

ANALISIS POR ORDENADOR DE LOS BOMBEO EN LA MINA LLANO
(TERUEL-ESPAÑA)

Yagüe Ballester, Antonio* ; Fernández-Rubio, Rafael**

ABSTRACT : The adequate analysis of the piezometric lowering, produced during long pumping period, is not easy, by the influence of several factors : lithological heterogeneities ; impervious boundaries ; constant head boundaries ; yield exchange ; variations of transmissivity with the time ; etc. To facilitate this analysis, we have developed a method of computer calculation, starting from the Jacob simplification and the ratio method, that also increase the possibilities of application, and avoid the routine calculations. We present the FORTRAN code and an application to the drainage of the future iron mine of Llano (Teruel) is displayed.

RESUME : L'analyse correcte des baisses piézométriques produites pendant de longues périodes de pompage, présente quelque difficulté, dû à l'influence de divers facteurs, tels que hétérogénéités du milieu, limites imperméables, barrières de recharge, changements de régime, variations de T dans le temps, etc. Pour faciliter cette analyse nous avons développé une méthode de calcul avec ordinateur, à partir de la simplification de Jacob et de la méthode du quotient, qui rend possible le travail d'interprétation et évite le temps de calculs routiniers. On présente le programme codifié en FORTRAN, et on l'applique au drainage de la future exploitation du minerai de fer appelée Llano (Teruel).

RESUMEN : El análisis correcto de los descensos piezométricos producidos en periodos largos de bombeo, presenta dificultades debido a la influencia de factores diversos, tales como heterogeneidades del medio, límites impermeables, barreras de recarga, cambios de caudal, variaciones de T en el tiempo, etc. Para facilitar este análisis hemos desarrollado un método de cálculo con ordenador, a partir de la simplificación de Jacob y del método del cociente, que potencia la labor de interpretación y evita el tiempo de cálculos rutinarios. Se presenta el programa, codificado en FORTRAN, y se aplica al drenaje de la futura explotación de mineral de hierro denominada Llano (Teruel).

* Geólogo

** Dr. Ing. de Minas. Prof. de Hidrogeología

Grupo de Trabajo de Hidrogeología de la Universidad de Granada (España).

SIAMOS-78. Granada (España)

INTRODUCCION

Habitualmente, los datos hidrológicos dimensionales de los acuíferos se obtienen a través de los bombeos, ya sean de ensayo o de explotación : de su correcta interpretación depende la garantía de los resultados. El objeto de la presente comunicación es facilitar esa interpretación, mediante procesos automáticos de cálculo en ordenador.

La resolución de los datos obtenidos en bombeos ha pasado por diversas fases. Inicialmente se trataba de ajustar, mediante métodos gráficos, el problema a desarrollos analíticos previos que exigían mucho tiempo en operaciones rutinarias (THEIS, 1935 ; JACOB y LOHMAN, 1952 ; HANTUSH y JACOB, 1955 ; etc). Posteriormente se desarrollaron métodos más rápidos, sin variar prácticamente las técnicas interpretativas de los anteriores (JAEGER, 1959 ; OGDEN, 1965 ; SHEAHAN, 1967 ; etc). Más tarde han aparecido intentos -no exentos de polémicas- de pasar con más o menos éxito, las operaciones rutinarias a los computadores (SALEEM, 1970 ; KORGANOFF y BESBES, 1973 ; LABADIE y HELWEG, 1975 ; HOLZCSCHUH, 1976 ; etc). En la actualidad hay una tendencia creciente a utilizar los procesos de modelación, que obligan a planteamientos más lentos y minuciosos, y que sitúan el problema en una esfera distinta al trabajo diario de los técnicos (WALTON, 1976 ; LAND, 1977 ; etc).

