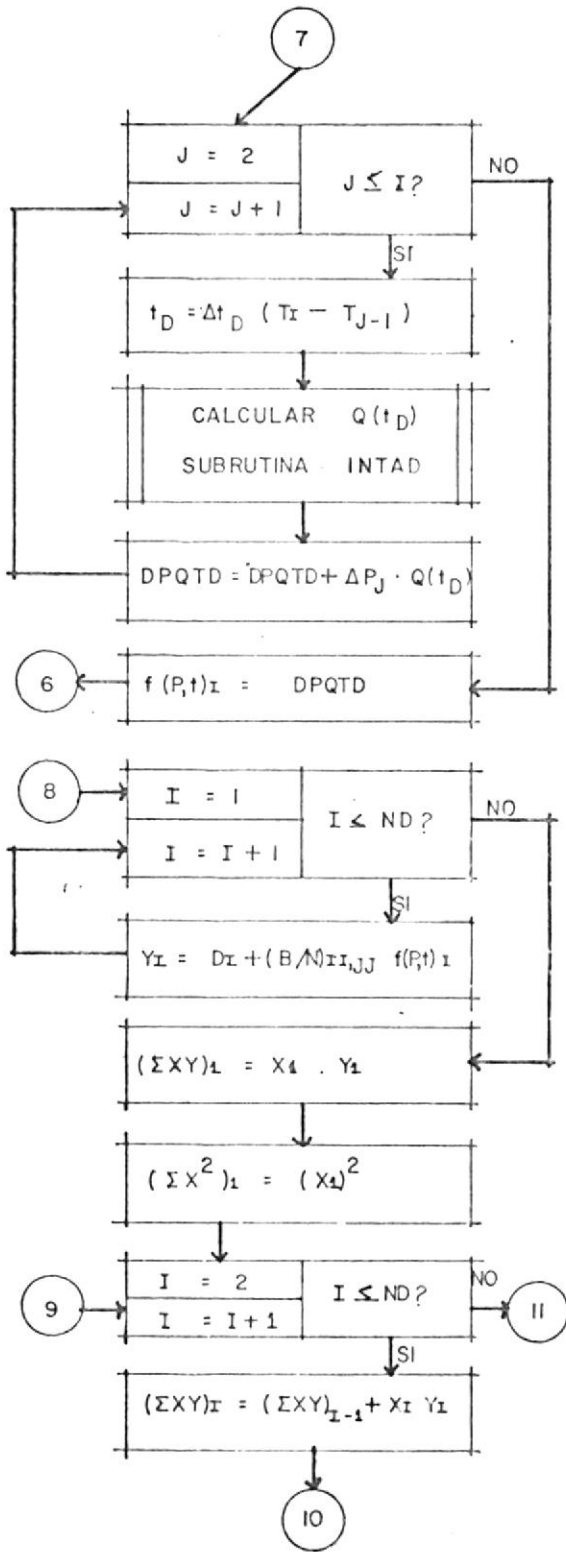
```

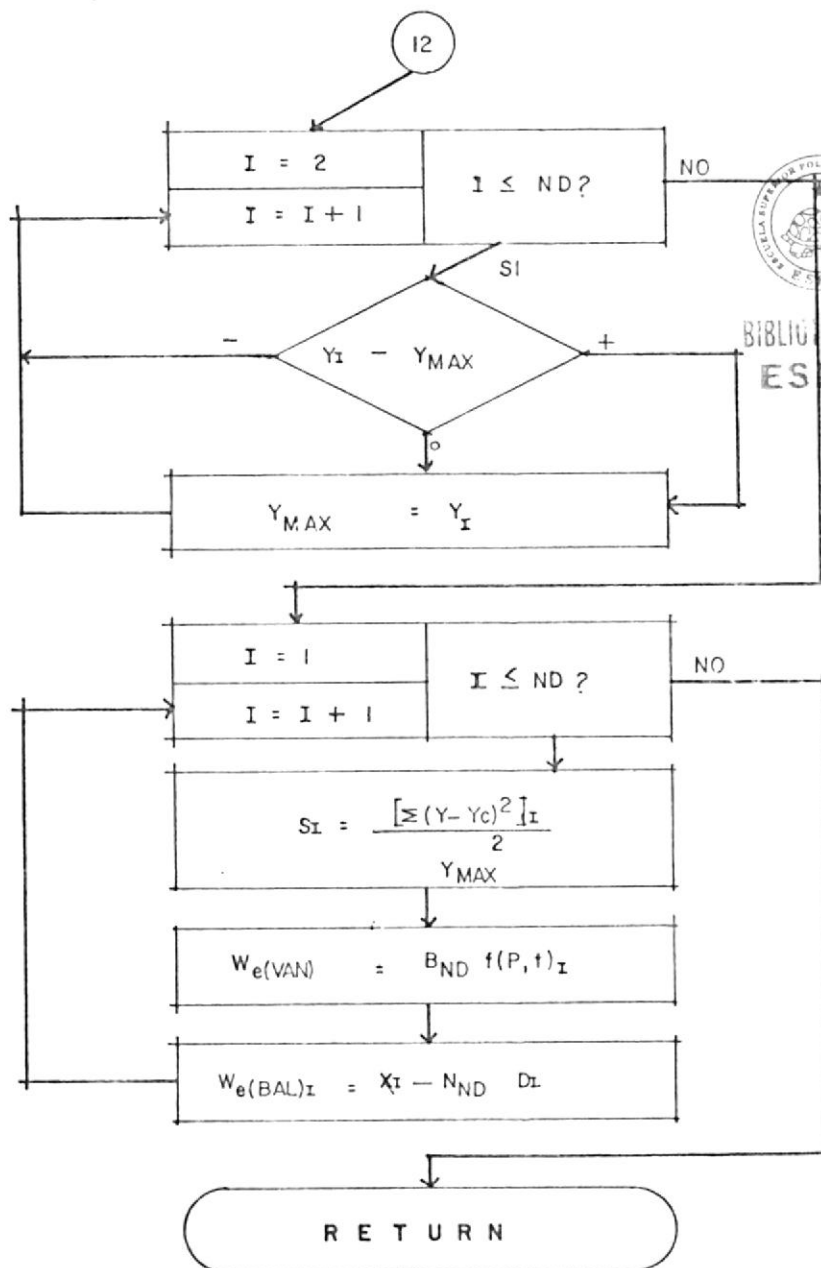
?? FORT-0098 4 UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP
??SYS-3133 I VTM MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER
?? T001 IS THE LIBRARY NAME
?? 11 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS
?? 020 CATEGORY NUMBER
??SYS-3135 I VTM MODULE'S CODE LENGTH IS
?? 3571 DECIMAL

```

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA MCEWEN:







BIBLIOTECA FIC
ESPOL

```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 10.58
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
MCEWEN 109031/01A9F7 20/0014 96/60 00000000 158/000

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:20
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
2631 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```
PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP
```

```
--- SUBROUTINA QUE CALCULA N Y B POR EL METODO DE MC EWEN.
```

```

SUBROUTINE MCEWEN
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```



```
--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS UTILIZADAS.
```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),PP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),SIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELTA2(50),DS(50),SN(50),RED(2
+0),CN(20,20),DELT
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SW,CF,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICCNT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M
DIMENSION SUXY(50),SUX2(50),SUYS(50)

```

```
--- SELECCION DEL TIPO DE ACUIFERO.
```

```
GO TO(1,4),JUEZ1
```

```
--- CALCULO DEL TIEMPO ADIMENSIONAL (TD), FUNCION ADIMENSIONAL (FTD) Y
--- DE LA SUMATORIA DEL PRODUCTO DP*FTD (SUMAT) PARA ACUIFEROS DE TIPO
--- LINEAL.
```

```

1 TD=DELT*T(1)
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
SUMAT(1)=DP(1)*FTD
DO 3 I=2,ND
TD=DELT*T(I)
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
DPFTD=DP(I)*FTD
DO 2 J=2,I
TD=DELT*(T(I)-T(J-1))
CALL FUNAD(II,TD,FTD)
2 DPFTD=DPFTD+DP(J)*FTD
3 SUMAT(I)=DPFTD
GO TO 7

```

```
--- CALCULO DEL TIEMPO ADIMENSIONAL (TD), FUNCION ADIMENSIONAL (QTD) Y
```


---- DE LA SUMATORIA DEL PRODUCTO $DP*QTD$ (SUMAT) PARA ACUIFEROS DE TIPO
 ---- RADIAL.

```

4 TD=DELT*T(1)
CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
SUMAT(1)=DP(1)*QTD
DO 6 I=2,ND
  TD=DELT*T(I)
  CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
  DPQTD=DP(I)*QTD
DO 5 J=2,I
  TD=DELT*(T(I)-T(J-1))
  CALL INTAD(RED(II),TD,QTD)
5 DPQTD=DPQTD+DP(J)*QTD
6 SUMAT(I)=DPQTD
  
```

---- CALCULO DEL PARAMETRO Y.

```

7 DO 8 I=1,ND
  8 Y(I)=DENOM(I)+CN(II,II)*SUMAT(I)
  
```

---- CALCULO DE LOS PARAMETROS SUXY, SUX2 UTILIZADOS PARA EL CALCULO DE
 ---- N Y B.

```

SUXY(1)=X(1)*Y(1)
SUX2(1)=X(1)**2
DO 9 I=2,ND
  SUXY(I)=SUXY(I-1)+X(I)*Y(I)
9 SUX2(I)=SUX2(I-1)+X(I)**2
  
```

---- CALCULO DE N Y B.

```

DO 10 I=1,ND
  N(I)=SUX2(I)/SUXY(I)
10 B(I)=CN(II,II)*N(I)
  
```

---- CALCULO DEL PARAMETRO YC.

```

DO 11 I=1,ND
  11 YC(I)=X(I)/N(ND)
  
```

---- CALCULO DEL PARAMETRO SUYS UTILIZADO PARA EL CALCULO DE LA SUMA
 ---- NORMALIZADA.

```

SUYS(1)=(Y(1)-YC(1))**2
DO 12 I=2,ND
  12 SUYS(I)=SUYS(I-1)+(Y(I)-YC(I))**2
  
```

---- CALCULO DEL MAYOR VALOR DE LOS Y CALCULADOS (YMAX).

```

YMAX=Y(1)
DO 14 I=2,ND
  IF(Y(I)-YMAX)14,13,13
13 YMAX=Y(I)
14 CONTINUE
  
```



BIBLIOTECA DEL
 ESPOL

----- CALCULO DE LA SUMA NORMALIZADA (S) Y DE LAS INTRUSIONES DE AGUA U-
 ----- SANDO LA ECUACION DE VAN EVERDINGEN Y HURST (WEVAN) Y USANDO LA E-
 ----- CUACION DE BALANCE DE MATERIALES (WEBAL).

```

DO 15 I=1,ND
S(I)=SUYS(I)/YMAX**2
WEVAN(I)=B(ND)*SUMAT(I)
15 WEBAL(I)=X(I)-N(ND)*DENOM(I)
RETURN
END