De manera general podemos decir que la principal dificultad estriba, en la actualidad, en la complejidad y variedad creciente de los esquemas que se proponen como casos tipo : en estas condiciones ¿ cómo escoger un método de interpretación que al mismo tiempo sea simple y resuelva con eficacia casos muy variados ? El método que vamos a exponer trata de abarcar el mayor número de condiciones, aprovechando la rapidez de cálculo del ordenador.

LA SIMPLIFICACION DE JACOB

En 1935 THEIS desarrolló la fórmula de no equilibrio, a partir de la analogía entre el flujo del agua subterránea y la conductividad del calor :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \quad (1)$$

donde :

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (2)$$

El cálculo de la integral en la ecuación (1) no se puede hacer directamente, pero su valor queda definido por la función $W(u)$:

$$W(u) = -0,577216 - \ln u + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots \quad (3)$$

SIAMOS-78. Granada (España)

WENZEL (1942) tabuló esta función para valores de u comprendidos entre 10^{-15} y $9,9$. JACOB (1950) observó que la suma de términos a partir del tercero, en la ecuación (3), es despreciable cuando u es suficientemente pequeño. De esta forma la ecuación (1) queda :

$$s = \frac{Q}{4\pi T} (-0,577216 - \ln u) \quad (4)$$

Así se facilita la resolución, ya que los valores de s versus $\log t$, se sitúan en una recta, que permite deducir gráficamente los valores de T y S .

EL METODO DEL COCIENTE

JAEGER (1959) y OGDEN (1965) dieron las bases del método, pero fueron SHEAHAN (1967) y NARASHIMAN (1968) quienes lo hicieron aplicable a la generalidad de situaciones posibles. El método presenta la ventaja de no basarse en ajustes gráficos para obtener el valor de los parámetros hidráulicos.

Si despejamos T de las ecuaciones (1) y (2) e igualamos queda :

$$T = \frac{Q}{4\pi s} \quad W(u) = \frac{r^2 s}{4ut} \quad (5)$$

$$u \cdot W(u) = \frac{s}{t} \cdot \frac{\pi r^2 s}{Q} \quad (6)$$

Se define la función $Z(u)$ de la siguiente forma :

$$2 \cdot Z(u) = \frac{2u \cdot W(2u)}{u \cdot W(u)} \quad (7)$$

Sustituyendo el valor de $u \cdot W(u)$ de la ecuación (6) en la (7) :

$$Z(u) = \frac{s_{1/2}}{s} = \frac{W(2u)}{W(u)} \quad (8)$$

en donde :

s : descenso en el tiempo t

$s_{1/2}$: descenso en el tiempo $t/2$.

La resolución se basa en el cociente de los descensos en tiempos múltiplos de 2, y en el empleo de una tabla de valores correlativos $Z(u)$, $W(u)$ y u . Conocidos estos valores, los parámetros hidráulicos se calculan como en el caso de Theis.

EL ANALISIS MULTIPLE

Supongamos un bombeo en un acuífero, tal como indica la figura 1, en el que se distinguen dos partes denominadas *medio 1* y *medio 2*.

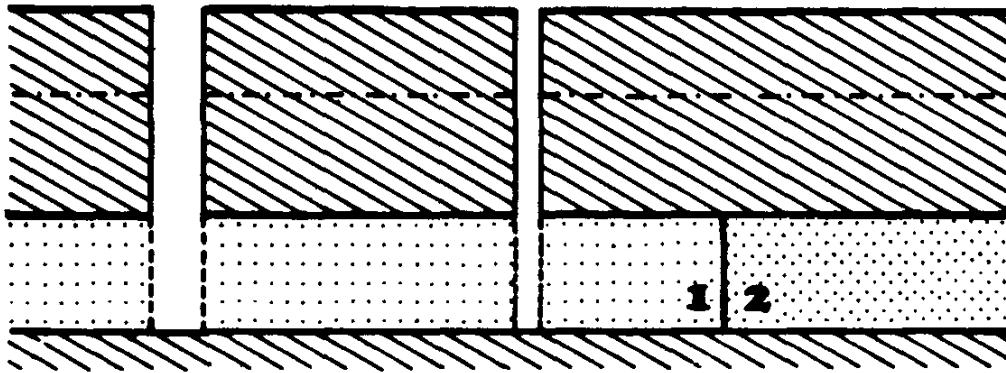


Figura 1

La figura 2 A muestra las variaciones posibles, al analizar el bombeo mediante la simplificación de Jacob. Existen tres tramos. El I corresponde al tiempo en que todavía no se cumple la simplificación. El II es recto y corresponde a los descensos debidos a la extensión del cono de bombeo en el *medio 1* y el III, que comienza curvo y continua recto, corresponde a la extensión del cono de bombeo por el *medio 2*.

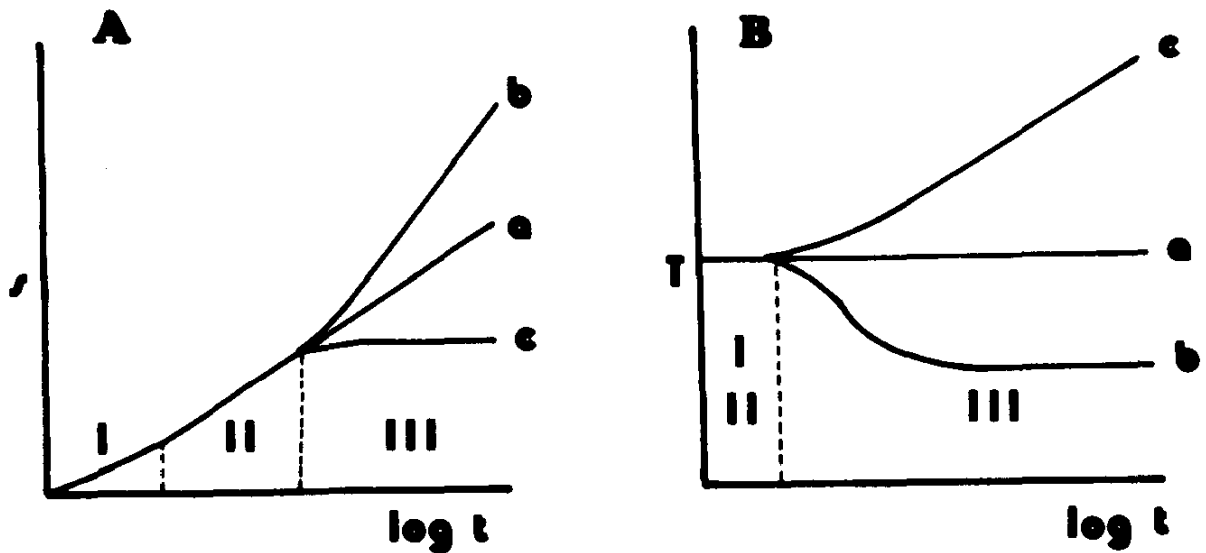


Figura 2

SIAMOS-78. Granada (España)

En el tramo III pueden ocurrir tres posibilidades fundamentalmente :

a) El *medio 2* tenga las mismas características hidráulicas que el *medio 1*. En ese caso los descensos continúan como en el tramo II, y el cálculo de T se hace mediante :

$$T_1 = \frac{2,3 \cdot Q}{4\pi m_a} \quad (9)$$

donde :

m_a : pendiente de la recta a

b) El *medio 2* es impermeable. Los descensos en este caso son equivalentes a los producidos por el pozo existente, más el provocado por otro ficticio igual y simétrico en el *medio 2*, (FERRIS et al., 1962). La pendiente de la recta que se produce, tras un pequeño tramo curvo, es igual a :

$$m_b = 2 \cdot m_a \quad (10)$$

y para calcular la transmisividad del *medio 2* :

$$T_2 = T_1 \left[\frac{2m_a}{m_b} - 1 \right] \quad (11)$$

El caso de impermeabilidad total es un caso límite. Si la permeabilidad es sólo diferencialmente menor, que en el *medio 1*, también sirve la fórmula (11) tomando m_b como la pendiente de la recta diferente a m_a .