```

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

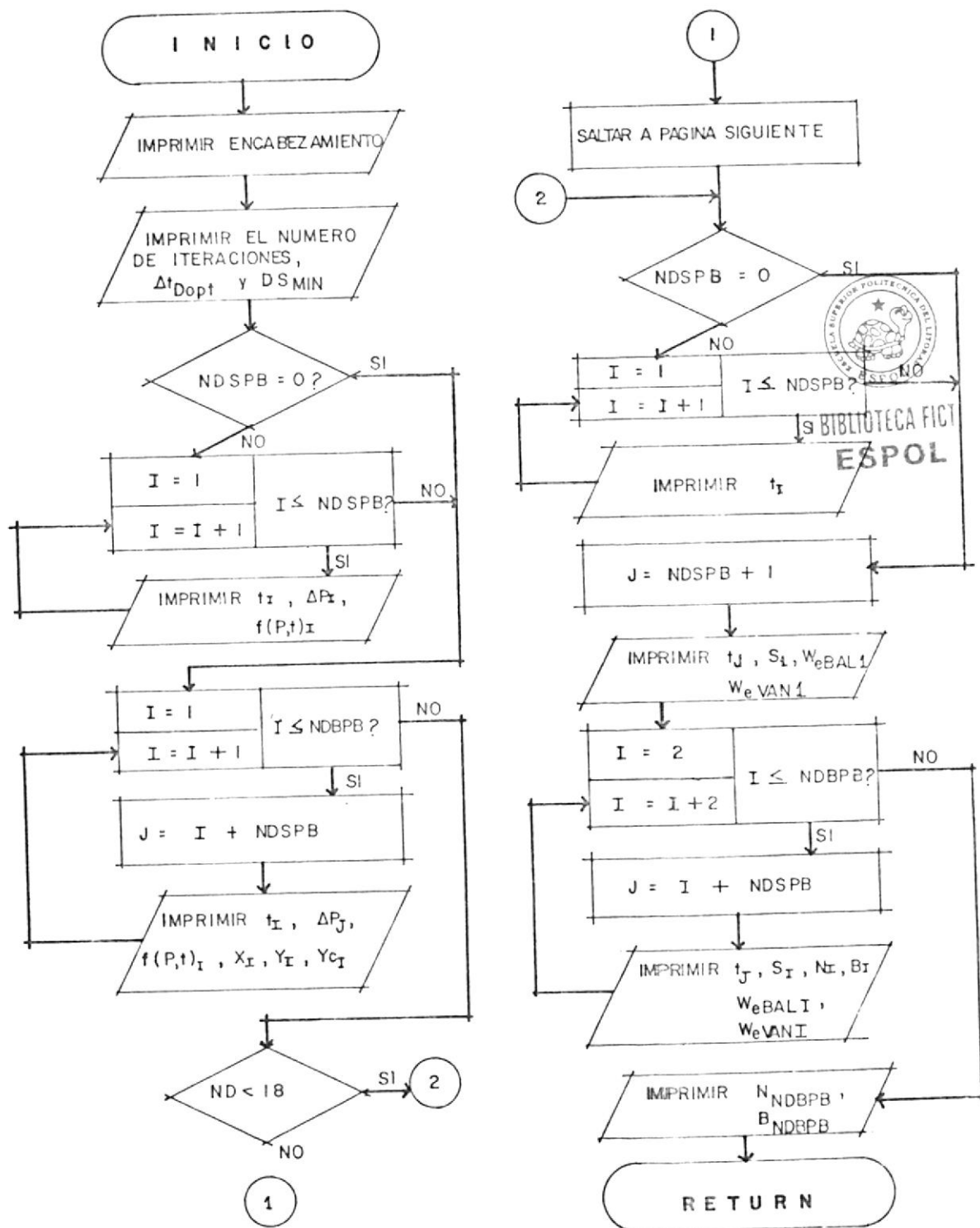
?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399		P	DCU0190	00400	031F	00799	
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199		BT	DCU0480	01200	063F	01599	
?? BG	DCU0640	01600	07CF	01999		RP	DCU0700	02000	095F	02399	
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799		WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199	
?? WI	DCU0C80	03200	0E0F	03599		GI	DCU0E10	03600	0F9F	03999	
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399		DP	DCU1130	04400	12BF	04799	
?? SUMAT	DC 12C0	04800	144F	05199		DENOM	DCU1450	05200	150F	05599	
?? X	DCU15E0	05600	176F	05999		Y	DC 1770	06000	19FF	06399	
?? YC	DC 1900	06400	1A8F	06799		N	DC 1A90	06800	1C1F	07199	
?? B	DC 1C20	07200	1DAF	07599		S	DC 1D80	07600	1F3F	07999	
?? WEVAN	DC 1F40	08000	20CF	08399		WEBAL	DC 20D0	08400	225F	08799	
?? DELT2	DCU2260	08800	23EF	09199		DS	DCU23F0	09200	257F	09599	
?? SN	DCU2580	09600	270F	09999		RED	DC 2710	10000	27AF	10159	
?? CN	DCU2700	10160	342F	13359		DELT	DCU3430	13360			
?? PI	DCU3438	13368				PCAPI	DCU3440	13376			
?? BTI	DCU3448	13384				BGI	DCU3450	13392			
?? RSI	DCU3458	13400				M	DCU3460	13408			
?? SW	DCU3468	13416				CF	DCU3470	13424			
?? CW	DCU3478	13432				CD	DCU3480	13440			
?? DT	DCU3488	13448				NRED	ICU3490	13456			
?? NCN	ICU3494	13460				ND	ICU3498	13464			
?? NDSPB	ICU349C	13468				NDBPB	ICU34A0	13472			
?? NDELT	ICU34A4	13476				DSMIN	DCU34A8	13480			
?? DSMAX	DCU34B0	13488				SNMIN	DCU34B8	13496			
?? SNMAX	DCU34C0	13504				ICONT	ICU34C8	13512			
?? NUM	ICU34CC	13516				JUEZ1	ICU34D0	13520			
?? JUEZ2	ICU34D4	13524				JUEZ3	ICU34D8	13528			
?? JUEZ4	ICU34DC	13532				II	IC 34E0	13536			
?? JJ	ICU34E4	13540				SUXY	D 0006	00006	0195	00405	
?? SUX2	D 0196	00406	0325	00805		SUYS	D 0326	00806	0485	01205	
?? TD	D 0486	01206				FTD	D 048E	01214			
?? I	I 04C6	01222				DPFTD	D 04CA	01226			
?? J	I 04D2	01234				QTD	D 04D6	01238			
?? DPQTD	D 04DE	01246				YMAX	D 04E6	01254			

```

?? FORT-0098 4 UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP
??SYS-3133 I MCEWEN MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER
?? T001 IS THE LIBRARY NAME
?? 11 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS
?? 020 CATEGORY NUMBER
??SYS-3135 I MCEWEN MODULE'S CODE LENGTH IS
?? 2631 DECIMAL

```

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBRUTINA RESULT1



TOO1	MEMBER	DATE	82/01/10	TIME	11.01	
RE	NAME	DISK ADDR	TOTAL	NUM TEXT/RECORD	ATTRIBUTES	LINK ADDR/
	RESULT1	109087/01AA1F	23/0017	96/60	00000000	161/00/

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:40
 001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
 4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
 2033 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

PROCESS OBJECT(P,LIO(TOO1)),NDSOURCE,NOHALT,MAP

--- SUBROUTINA QUE IMPRIME LOS RESULTADOS FINALES DE N Y B CALCULADOS
 --- POR EL METODO VTM.

SUBROUTINE RESULT1
 IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
 GENERIC

--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
 --- TILIZADAS.

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT2(50),DS(50),SN(50),RED(20),CN(20,20),DELT
 COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SW,CF,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB,PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
 REAL*8 N,NP,M

--- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO.

GO TO(1,6),JUEZ1
 1 GO TO(2,4),II
 2 WRITE(3,3)
 3 FORMAT(1H1/T26,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL FINITO')
 GO TO 11
 4 WRITE(3,5)
 5 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL INFINITO')
 GO TO 11
 6 IF(RED(II)-32.)7,9,9
 7 WRITE(3,8)RED(II)
 8 FORMAT(1H1/T19,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL FINITO. RED =',F7.2
 +)
 GO TO 11
 9 WRITE(3,10)
 10 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL INFINITO')
 11 WRITE(3,12)
 12 FORMAT(17,32(' '), 'METODO VTM', 33(' ')/)

--- ESCRITURA DEL NUMERO DE ITERACIONES (ICONT) REALIZADAS PARA OBTENER EL TD/T OPTIMO (DELT) PARA EL CUAL OCURRE LA DESVIACION STANDARD MINIMA (DSMIN). ESCRITURA DE DELT Y DSMIN.



```

WRITE(3,13) ICONT, DELT, DDMIN
13 FORMAT(T7, 'NUMERO DE ITERACIONES', T40, I2/T7, 'TD/T OPTIMO (1/MESES)
+ ', T38, E15.7/T7, 'DESVIACION STANDARD MINIMA (BN)', T38, E15.7/)

```

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES CALCULADAS T, DP, SUMAT,
C---- X, Y, YC.

```

WRITE(3,14)
14 FORMAT(T19, 'DELTA PCAP SUMATORIA'/T9, 'TIEMPO', T20, 'PROMEDIO', T3
+2, 'DP*FUNC. AD.', T50, 'X', T63, 'Y', T75, 'YC'//T7, '(T, MESES) (DP, LP
+C) (SUMAT, LPC) (X, LPC-BN/BY) (Y, BN) (YC, BN)'/T7, 10(' '),
+2X, 11(' '), 2X, 11(' '), 1X, 13(' '), 1X, 11(' '), 2X, 11(' '))

```

C---- VERIFICACION DE QUE NO EXISTEN DATOS DE PRODUCCION QUE NO INTERVI-
C---- NIERON EN EL CALCULO DE N Y B POR EL METODO VTM.

```
IF(NDSPB.E0.0)GO TO 17
```

C---- ESCRITURA DE LOS RESULTADOS DE T, DP, SUMAT, X, Y, YC.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

```

DO 15 I=1, NDSPB
15 WRITE(3,15) T(I), DP(I), SUMAT(I)
16 FORMAT(E16.4, 2E13.5)
17 DO 18 I=1, NDBPB
J=I+NDSPB
18 WRITE(3,19) T(J), DP(J), SUMAT(J), X(I), Y(I), YC(I)
19 FORMAT(E16.4, 5E13.5)

```

C---- VERIFICACION DE QUE TODOS LOS RESULTADOS PUEDAN ESCRIBIRSE EN LA
C---- MISMA PAGINA.

```

IF(ND.LT.19)GO TO 21
WRITE(3,20)
20 FORMAT(1H1)

```

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES CALCULADAS T, S, N, B,
C---- WLBAL Y WEVAN.

```

21 WRITE(3,22)
22 FORMAT(//T46, 'CONSTANTE INTRUSION INTRUSION'/T9, 'TIEMPO D
+ESVIACION VOLUMEN', 7X, 'DE LA ', 2(2X, 'DE AGUA POR')/T20, 'STAN
+DARD', 5X, 'ORIGINAL', 5X, 'INTRUSION', 3X, 'BALANCE DE VAN EVERDIN'/T
+32, 'DE PETROLEO DE AGUA MATERIALES GEN Y HURST'//T7, '(T, M
+ESES) (DS, BN)', 6X, '(N, BN) (B, BY/LPC) (WEBAL, BY) (WEVAN,
+ BY)'/T7, 10(' '), 2X, 11(' '), 2X, 11(' '), 2X, 11(' '), 2X, 11(' '), 2X, 11
+(' '))

```

C---- VERIFICACION DE QUE NO EXISTEN DATOS DE PRODUCCION QUE NO INTERVI-
C---- NIERON EN EL CALCULO DE N Y B POR EL METODO VTM.

```
IF(NDSPB.E0.0)GO TO 25
```

C---- ESCRITURA DE LOS RESULTADOS DE T, S, N, B, WEBAL Y WEVAN.

```

DU 23 I=1,NDSPB
23 WRITE(3,24)T(I)
24 FORMAT(E16.4)
25 J=NDSPB+1
WRITE(3,26)T(J),S(1),WEBAL(1),WEVAN(1)
26 FORMAT(E16.4,E13.5,26X,2E13.5)
DU 27 I=2,NDBPB
J=I+NDSPB
27 WRITE(3,19)T(J),S(I),N(I),B(I),WEBAL(I),WEVAN(I)

```

C---- ESCRITURA DEL N Y B FINAL.

```

WRITE(3,23)N(NDBPB),B(NDBPB)
23 FORMAT(///T7,'VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN
+)',E15.7/T7,'CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)',T60.5I
+5.7)
RETURN
END

```

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

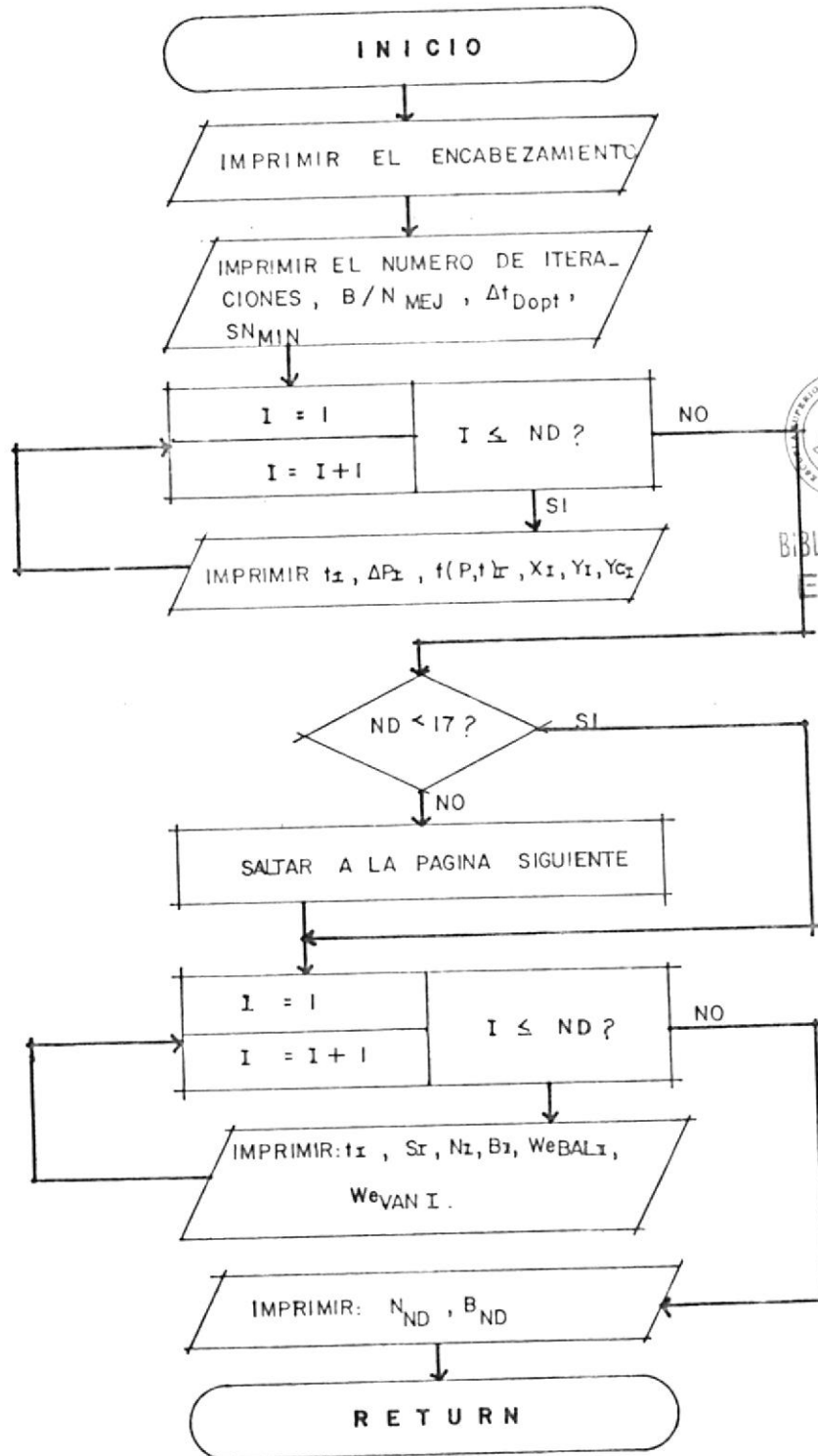
?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399	P	DCU0190	00400	031F	00799		
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199	BT	DCU0480	01200	063F	01599		
?? BG	DCU0540	01600	07CF	01999	RP	DCU0700	02000	095F	02399		
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799	WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199		
?? WI	DCU0C80	03200	0E0F	03599	GI	DCU0E10	03600	0E3F	03999		
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399	OP	DCU1130	04400	12BF	04799		
?? SUMAT	DCU12C0	04800	144F	05199	DENOM	DCU1450	05200	15DF	05599		
?? X	DCU15E0	05600	176F	05999	Y	DCU1770	06000	18FF	06399		
?? YC	DCU1900	06400	1A8F	06799	N	DCU1A90	06800	1C1F	07199		
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599	S	DCU1DB0	07600	1F3F	07999		
?? WEVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399	WEBAL	DCU20D0	08400	225F	08799		
?? DELT2	DCU2260	08800	23EF	09199	DS	DCU23F0	09200	257F	09599		
?? SN	DCU2580	09600	270F	09999	RED	DCU2710	10000	27AF	10159		
?? CN	DCU2780	10160	342F	13359	DELT	DCU3430	13360				
?? PI	DCU3438	13368			PCAP1	DCU3440	13376				
?? BTI	DCU3448	13384			BGI	DCU3450	13392				
?? RSI	DCU3458	13400			M	DCU3460	13408				
?? SW	DCU3468	13416			CF	DCU3470	13424				
?? CV	DCU3478	13432			CU	DCU3480	13440				
?? DT	DCU3488	13448			NRED	ICU3490	13456				
?? NCN	ICU3494	13460			ND	ICU3498	13464				
?? NDSPB	ICU349C	13468			NDBPB	ICU34A0	13472				
?? NDELT	ICU34A4	13476			DSMIN	DCU34A8	13480				
?? DSMAX	DCU34B0	13488			SNMIN	DCU34B8	13496				
?? SNMAX	DCU34C0	13504			ICONT	ICU34C3	13512				
?? NUM	ICU34CC	13516			JUEZ1	ICU34D0	13520				
?? JUEZ2	ICU34D4	13524			JUEZ3	ICU34D8	13528				
?? JUEZ4	ICU34DC	13532			II	ICU34E0	13536				
?? JJ	ICU34E4	13540			I	I	0006	00006			
?? J	I	000A	00010								

```

?? FORT-009B 4 UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP
??SYS-3133 I RESULT MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER
?? T001 IS THE LIBRARY NAME
?? 14 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS
?? 020 CATEGORY NUMBER

```

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUB RUTINA RESUL2 :



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 11.02
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
RESUL2 109110/01AA36 21/0015 96/60 00000000 141/00

```

```

IUM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:42
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
1773 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NDSOURCE,NUHALT,MAP

```

```

---- SUBROUTINA QUE IMPRIME LOS RESULTADOS FINALES DE N Y B CALCULADOS
---- POR EL METODO DE MC EWEN.

```

```

SUBROUTINE RESUL2
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```



BIBLIOTECA FICTICIA
UNIVERSIDAD DE SEVILLA
ESPOL

```

---- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
---- TILIZADAS.

```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT2(50),DS(50),SN(50),RED(2
+0),CN(20,20),DELT
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,S,C,F,C4,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M

```

```

---- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO.

```

```

GO TO(1,6),JUEZ1
1 GO TO(2,4),II
2 WRITE(3,3)
3 FORMAT(1H1/T26,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL FINITO')
GO TO 11
4 WRITE(3,5)
5 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL INFINITO')
GO TO 11
6 IF(RED(II)-32.)7,9,9
7 WRITE(3,8)RED(II)
8 FORMAT(1H1/T19,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL FINITO. RED =',F7.2
+)
GO TO 11
9 WRITE(3,10)
10 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL INFINITO')
11 WRITE(3,12)
12 FORMAT(T7,30(' '), 'METODO MC EWEN',31(' ')/)

```

```

---- ESCRITURA DEL NUMERO DE ITERACIONES (ICONT) REALIZADAS PARA OBTEN-
---- NER EL TD/T OPTIMO (DELT) PARA EL CUAL OCURRE LA SUMA NORMALIZADA
---- MINIMA (SNMIN) EN UN B/N ASUMIDO (CN). ESCRITURA DE CN, DELT Y

```


C---- SNMIN.

```

WRITE(3,13)ICONT,CN(II,JJ),DELT,SNMIN
13 FORMAT(T7,'NUMERO DE ITERACIONES',T32,I2/T7,'B/N (BY/LPC-BN)',T30,
+E15.7/T7,'TD/T OPTIMO (1/MESES)',T30,E15.7/T7,'SUMA NORMALIZADA MI
+NIMA',T30,E15.7/)

```

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES CALCULADAS T, DP, SUMAT,
C---- X, Y, YC.

```

WRITE(3,14)
14 FORMAT(T19,'DELTA PCAP SUMATORIA'/T9,'TIEMPO',T20,'PROMEDIO',T3
+2,'DP*FUNC.AD.',T50,'X',T63,'Y',T75,'YC'//T7,'(T, MESES) (DP, LP
+C) (SUMAT,LPC) (X, BY) (Y, BY/BN) (YC, BY/BN)'/T7,10('-'
+),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,11('-''))

```

C---- ESCRITURA DE LOS RESULTADOS DE T, DP, SUMAT, X, Y, YC.

```

DO 15 I=1,ND
15 WRITE(3,16)T(I),DP(I),SUMAT(I),X(I),Y(I),YC(I)
16 FORMAT(E16.4,5E13.5)

```



C---- VERIFICACION DE QUE TODOS LOS RESULTADOS PUEDAN ESCRIBIRSE EN LA
C---- MISMA PAGINA.

```

IF(ND.LT.17)GO TO 18
WRITE(3,17)
17 FORMAT(1H1)

```

C---- ESCRITURA DE LOS NOMBRES DE LAS VARIABLES CALCULADAS T, S, N, B,
C---- WEBAL Y WEVAN.

```

18 WRITE(3,19)
19 FORMAT(//T46,'CONSTANTE INTRUSION INTRUSION'/T9,'TIEMPO
+ SUMA VOLUMEN',7X,'DE LA ',2(2X,'DE AGUA POR')/T19,'NORM
+ALIZADA ORIGINAL',5X,'INTRUSION',3X,'BALANCE DE VAN EVERDIN'/T
+32,'DE PETROLEO DE AGUA MATERIALES GEN Y HURST'//T7,'(T, M
+ES) (SN, ----)',4X,'(N, BN) (B, BY/LPC) (WEBAL, BY) (WEVA
+N, BY)'/T7,10('-''),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,11('-''),2X,
+11('-''))

```

C---- ESCRITURA DE LOS RESULTADOS DE T, S, N, B, WEBAL Y WEVAN.

```

DO 20 I=1,ND
20 WRITE(3,16)T(I),S(I),N(I),B(I),WEBAL(I),WEVAN(I)

```

C---- ESCRITURA DEL N Y B FINAL.