c) El *medio 2* mantiene una recarga a nivel constante. En este caso los descensos permanecen constantes con el tiempo, y la pendiente m_c es igual a cero. Como en el caso anterior la recarga a nivel constante es un caso límite. Si la permeabilidad en el *medio 2* es sólo diferencialmente mayor se puede calcular la transmisividad en ese medio a partir de la ecuación :

$$T_2 = T_1 \left[\frac{2m_a}{m_c} - 1 \right] \quad (12)$$

Si en lugar de dos medios hay más, las fórmulas (11) y (12) sirven para hallar los parámetros hidráulicos, tomando m_a como la pendiente de la recta anterior a la que produce el medio buscado.

La figura 2B muestra el mismo análisis realizado para el método del cociente. A diferencia del anterior, en la escala normal está la transmisividad calculada para cada descenso. Como se ve, el tramo I y II son horizontales. En cuanto al tramo III el caso a) supone una simple continuación de los tramos I y II. El caso b), de total impermeabilidad, supone un tramo curvo seguido de otro horizontal y se calcula la T mediante la relación :

$$T_2 = 2 T_b - T_a \quad (13)$$

SIAMOS-78. Granada (España)

El caso c) supone una recta cuya pendiente depende del valor al que se estabiliza el descenso. Los casos intermedios de mayor o menor permeabilidad, terminan siempre en un tramo recto horizontal, y a partir de la ecuación (13) se pueden hallar los parámetros hidráulicos del segundo medio.

EL PROGRAMA DE ORDENADOR

El ordenador trabaja hasta confeccionar las gráficas de la figura 2, y dar los valores de los parámetros hidráulicos de los distintos medios existentes. A partir de ellos, y de acuerdo con los datos geológicos, el hidrogeólogo debe interpretar la correcta distribución espacial de las heterogeneidades existentes en ese acuífero.

El programa sigue el diseño estructurado de la figura 3. En las tablas 1 puede verse un listado del mismo. En su confección se han aprovechado las ventajas de las subrutinas. De esta forma se puede acoplar a cualquier programa principal que lea datos de tiempos, caudales y descensos en diversos piezómetros. Para facilitar el acoplamiento de las sentencias DIMENSION, del programa principal y de la subrutina, se comienza aquel con una sentencia PARAMETER en la que se dan los valores de NN, NI y NNM. El significado de las distintas variables utilizadas puede verse en la tabla 2.

TABLA 2

CAUDAL :	Caudales acumulados (m^3)
HORA 2 :	Tiempos múltiples de 2 interpolados (días)
QTIEMP :	Caudales correspondientes a HORA 2
NN :	Número de piezómetros de observación
NI :	Número máximo de interpolaciones
NNM :	Número máximo de medidas
XLONG :	Distancia del pozo al piezómetro (m)
SNIVEL :	Descensos correspondientes a HORA 2
TS :	Transmisividad según el método del cociente
SS :	Coefficiente de almacenamiento según el método del cociente
TJ :	Transmisividad según el método de Jacob
SJ :	Coefficiente de almacenamiento según el método de Jacob.

La subrutina AMY, ejecutora principal del análisis múltiple, comienza con la determinación de los tiempos múltiples de 2, necesarios para el método del cociente. En caso de resultar el factor 2 demasiado grande, puede modificarse fácilmente.