```

WRITE(3,21)N(ND),B(ND)
21 FORMAT(///T7,'VOLUMEN ORIGINAL DE PETROLEO EN EL YACIMIENTO (N, BN
+)',E15.7/T7,'CONSTANTE DE LA INTRUSION DE AGUA (B, BY/LPC)',T60,E1
+5.7)

```

RETURN

END

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

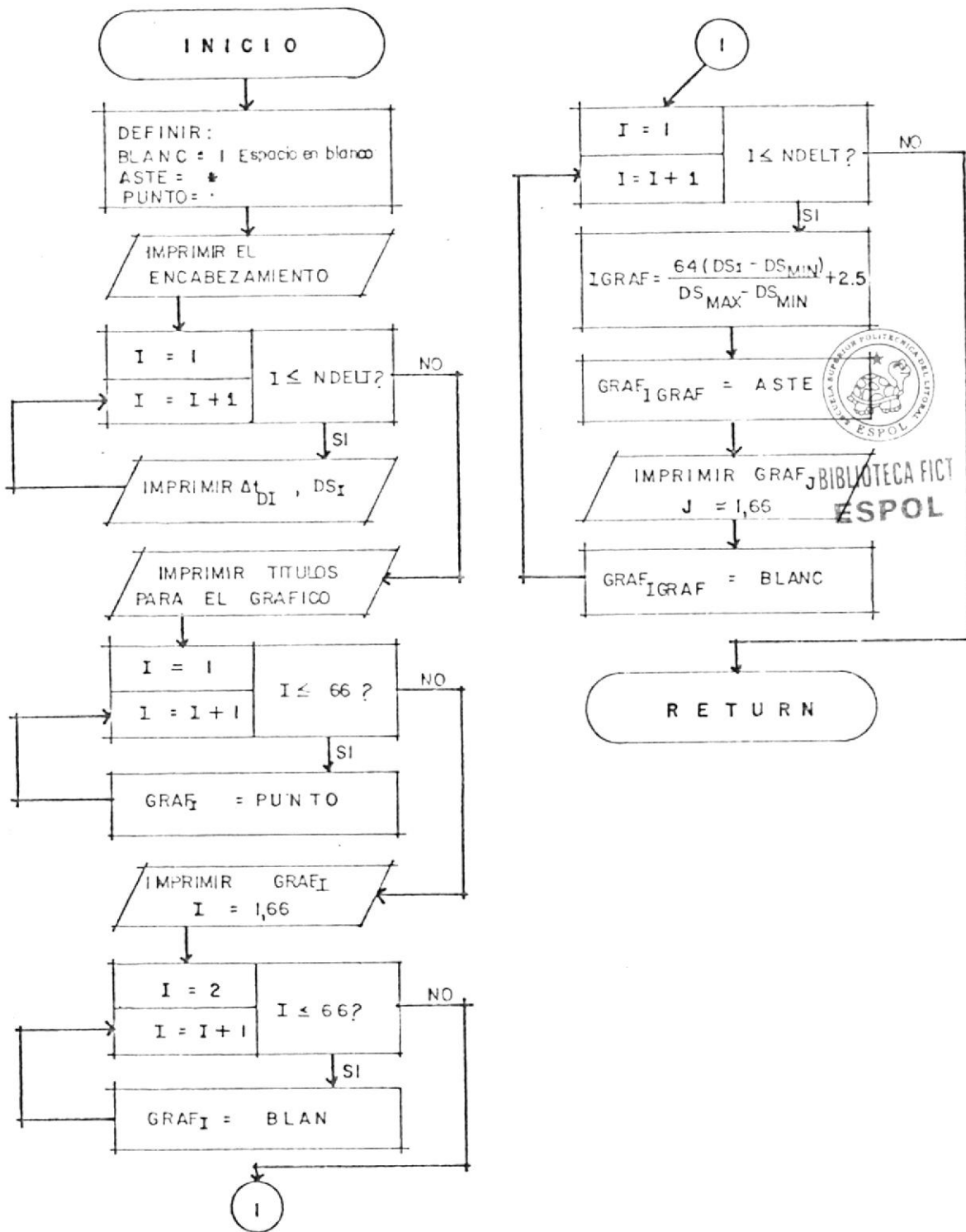
NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	019F	00399		P	DCU0190	00400	031F	00799	
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199		BT	DCU0480	01200	053F	01599	
?? BG	DCU0540	01600	07CF	01999		RP	DCU0700	02000	095F	02399	
?? NP	DCU0950	02400	0AEF	02799		WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199	
?? WI	DCU0C80	03200	0E9F	03599		GI	DCU0E10	03600	0F9F	03999	
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399		DP	DCU1130	04400	12BF	04799	
?? SUMAT	DCU12C0	04800	144F	05199		DENOM	DCU1450	05200	15DF	05599	
?? X	DCU15E0	05600	176F	05999		Y	DCU1770	06000	18FF	06399	
?? YC	DCU1900	06400	1A8F	06799		N	DCU1A90	06800	1C1F	07199	
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599		S	DCU1D80	07600	1F3F	07999	
?? WCVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399		WEBAL	DCU20D0	08400	225F	08799	
?? DELT2	DCU2260	08800	23FF	09199		DS	DCU23F0	09200	257F	09599	
?? SN	DCU2580	09500	270F	09999		RED	DCU2710	10000	27AF	10159	
?? CN	DCU2750	10160	342F	13359		DELT	DCU3430	13360			
?? PI	DCU3438	13368				PCAPI	DCU3440	13376			
?? BTI	DCU3448	13384				BGI	DCU3450	13392			
?? RSI	DCU3458	13400				M	DCU3460	13408			
?? SW	DCU3468	13416				CF	DCU3470	13424			
?? CW	DCU3478	13432				CU	DCU3480	13440			
?? DT	DCU3488	13448				NRED	DCU3490	13456			
?? NCN	DCU3494	13460				ND	DCU3498	13464			
?? NDSPB	DCU349C	13468				NDDPB	DCU34A0	13472			
?? NDELT	DCU34A4	13476				DSMIN	DCU34A8	13480			
?? DSMAX	DCU34B0	13488				SNMIN	DCU34B8	13496			
?? SNMAX	DCU34C0	13504				ICONT	DCU34C8	13512			
?? NUM	DCU34CC	13516				JUEZ1	DCU34D0	13520			
?? JUEZ2	DCU34D4	13524				JUEZ3	DCU34D8	13528			
?? JUEZ4	DCU34DC	13532				II	DCU34E0	13536			
?? JJ	DCU34E4	13540				I	I	0006	00006		



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

?? FORT-0098 4 UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP
 ??SYS-3133 I RESULT2 MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER
 ?? TO01 IS THE LIBRARY NAME
 ?? 13 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS
 ?? 020 CATEGORY NUMBER
 ??SYS-3135 I RESULT2 MODULE'S CODE LENGTH IS
 ?? 1773 DECIMAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA GRAF1:



```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 10.59
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/M
GRAF1 109051/01A9FB 18/0012 96/60 00000000 126/007

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:24
001 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
1912 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```
PROCESS OBJECT(R,LID(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP
```

```

--- SUBROUTINA QUE IMPRIME Y GRAFICA LAS DESVIACIONES STANDARD VS LOS
--- TD/T

```

```

SUBROUTINE GRAF1
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

```

--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS
--- UTILIZADAS.

```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT(50),DS(50),SN(50),RED(20
+),CN(20,20),DELT2
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SW,CF,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M
DIMENSION GRAF(66)

```

```

--- DEFINICION DE PARAMETROS UTILIZADOS PARA EL GRAFICO

```

```
DATA BLAN,ASTE,PUNTO/' ','*','.', '/'
```

```

--- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO

```

```

GO TO(1,6),JUEZ1
1 GO TO(2,4),II
2 WRITE(3,3)
3 FORMAT(1H1/T26,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL FINITO')
GO TO 11
4 WRITE(3,5)
5 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL INFINITO')
GO TO 11
6 IF(RED(II)-32.)7,9,9
7 WRITE(3,8)RED(II)
8 FORMAT(1H1/T19,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL FINITO. RED =',F7.2
+)
GO TO 11
9 WRITE(3,10)
10 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL INFINITO')
11 WRITE(3,12)

```

```

12 FORMAT(T7,32('-'),'METODO VTM',33('-'))//T11,'RESULTADOS DE DESVIAC
+ION STANDARD PARA LOS DISTINTOS TD/T ASUMIDOS')
  IF(NUM.EQ.1)GO TO 14
  WRITE(3,13)
13 FORMAT(T33,'EN LA ULTIMA ITERACION'//)
  GO TO 16
14 WRITE(3,15)ICONT
15 FORMAT(T35,'EN LA ITERACION ',I2//)
16 WRITE(3,17)
17 FORMAT(T21,'TD/T (1/MESES)',T49,'DESVIACION STANDARD (BN)'//T16,24(
+ '-'),T49,24('-'))

```

C---- ESCRITURA DE LOS TD/T Y DE LAS DESVIACIONES STANDARD.

```

DO 18 I=1,NDELT
18 WRITE(3,19)I,DELT(I),I,DS(I)
19 FORMAT(T16,'TD/T(',I2,') =',E14.6,T50,'DS(',I2,') =',E14.6)

```

C---- GRAFICO DE LOS TD/T VS LAS DESVIACIONES STANDARD.

```

WRITE(3,20)
20 FORMAT(//T7,'GRAFICO'//T7,7('-'))//T37,'DESVIACION STANDARD'
DO 21 I=1,56
21 GRAF(I)=PUNTO
  WRITE(3,22)GRAF
22 FORMAT(T16,66A1)
DO 23 I=2,56
23 GRAF(I)=BLAN
DO 25 I=1,NDELT
  IGRAF=64.÷(DS(I)-DSMIN)/(DSMAX-DSMIN)+2.5
  GRAF(IGRAF)=ASTE
  WRITE(3,24)I,GRAF
24 FORMAT(T7,'TD/T(',I2,') ',66A1)
25 GRAF(IGRAF)=BLAN
RETURN
END

```



BIBLIOTECA FICTICIA
ESPOL

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399	P	DCU0190	00400	031F	00799		
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199	BT	DCU0490	01200	063F	01599		
?? BG	DCU0640	01600	07CF	01999	RP	DCU0700	02000	095F	02399		
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799	WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199		
?? WI	DCU0C80	03200	0E0F	03599	GI	DCU0E10	03600	0F9F	03999		
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399	DP	DCU1130	04400	12BF	04799		
?? SUMAT	DCU12C0	04800	144F	05199	DENQM	DCU1450	05200	150F	05599		
?? X	DCU15E0	05600	176F	05999	Y	DCU1770	06000	18FF	06399		
?? YC	DCU1900	06400	1A8F	06799	N	DCU1A90	06800	1C1F	07199		
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599	S	DCU1DB0	07600	1F3F	07999		
?? WEVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399	WEBAL	DCU2000	08400	225F	08799		
?? DELT	DCU2260	08800	23EF	09199	DS	DCU23F0	09200	257F	09599		
?? SH	DCU2580	09600	270F	09999	RED	DCU2710	10000	27AF	10159		
?? CN	DCU27B0	10160	342F	13359	DELT2	DCU3430	13360				
?? PI	DCU3438	13368			PCAPI	DCU3440	13376				
?? BTI	DCU3448	13384			BGI	DCU3450	13392				
?? RSI	DCU3458	13400			M	DCU3460	13408				

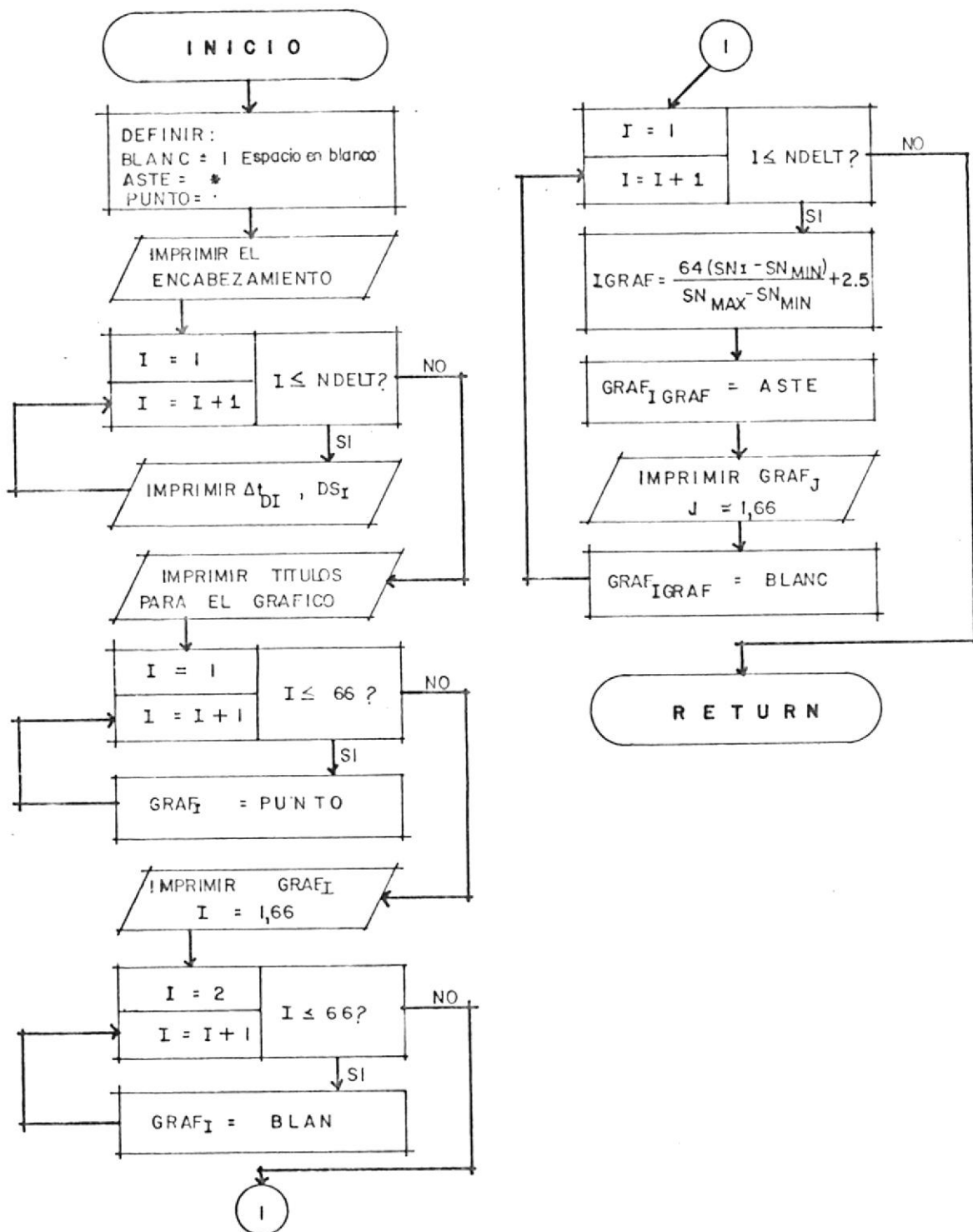
? SW	DCU3463	13416	CF	DCU3470	13424
? CW	DCU3473	13432	CO	DCU3480	13440
? DT	DCU3483	13448	NRED	ICU3490	13456
? NCN	ICU3494	13460	ND	ICU3498	13464
? NDSP0	ICU349C	13468	NOBPB	ICU34A0	13472
? NDCLT	ICU34A4	13476	DSMIN	DCU34A8	13480
? DSMAX	DCU34B0	13488	SNMIN	DCU34B8	13496
? SNMAX	DCU34C0	13504	ICONT	ICU34C8	13512
? NUM	ICU34CC	13516	JUEZ1	ICU34D0	13520
? JUEZ2	ICU34D4	13524	JUEZ3	ICU34D8	13528
? JUEZ4	ICU34DC	13532	II	ICU34E0	13536
? JJ	ICU34E4	13540	BLAN	D 0005	00006
? ASTE	D 000E	00014	PUNTO	D 0016	00022
? GRAF	D 001E	00030	i	I 022E	00558
? IGRAF	I 0232	00562			
? FORT-0098	4				
??SYS-3133	I GRAF1				
??	T001				
??					
??					
??SYS-3135	I GRAF1				
??					

UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP
 MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER
 IS THE LIBRARY NAME
 10 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS
 020 CATEGORY NUMBER
 MODULE'S CODE LENGTH IS
 1912 DECIMAL



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA GRAF2 :



```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 11.00
NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
GRAF2 109069/01AA0D 18/0012 96/60 00000000 126/00

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/09 00:28
OO1 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION
4 WAS THE HIGHEST SEVERITY
1958 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP

```

```

--- SUBROUTINA QUE IMPRIME Y GRAFICA LAS SUMAS NORMALIZADAS VS LOS T0/T

```

```

SUBROUTINE GRAF2
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC

```

```

--- VARIABLES COMUNES ENTRE EL PROGRAMA PRINCIPAL Y LAS SUBROUTINAS U-
--- UTILIZADAS.

```

```

COMMON T(50),P(50),PCAP(50),BT(50),BG(50),RP(50),NP(50),WP(50),WI(
+50),GI(50),BIG(50),DP(50),SUMAT(50),DENOM(50),X(50),Y(50),YC(50),N
+(50),B(50),S(50),WEVAN(50),WEBAL(50),DELT(50),DS(50),SN(50),RED(20
+),CN(20,20),DELT2
COMMON PI,PCAPI,BTI,BGI,RSI,M,SW,CF,CW,CO,DT,NRED,NCN,ND,NDSPB,NDB
+PB,NDELT,DSMIN,DSMAX,SNMIN,SNMAX,ICONT,NUM,JUEZ1,JUEZ2,JUEZ3,JUEZ4
+,II,JJ
REAL*8 N,NP,M
DIMENSION GRAF(66)

```

```

--- DEFINICION DE PARAMETROS UTILIZADOS PARA EL GRAFICO.

```

```

DATA BLAN,ASTE,PUNTO/' ','*','.',.'/

```

```

--- ESCRITURA DEL ENCABEZAMIENTO.

```

```

GO TO(1,5),JUEZ1
1 GO TO(2,4),II
2 WRITE(3,3)
3 FORMAT(1H1/T26,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL FINITO')
GO TO 11
4 WRITE(3,5)
5 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO LINEAL INFINITO')
GO TO 11
6 IF(RED(II)-32.)7,9,9
7 WRITE(3,8)RED(II)
8 FORMAT(1H1/T19,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL FINITO. RED =' ,F7.2
+)
GO TO 11
9 WRITE(3,10)
10 FORMAT(1H1/T25,'SOLUCION PARA ACUIFERO RADIAL INFINITO')
11 WRITE(3,12)CN(II,JJ)
12 FORMAT(T7,30(' - '), 'METODO MC EWEN',31(' - '))//T7, 'B/N (BY/LPC-BN)',E

```



BIBLIOTECA FICT
ESPOL


```

+12.4/T7,27('-')//T11,'RESULTADOS DE LA SUMA NORMALIZADA PARA LOS D
+ISTINTOS TD/T ASUMIDOS')
  IF(NUM.EO.1)GO TO 14
  WRITE(3,13)
13 FORMAT(T33,'EN LA ULTIMA ITERACION'/)
  GO TO 16
14 WRITE(3,15)ICONT
15 FORMAT(T35,'EN LA ITERACION ',I2/)
16 WRITE(3,17)
17 FORMAT(T21,'TD/T (1/MESES)',T53,'SUMA NORMALIZADA'/T16,24('-'),T50
+.22('-'))

```

C---- ESCRITURA DE LOS TD/T Y DE LAS SUMAS NORMALIZADAS.

```

DO 18 I=1,NDELT
18 WRITE(3,19)I,DELT(I),I,SN(I)
19 FORMAT(T16,'TD/T(',I2,') =',E14.6,T50,'SN(',I2,') =',E14.6)

```

C---- GRAFICO DE LOS TD/T VS LAS SUMAS NORMALIZADAS.

```

WRITE(3,20)
20 FORMAT(/T7,'GRAFICO'/T7,7('-')//T41,'SUMA NORMALIZADA')
DO 21 I=1,66
21 GRAF(I)=PUNTO
  WRITE(3,22)GRAF
22 FORMAT(T16,66A1)
DO 23 I=2,66
23 GRAF(I)=BLAN
  DO 25 I=1,NDELT
    IGRAF=64.*(SN(I)-SNMIN)/(SNMAX-SNMIN)+2.5
    GRAF(IGRAF)=ASTE
    WRITE(3,24)I,GRAF
24 FORMAT(T7,'TD/T(',I2,') ',66A1)
25 GRAF(IGRAF)=BLAN
  RETURN
END

```

?? - VARIABLE ALLOCATION MAP

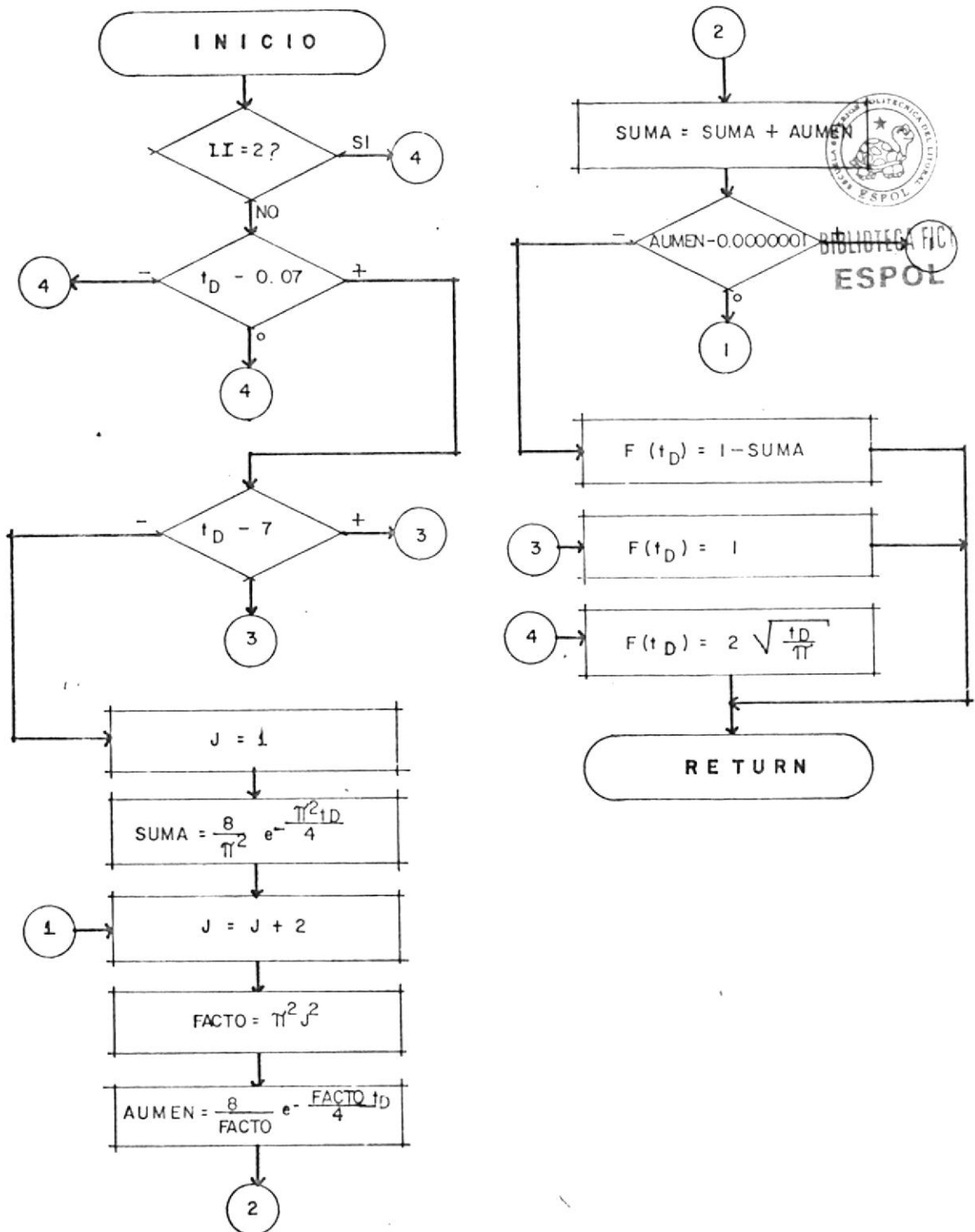
?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? T	DCU0000	00000	018F	00399	P	DCU0190	00400	031F	00799		
?? PCAP	DCU0320	00800	04AF	01199	BT	DCU0480	01200	063F	01599		
?? BG	DCU0640	01600	07CF	01999	RP	DCU0700	02000	095F	02399		
?? NP	DCU0960	02400	0AEF	02799	WP	DCU0AF0	02800	0C7F	03199		
?? WI	DCU0C80	03200	0E0F	03599	GI	DCU0E10	03600	0F9F	03999		
?? BIG	DCU0FA0	04000	112F	04399	DP	DCU1130	04400	12BF	04799		
?? SUMAT	DCU12C0	04800	144F	05199	DEL NOM	DCU1450	05200	15DF	05599		
?? X	DCU15E0	05600	176F	05999	Y	DCU1770	06000	18FF	06399		
?? YC	DCU1900	06400	1A8F	06799	N	DCU1A90	06800	1C1F	07199		
?? B	DCU1C20	07200	1DAF	07599	S	DCU1DB0	07600	1F3F	07999		
?? WEVAN	DCU1F40	08000	20CF	08399	WEBAL	DCU20D0	08400	225F	08799		
?? DELT	DCU2260	08800	23EF	09199	DS	DCU23F0	09200	257F	09599		
?? SN	DCU2580	09600	270F	09999	RED	DCU2710	10000	27AF	10159		
?? CN	DCU27B0	10160	342F	13359	DELT2	DCU3430	13360				
?? PI	DCU3438	13368			PCAPI	DCU3440	13376				
?? BTI	DCU3448	13384			BGI	DCU3450	13392				
?? RSI	DCU3458	13400			M	DCU3460	13408				

?? SW	DCU3468	13416	CF	DCU3470	13424
?? CW	DCU3478	13432	CU	DCU3480	13440
?? DT	DCU3488	13448	NRED	ICU3490	13456
?? NCN	ICU3494	13460	ND	ICU3498	13464
?? NDSPB	ICU349C	13468	NDBPB	ICU34A0	13472
?? NDEL	ICU34A4	13476	DSMIN	DCU34A8	13480
?? DSMAX	DCU3480	13488	SNMIN	DCU3488	13496
?? SNMAX	DCU34C0	13504	ICONT	ICU34C8	13512
?? NUM	ICU34CC	13516	JUEZ1	ICU34D0	13520
?? JUEZ2	ICU34D4	13524	JUEZ3	ICU34D8	13528
?? JUEZ4	ICU34DC	13532	II	ICU34E0	13536
?? JJ	ICU34E4	13540	BLAN-	D 0006	00006
?? ASTE	D 000F	00014	PUNTO	D 0016	00022
?? GRAF	D 001E	00030 0220 00557	I	I 022E	00558
?? IGRAF	I 0232	00562			
?? FORT-0098	4	UNDEF VAR NAME, INDICATED BY 'U' IN MAP			
??SYS-3133	I GRAF2	MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER			
??	T001	IS THE LIBRARY NAME			
??		11 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS			
??		020 CATEGORY NUMBER			
??SYS-3135	I GRAF2	MODULE'S CODE LENGTH IS			
??		1958 DECIMAL			



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA FUNAD:



```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 11.09
NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
FUNAD 108914/01A972 8/0008 96/60 00000000 64/00

```

```

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/08 23:38
000 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION

```

```

493 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

```

```

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP

```



BIBLIOTECA EIC
ESPOL

```

--- SUBROUTINA QUE CALCULA LA FUNCION ADIMENSIONAL FTD PARA UN SISTEMA DE YACIMIENTO-ACUIFERO DE TIPO LINEAL. EL SUBPROGRAMA REALIZA EL CALCULO PARA ACUIFERO FINITO SI II VALE 1 Y PARA ACUIFERO INFINITO SI VALE 2.

```

```

SUBROUTINE FUNAD(II,TD,FTD)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC
PI=3.141592654

```

```

--- SELECCION DE LAS ECUACIONES A UTILIZARSE EN EL CALCULO DE FTD, DEPENDIENDO DEL VALOR DE II.

```

```

IF(II.EQ.2)GO TO 60

```

```

--- COMPARACION DEL VALOR DE TD CON LOS VALORES DE 0.07 Y 7. SI TD ES MENOR A 0.07, EL CALCULO SE HARA CON LA ECUACION DE ACUIFERO INFINITO. SI TD ESTA ENTRE 0.07 Y 7, EL CALCULO SE HARA CON LA ECUACION DE ACUIFERO FINITO. SI TD ES MAYOR A 7, FTD ES IGUAL A 1.

```

```

IF(TD-0.07)60,60,10

```

```

10 IF(TD-7.)20,50,50

```

```

--- CALCULO DE FTD PARA ACUIFERO FINITO.

```

```

20 J=1
SUMA=8./(PI**2*EXP(TD*PI**2/4.))
30 J=J+2
FACTO=PI**2*J**2
AUMEN=8./(FACTO*EXP(TD*FACTO/4.))
SUMA=SUMA+AUMEN
IF(AUMEN-0.0000001)40,30,30
40 FTD=1.-SUMA
GO TO 70

```