De acuerdo con esos tiempos interpola entre los datos medidos los descensos y caudales correspondientes; controla los ascensos, y calcula la función $Z(u)$. A continuación busca los valores de $W(u)$ y u mediante las funciones WENZEL y ZUCSH, y una vez hallados calcula la T y S para cada pareja de valores interpolada. En el caso de que se hayan cumplido las condiciones necesarias para que se cumpla la

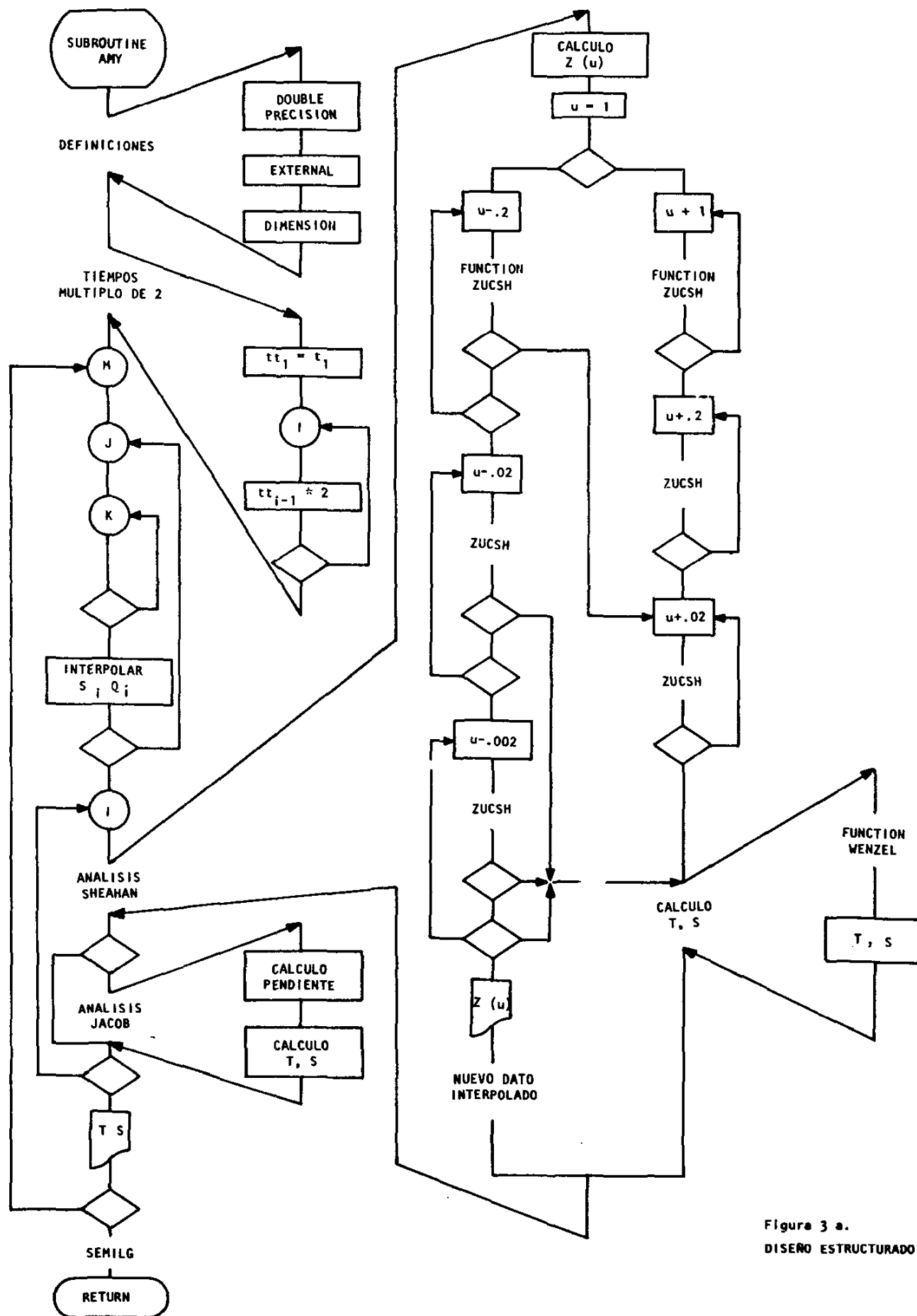


Figura 3 a.
DISEÑO ESTRUCTURADO

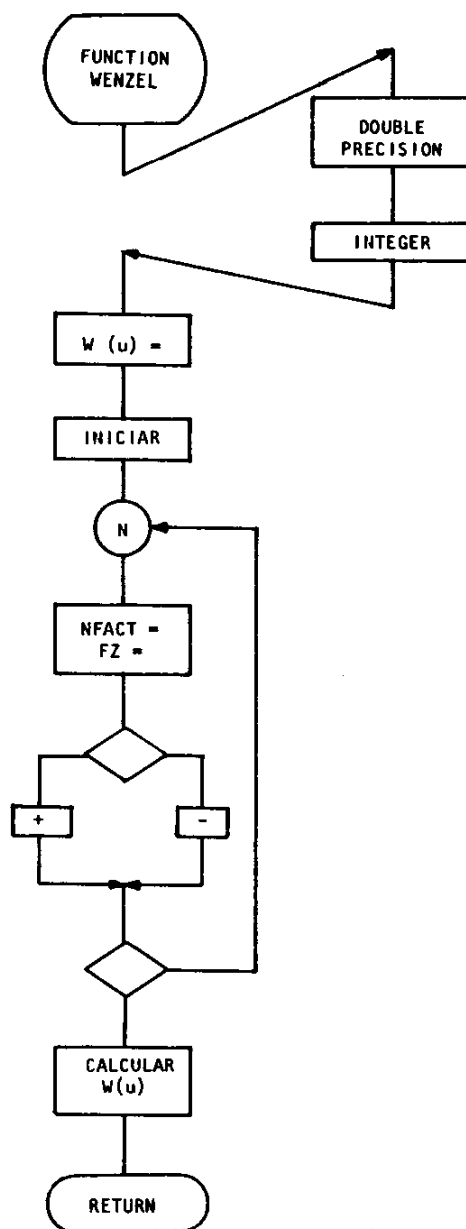
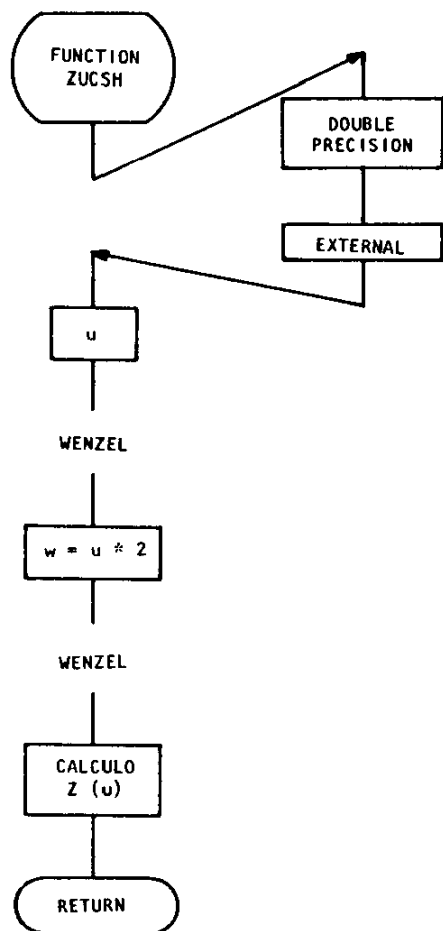


Figura 3 b.
DISEÑO ESTRUCTURADO

SIAMOS-78. Granada (España)