```

--- FTD TOMA EL VALOR DE 1.

```

```

50 FTD=1.
GO TO 70

```

```

--- CALCULO DE FTD PARA ACUIFERO INFINITO.

```

60 FTD=2.*SORT(TD/PI)

70 RETURN

END

VARIABLE ALLOCATION MAP

?	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?	II	I	0006	00006			TD	D	000A	00010		
?	FTD	D	0012	00018			PI	D	001A	00026		
?	J	I	0022	00034			SUMA	D	0026	00038		
?	FACTO	D	002E	00046			AUMEN	D	0036	00054		

?SYS-3133 I FUNAD MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER

? T001 IS THE LIBRARY NAME

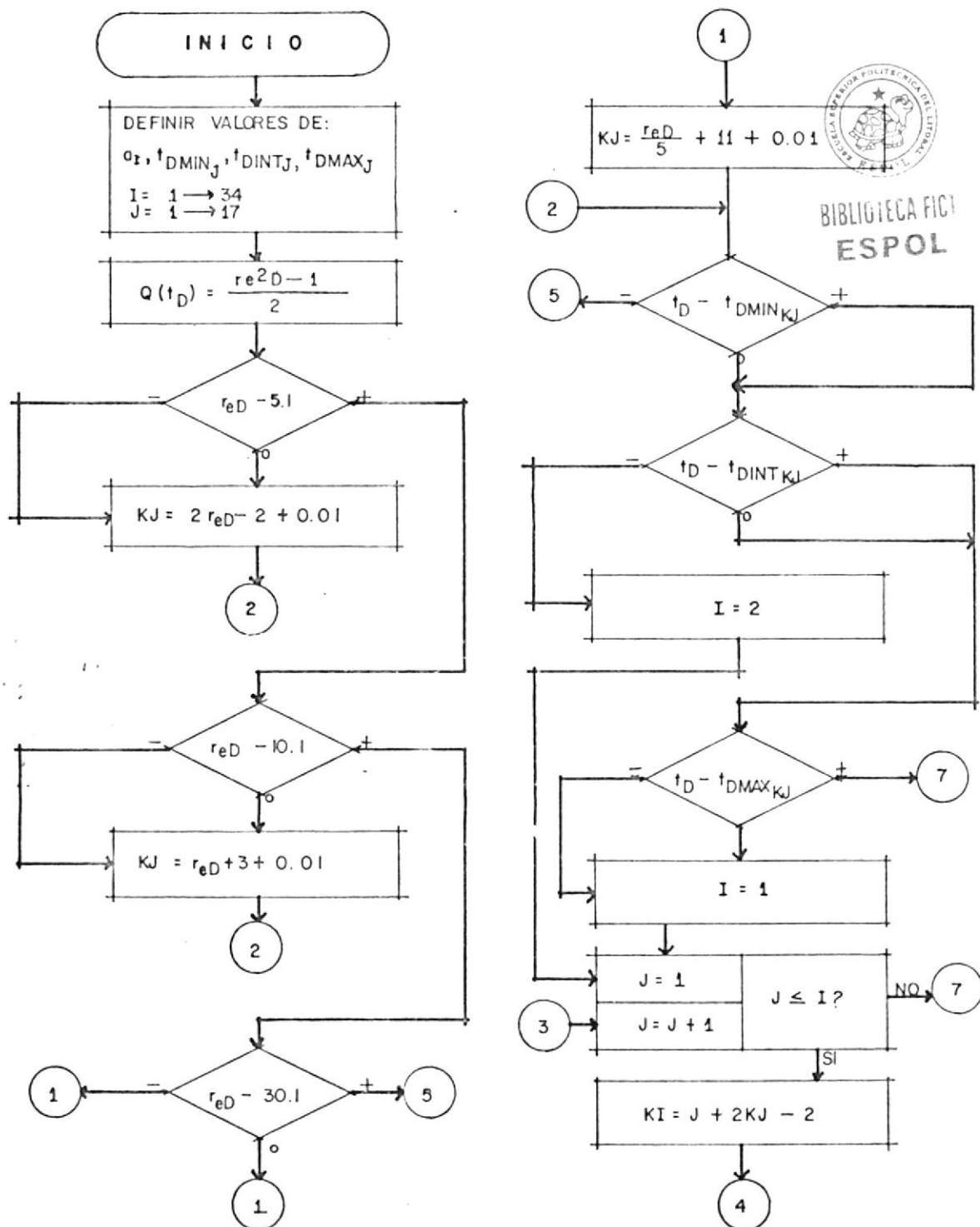
? 4 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

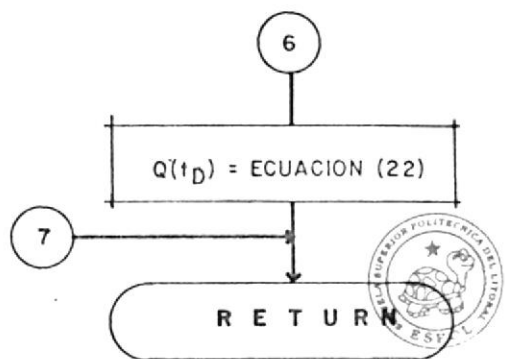
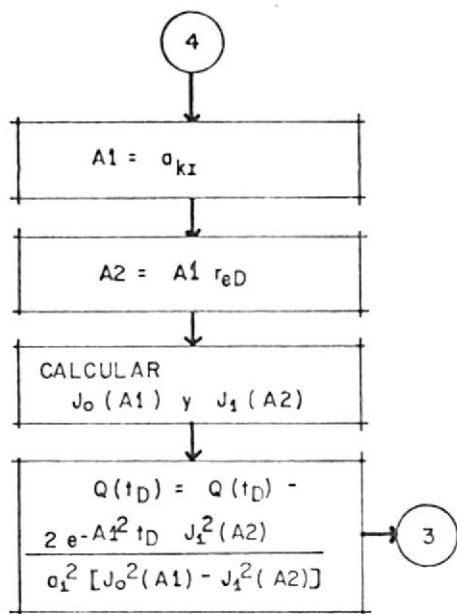
? 020 CATEGORY NUMBER

?SYS-3135 I FUNAD MODULE'S CODE LENGTH IS

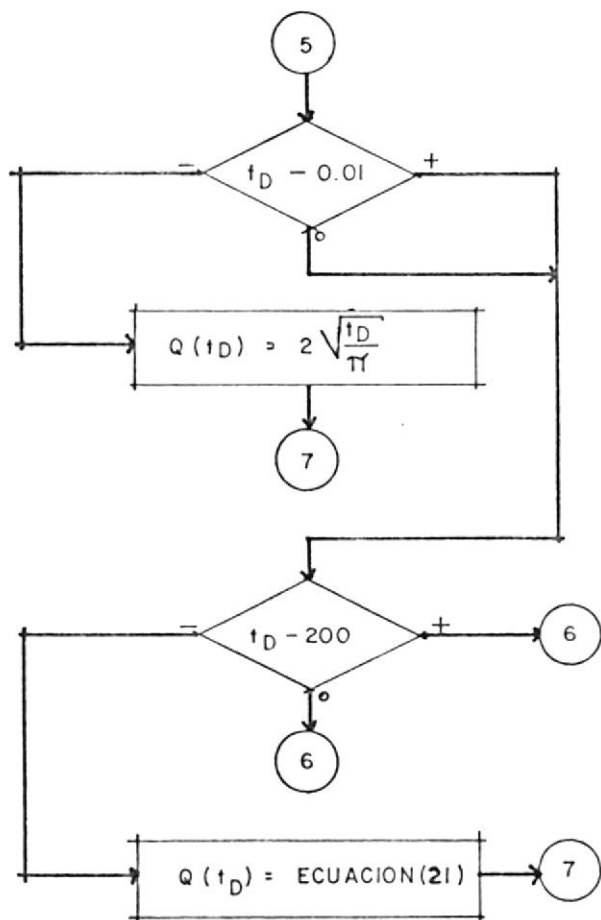
? 493 DECIMAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA INTAD:





BIBLIOTECA FIC
ESPOL



T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 11.10

PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/

INTAD 108889/01A959 21/0015 96/60 00000000 143/000

IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/08 23:24

000 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION

2729 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP

---- SUBROUTINA QUE CALCULA LA FUNCION ADIMENSIONAL QTD PARA UN SISTEMA
 ---- YACIMIENTO-ACUIFERO DE TIPO RADIAL, EL SUBPROGRAMA REALIZA EL CAL-
 ---- CULO TANTO PARA ACUIFEROS INFINITOS (RED ES MAYOR A 32) COMO PARA
 ---- ACUIFEROS FINITOS CON LOS SIGUIENTES VALORES DE RED 1.5, 2.5,
 ---- 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25 Y 30



SUBROUTINE INTAD(RED,TD,QTD)

IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)

GENERIC

REAL*8 J0, J1

---- VALORES DE A (DOS POR CADA RED), TDMIN, TDINT Y TDMAX DE LOS DIFE-
 ---- RENTES RED.

DIMENSION A(34),TDMIN(17),TDINT(17),TDMAX(17)

DATA A/2.88989,9.34479,1.36078,4.6459,0.86606,3.08354,0.6256,2.304
 +04,0.48501,1.83725,0.39346,1.52661,0.32944,1.30509,0.23236,1.13921
 +,0.21807,0.90749,0.17651,0.75345,0.1476,0.64371,0.12641,0.56160,0.
 +11027,0.49788,0.06612,0.31680,0.04651,0.23175,0.03557,0.18246,0.02
 +865,0.15033/

DATA TDMIN/0.04,0.15,0.3,0.5,1.,1.,2.,2.,4.,5.,7.,9.,10.,20.,50.,7
 +5.,100./

DATA TDINT/0.1,0.4,1.,1.5,2.5,4.,5.,7.,10.,15.,20.,25.,30.,100.,20
 +0.,300.,300./

DATA TDMAX/1.25,5.,13.,26.,45.,70.,100.,110.,200.,300.,450.,650.,8
 +00.,2000.,5000.,8000.,12000./

---- CALCULO DE QTD PARA ACUIFEROS FINITOS CUANDO QTD NO DEPENDE DE TD.

QTD=(RED**2-1.)/2.

---- CALCULO DEL PARAMETRO KJ QUE PERMITE SELECCIONAR LOS VALORES DE A,
 ---- TDMIN, TDINT Y TDMAX DEL RED CORRESPONDIENTE.

IF(RED-5.1)10,10,20

10 KJ=RED*2.-2.+0.01

GO TO 60

20 IF(RED-10.1)30,30,40

30 KJ=RED+3.+0.01

GO TO 60

40 IF(RED-32.)50,50,180

50 KJ=RED/5.+11.+0.01

C---- COMPARACION DEL VALOR DE TD CON LOS PARAMETROS TDMIN, TDINT, TDMAX
 C---- SI TD ES MENOR A TDMIN, EL CALCULO SE HARA CON LAS ECUACIONES UTI-
 C---- LIZADAS PARA ACUIFEROS INFINITOS. SI TD ESTA ENTRE TDMIN Y TDINT,
 C---- EL CALCULO SE HARA CON LAS ECUACIONES DE ACUIFEROS FINITOS Y UTI-
 C---- LIZANDO LOS DOS VALORES DE A (SE REALIZA DOS ITERACIONES). SI TD
 C---- ESTA ENTRE TDINT Y TDMAX, EL CALCULO TAMBIEN SE HARA CON LAS ECUA-
 C---- CIONES DE ACUIFEROS FINITOS PERO UTILIZANDO SOLO EL PRIMER VALOR
 C---- DE A (SE REALIZA UNA SOLA ITERACION). SI TD ES MAYOR A TDMAX, EL
 C---- CALCULO SE HARA CON LA ECUACION DE ACUIFEROS FINITOS EN LA QUE QTD
 C---- NO DEPENDE DEL VALOR DE TD SINO SOLO DE RED (NO SE REALIZA ITERA-
 C---- CIONES.



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

60 IF(TD-TDMIN(KJ))180,70,70
 70 IF(TD-TDINT(KJ))80,90,90
 80 I=2
 GO TO 110
 90 IF(TD-TDMAX(KJ))100,100,230
 100 I=1

C---- INICIO DE LA O LAS ITERACIONES PARA EL CALCULO DE QTD PARA ACUIFE-
 C---- ROS FINITOS.

110 DO 170 J=1,I

C---- CALCULO DEL PARAMETRO KI QUE PERMITE SELECCIONAR EL O LOS VALORES
 C---- DE A DEL RED CORRESPONDIENTE.

KI=J+KJ*2-2
 A1=A(KI)
 A2=A1*RED

C---- CALCULO DE LAS FUNCIONES BESSEL JO Y J1.

X11=A1/3.
 X12=3./A1
 IF(A1-3.)120,120,130
 120 J0=1.-2.2499997*X11**2+1.2656208*X11**4-0.3163866*X11**6+0.0444479
 +*X11**8-0.0039444*X11**10+0.00021*X11**12
 GO TO 140
 130 F0=0.79788456-0.00000077*X12-0.00552740*X12**2-0.00009512*X12**3+0
 +.00137237*X12**4-0.00072805*X12**5+0.00014476*X12**6
 TETA0=A1-0.78539816-0.04166397*X12-0.00003954*X12**2+0.00262573*X1
 +2**3-0.00054125*X12**4-0.00029333*X12**5+0.00013558*X12**6
 J0=F0*COS(TETA0)/SQRT(A1)
 140 X31=A2/3.
 X32=3./A2
 IF(A2-3.)150,150,160
 150 J1=(0.5-0.56249985*X31**2+0.21093573*X31**4-0.03954289*X31**6+0.00
 +443319*X31**8-0.00031761*X31**10+0.00001109*X31**12)*A2
 GO TO 170
 160 F1=.79788456+0.00000156*X32+0.01659667*X32**2+0.00017105*X32**3-0.
 +00249511*X32**4+0.00113653*X32**5-0.00020033*X32**6
 TETA1=A2-2.35619449+0.12499512*X32+0.00005650*X32**2-0.00637879*X3
 +2**3+0.00074348*X32**4+0.00079924*X32**5-0.00029166*X32**6

J1=F1* $\cos(\text{TETA1})/\text{SQRT}(A2)$

----- CALCULO DE QTD PARA ACUIFEROS FINITOS.

-170 QTD=QTD-2.*J1**2/(A1**2*EXP(TD*A1**2)*(J0**2-J1**2))
 GO TO 230

----- CALCULO DE QTD PARA ACUIFEROS INFINITOS

180 IF(TD-0.01)190,200,200

190 QTD=1.1284*SQRT(TD)

GO TO 230

-200 IF(TD-200.)210,220,220

-210 QTD=(1.12335*SQRT(TD)+1.19328*TD+0.259872*TD*SQRT(TD)+0.0085294*TD**2)/(1.+0.616599*SQRT(TD)+0.0413008*TD)

GO TO 230

-220 QTD=(-4.29881+2.02566*TD)/DLOG(TD)

-230 RETURN

END



BIBLIOTECA FICTICIA

ESPOL

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? RED	D	0006	00006			TD	D	000E	00014		
?? QTD	D	0016	00022			A	D	001E	00030	012D	00301
?? TDMIN	D	012E	00302	0135	00437	TDINT	D	0186	00433	023D	00573
?? TDMAX	D	023E	00574	02C5	00709	J0	D	02C6	00710		
?? J1	D	02CE	00718			KJ	I	02D6	00726		
?? I	I	02DA	00730			J	I	02DE	00734		
?? KI	I	02E2	00738			A1	D	02E6	00742		
?? A2	D	02EE	00750			X11	D	02F6	00758		
?? X12	D	02FE	00766			F0	D	0306	00774		
?? TETA0	D	030E	00782			X31	D	0316	00790		
?? X32	D	031E	00798			F1	D	0326	00806		
?? TETA1	D	032E	00814								

??SYS-3133 I INTAD MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER

?? T001 IS THE LIBRARY NAME

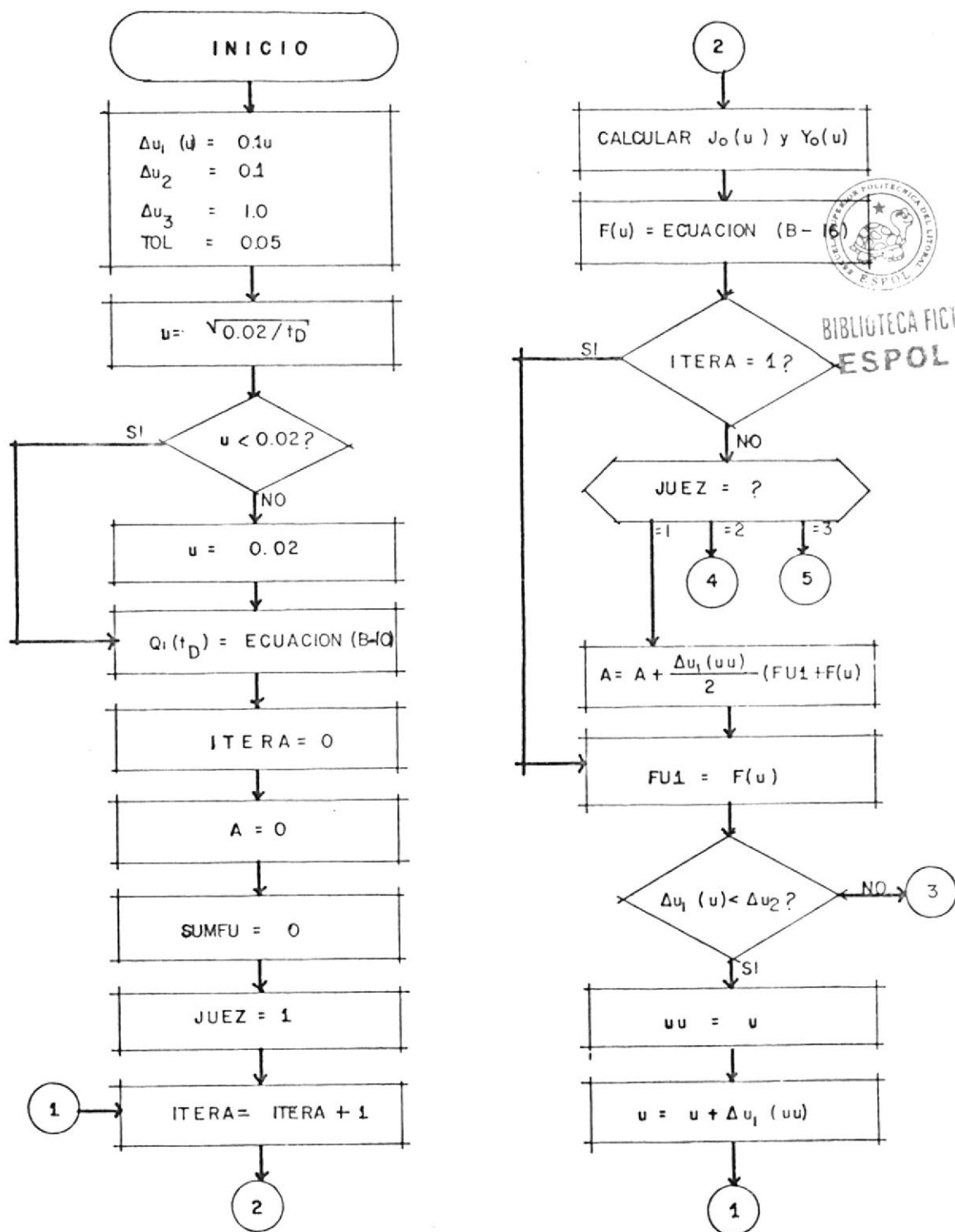
?? 17 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

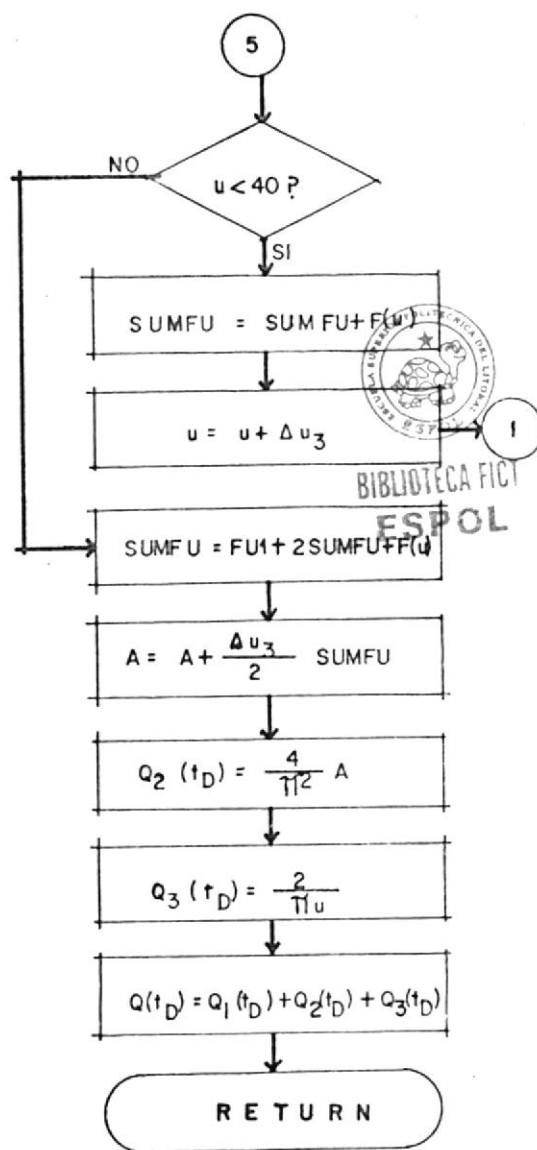
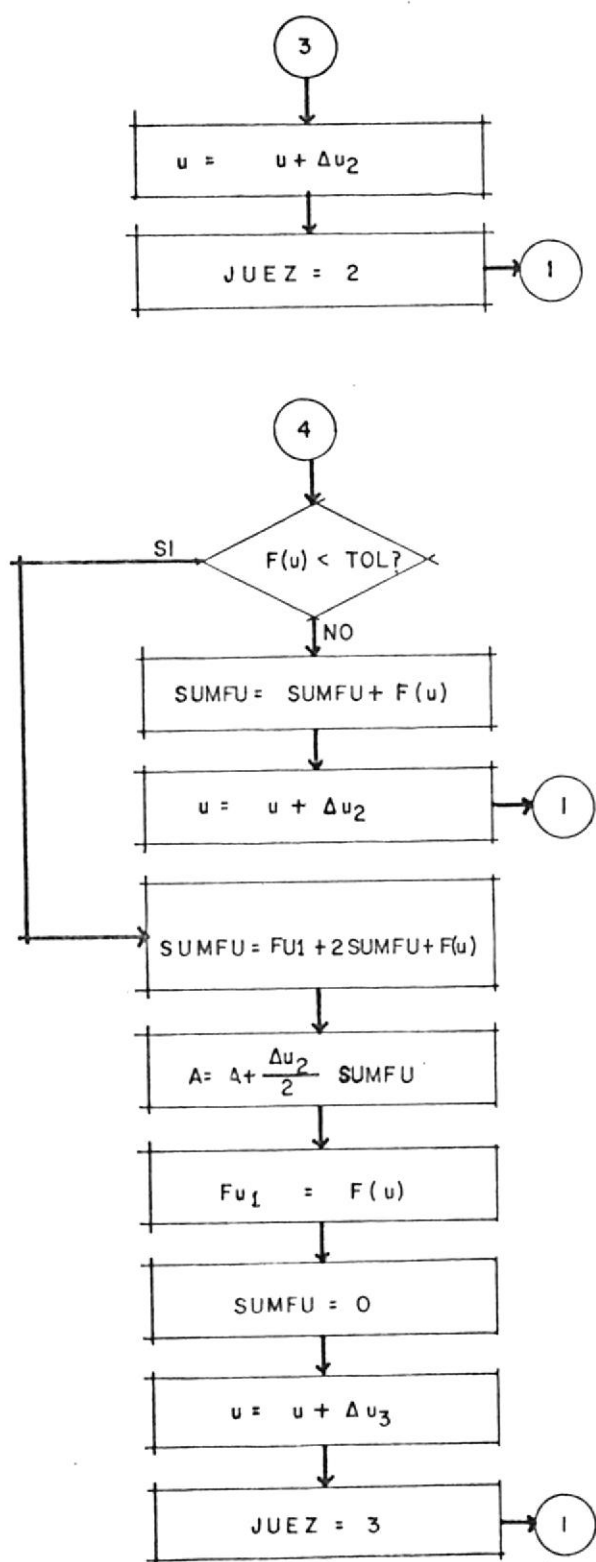
?? 020 CATEGORY NUMBER

??SYS-3135 I INTAD MODULE'S CODE LENGTH IS

?? 2729 DECIMAL

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SUBROUTINA INTADI





```

T001 MEMBER DATE 82/01/10 TIME 11.35
PE NAME DISK ADDR TOTAL NUM TEXT/RECORD ATTRIBUTES LINK ADDR/
INTADI 109214/01AA9E 13/0000 96/60 00000000 136/001
IBM SYSTEM/34 FORTRAN IV RELEASE 07 82/01/10 11:32
000 TOTAL ERRORS FOR THIS COMPILATION

```

1880 DECIMAL IS THE CODE LENGTH OF THE SUBROUTINE MEMBER

PROCESS OBJECT(R,LIB(T001)),NOSOURCE,NOHALT,MAP



--- SUBROUTINA QUE CALCULA LA FUNCION ADIMENSIONAL QTD PARA UN
--- YACIMIENTO-ACUIFERO DE TIPO RADIAL Y EXTENSION INFINITA

```

SUBROUTINE INTADI(TD,QTD,ITERA)
IMPLICIT REAL*8 (A-H,O-Z)
GENERIC
REAL*8 JO

```

BIBLIOTECA FICT
ESPOL

--- DEFINICION DE LOS PARAMETROS DELU1(U), DELU2, DELU3 Y TOL

```

DELU1(U)=0.1*U
DELU2=0.1
DELU3=1.0
TOL=0.05
PI=3.141592654

```

--- CALCULO DE Q1

```

U=SQRT(0.02/TD)
IF(U<0.02)2,1,1
1 U=0.02
2 Q1=2.*TD/PI*ATAN(2.*(DLOG(U)-0.11593)/PI)+TD

```

--- INICIO DE ITERACIONES

```

ITERA=0
A=0.
SUMFU=0.
JUEZ=1
3 ITERA=ITERA+1

```

--- CALCULO DE LAS FUNCIONES BESSEL JO I Y0

```

UR=U/3.
URI=3./U
IF(U<3.)4,4,5
4 JO=1.-2.2499997*UR**2+1.2656208*UR**4-0.3163866*UR**6+0.0444479*UR
+**8-0.0039444*UR**10+0.00021*UR**12
YU=2./PI*JO*DLOG(U/2.)+0.36746691+0.60559366*UR**2-0.74350384*UR**
+4+0.25300117*UR**6-0.04261214*UR**8+0.00427916*UR**10-0.00024846*U
+R**12
GO TO 6

```

```

5 F0=0.79788456-0.00000077*URI-0.00552740*URI**2-0.00009512*URI**3+0
+0.00137237*URI**4-0.00072805*URI**5+0.00014476*URI**6
TETA0=U-0.78539816-0.04166397*URI-0.00003954*URI**2+0.00262573*URI
+**3-0.00054125*URI**4-0.00029333*URI**5+0.00013558*URI**6
J0=(1./SQRT(U))*F0*COS(TETA0)
Y0=(1./SQRT(U))*F0*SIN(TETA0)

```

C---- CALCULO DE FU

```

6 FU=(1.-1./EXP(U**2*TD))/(U**3*(J0**2+Y0**2))
IF(ITERA-1)7,9,7
7 GO TO (8,12,15),JUEZ

```



BIBLIOTECA FICT
ESPOL

C---- CALCULO DE A PARA DELU1(U) MENOR QUE DELU2

```

8 A=A+(FU1+FU)*DELU1(UU)/2.
9 FU1=FU

```

C---- VERIFICACION DE QUE DELU1(U) SEA MENOR QUE DELU2

```

IF(DELU1(U)-DELU2)10,11,11
10 UU=U
U=U+DELU1(UU)
GO TO 3
11 U=U+DELU2
JUEZ=2
GO TO 3

```

C---- VERIFICACION DE QUE FU SEA MENOR A TOL

```

12 IF(FU-TOL)14,13,13
13 SUMFU=SUMFU+FU
U=U+DELU2
GO TO 3
14 SUMFU=FU1+2.*SUMFU+FU

```

C---- CALCULO DE A PARA FU MENOR A TOL

```

A=A+DELU2/2.*SUMFU
FU1=FU
SUMFU=0.
U=U+DELU3
JUEZ=3
GO TO 3

```

C---- VERIFICACION DE QUE U SEA MENOR A 40

```

15 IF(U-40.)16,17,17
16 SUMFU=SUMFU+FU
U=U+DELU3
GO TO 3
17 SUMFU=FU1+2.*SUMFU+FU

```

C---- CALCULO DE A PARA U MENOR A 40

A=A+DELU3/2.*SUMFU

C---- CALCULO DE Q2 Y Q3

Q2=4.*A/PI**2

Q3=2./PI/U

C---- CALCULO DE QTD

QTD=Q1+Q2+Q3

RETURN

END

?? VARIABLE ALLOCATION MAP

?? NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2	NAME	AT	HEX1	DEC1	HEX2	DEC2
?? TD	D	0006	00006			QTD	D	000E	00014		
?? ITERA	I	0016	00022			J0	D	001A	00026		
?? U	D	0022	00034			DELU2	D	002A	00042		
?? DELU3	D	0032	00050			TOL	D	003A	00058		
?? PI	D	0042	00066			U	D	004A	00074		
?? Q1	D	0052	00082			A	D	005A	00090		
?? SUMFU	D	0062	00098			JUEZ	I	006A	00106		
?? UR	D	006E	00110			URI	D	0076	00118		
?? Y0	D	007E	00126			F0	D	0086	00134		
?? TETA0	D	008E	00142			FU	D	0096	00150		
?? FU1	D	009E	00158			UU	D	00A6	00166		
?? Q2	D	00AE	00174			Q3	D	00B6	00182		

??SYS-3133 I INTADI MODULE IS CATALOGED AS A SUBROUTINE MEMBER

?? T001 IS THE LIBRARY NAME

?? 12 TOTAL NUMBER OF LIBRARY SECTORS

?? 020 CATEGORY NUMBER

??SYS-3135 I INTADI MODULE'S CODE LENGTH IS

?? 1880 DECIMAL

REFERENCIAS

- 1.- Pérez Palacio, R.: Yacimientos con Empuje Hidráulico. Universidad del Zulia, Maracaibo, 1969.
- 2.- Craft, B. C. y Hawkins, M. F.: Ingeniería Aplicada de Yacimientos Petrolíferos. Traducción de la edición inglesa por Hernando Vásquez-Silva. Editorial Tecnos, S. A., Madrid, 1968.
- 3.- Nabor, G. W. and Barham, R. H.: Linear Aquifer Behavior, Trans. AIME, Vol. 231, 1964, p. 561.
- 4.- Van Everdingen, A. F. and Hurst, W.: The Application of the Laplace Transformation to Flow Problems in Reservoirs, Trans. AIME, Vol. 186, 1949, p. 305.
- 5.- Van Everdingen, A. F., Timmerman, E. H. and McMahon, J. J.: Application of the Material Balance Equation to a Partial Water Drive-Reservoir, Trans. AIME, Vol. 198, 1953, p. 51.
- 6.- McEwen, C. R.: Material Balance Calculations with Water Influx in the Presence of Uncertainty in Pressure, Trans. AIME, Vol. 225, 1962, p. 120 - II.
- 7.- Edwardson, M. J., Girner, H. M., Parkison, H. R., Williams, C. D. and Matthews, C. S.: Calculation of Formation Temperature Disturbances Caused by Mud Circulation, Trans. AIME, Vol. 225, 1962, p. 416.

- 8.- Muskat, M.: Physical Principles of Oil Production, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1949.
- 9.- Abramowitz, M., Stegun, I. A.: Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables, Dover Publications, Inc., p. 369.



BIBLIOTECA FIC
ESPOL