TABLA 1 a

```

1*      C      NN. 1.00 00 00 00 NUMERO DE PIEZOMETROS
2*      C      NI. 1.00 00 00 00 VALOR MAXIMO DEL NUMERO DE INTERPOLACIONES
3*      C      NMM. 1.00 00 00 00 VALOR MAXIMO DEL NUMERO DE MEDIDAS
4*      C      XLONG(I) 00 00 DISTANCIA (METROS) DEL POZO AL PIEZOMETRO
5*      C      CAUDAL(J) 00 00 CAUDAL ACUMULADO (METROS CUBICOS)
6*      PARAMETER NN=5, NI=50, NMM=100
7*      DIMENSION HORA2(NI), TIEMPO(NMM), XNIVEL(NN, NMM), CAUDAL(NMM),
8*      -SNIVEL(NN, NI), XLONG(NN), TS(NN, NI), SS(NN, NI), TJ(NN, NI), SJ(NN, NI),
9*      -PD(NN, NI), LSTEP(NN, 100), ALINE(100), AMAXI(NN), NPUNTO(NN)
10*     -C(NN), QTIEMPO(NI)
11*      C      LECTURA DE LOS DATOS
12*      READ(5, 1) (XLONG(I), I=1, NN)
13*      1      FORMAT(8F10.0)
14*      J=1
15*      2      READ(5, 1, END=5) CAUDAL(J), TIEMPO(J), (XNIVEL(I, J), I=1, NN)
16*      DO 4 I=1, NN
17*      XNIVEL(I, J)=XNIVEL(I, J)/100.
18*      IF(J.EQ.1) C(I)=XNIVEL(I, 1)
19*      XNIVEL(I, J)=XNIVEL(I, J)-C(I)
20*      4      CONTINUE
21*      J=J+1
22*      GO TO 2
23*      5      KK=J-1
24*      CALL AMY(NN, CAUDAL, KK, HORA2, TIEMPO, XNIVEL, SNIVEL, XLONG, TS, SS,
25*      -TJ, SJ, PD, LSTEP, ALINE, AMAXI, NI, NMM, NPUNTO, QTIEMPO)
26*      STOP
27*      END

```

SIAMOS-78. Granada (España)

TABLA 1 b

```

1*      SUBROUTINE AMY (NN, CAUDAL, KK, HORA2, TIEMPO, XNIVEL, SNIVEL, XLONG
2*      -TS, SS, TJ, SJ, PD, LSTEP, ALINE, AMAXI, NI, NMM, NPUNTO, QTIEMP)
3*      DOUBLE PRECISION U, ZU, ZUC, ZUCSH, WENZEL
4*      EXTERNAL ZUCSH, WENZEL
5*      DIMENSION HORA2(NI), TIEMPO(NMM), XNIVEL(NN, NMM), CAUDAL(NMM),
6*      -SNIVEL(NN, NI), XLONG(NN), TS(NN, NI), SS(NN, NI), TJ(NN, NI), SJ(NN,
7*      -PD(NN, NI), LSTEP(NN, 100), ALINE(100), AMAXI(NN), NPUNTO(NN)
8*      -QTIEMP(NI)
9*
10*      C      LLENADO DE MATRIZ CON TIEMPOS MULTIPLOS DE 2
11*      HORA2(1)=TIEMPO(2)
12*      DO 10 I=1,100
13*      HORA2(I+1)=HORA2(I)*2.
14*      IF (HORA2(I+1).GT.TIEMPO(KK)) GO TO 11
15*      10    CONTINUE
16*      11    N2=I
17*
18*      DO 70 M=1,NN
19*      C      INTERPOLAR DESCENSOS EN LOS TIEMPOS MULTIPLOS DE 2
20*      N3=0
21*      B=0
22*      DO 20 J=1,N2
23*      DO 12 K=1,KK
24*      IF (HORA2(J).LT.TIEMPO(K)) GO TO 13
25*      12    CONTINUE
26*      13    L=K
27*      IF (XNIVEL(M,L-1).GT.XNIVEL(M,L)) GO TO 28
28*      SNIVEL(M,J)=((XNIVEL(M,L-1)-XNIVEL(M,L))*(TIEMPO(L-1)-
29*      -HORA2(J))/((TIEMPO(L)-TIEMPO(L-1))+XNIVEL(M,L-1))
30*      IF (HORA2(J).EQ.TIEMPO(L-1)) L=L-1
31*      QTIEMP(J)=(CAUDAL(L)-B)/((HORA2(J)-HORA2(J-1))
32*      B=CAUDAL(L)
33*      N3=N3+1
34*      20    CONTINUE
35*
36*      28    WRITE(6,29) M,N2,N3
37*      29    FORMAT('1 EN EL PIEZOMETRO',I3,' DEBEN INTERPOLARSE',I4,
38*      -' DESCENSOS Y SE INTERPOLAN',I4,' DATO',11X,'T SHEAHAN',13X,
39*      -'T JACOB',11X,'S SHEAHAN',13X,'S JACOB',11X,'84(',-')')
40*      DO 50 I=2,N3
41*      IF (SNIVEL(M,I-1)*SNIVEL(M,I).50.
42*      ZU=SNIVEL(M,I-1)*SNIVEL(M,I)
43*      U=1.
44*      IF (ZU.LT..2229) GO TO 41

```

SIAMOS-78. Granada (España)

TABLA 1 c

```

15*
16* 31 U=U-.2
17*   ZUC=ZUCSH(U)
18*   IF(ZUC.GT.ZU) GO TO 45
19*   IF(U.GT.0.2) GO TO 31
20* 32 U=U-0.02
21*   ZUC=ZUCSH(U)
22*   IF(ZUC.GT.ZU) GO TO 48
23*   IF(U.GT.0.02) GO TO 32
24* 33 U=U-0.002
25*   ZUC=ZUCSH(U)
26*   IF(ZUC.GT.ZU) GO TO 48
27*   IF(U.GT.0.002) GO TO 33
28*   WRITE(6,34) ZU,ZUC
29* 34 FORMAT(2G18.6)
30*   GO TO 50
31* 40 U=U+1
32*   ZUC=ZUCSH(U)
33*   IF(ZUC.GT.ZU) GO TO 40
34* 41 U=U-0.2
35*   ZUC=ZUCSH(U)
36*   IF(ZUC.LT.ZU) GO TO 41
37* 45 U=U+0.02
38*   ZUC=ZUCSH(U)
39*   IF(ZUC.GT.ZU) GO TO 45
40* 48 W1=WENZEL(U)
41*   TS(M,I)=GTTEMP(I)*W1/(4*3.141592*SNIVEL(M,I))
42*   SS(M,I)=4.*TS(M,I)*U*HORA2(I)/XLONG(M)**2
43* C ANALISIS DE JACOB
44*   IF(U.GT.0.02) GO TO 50
45*   PD(M,I)=(SNIVEL(M,I)-SNIVEL(M,I-1))/ALOG10(HORA2(I)/HORA2(I-1))
46*   TJ(M,I)=2.3*GTTEMP(I)/(4*3.141592*PD(M,I))
47*   SJ(M,I)=4.*TJ(M,I)*U*HORA2(I)/XLONG(M)**2
48* 50 WRITE(6,51) I,TS(M,I),TJ(M,I),SS(M,I),SJ(M,I)
49* 51 FORMAT(I4,2F20.2,2E20.3)
50*   NPUNTO(M)=N3
51* 70 CONTINUE
52*   CALL SEMILG(M,NPUNTO,HORA2,LSSTEP,SNIVEL,ALINE,AMAXI,NI)
53*   CALL SEMILG(M,NPUNTO,HORA2,LSSTEP,TS,ALINE,AMAXI,NI)
54*
55*   RETURN
56*   END

```

SIAMOS-78. Granada (Español)

TABLA 1 d

```

1*      C      CALCULO DE LA FUNCION Z(U) DE SHEAHAN
2*      FUNCTION ZUCSH(U)
3*      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-Z)
4*      EXTERNAL WENZEL
5*      WU1=WENZEL(U)
6*      W=U*2.
7*      WU2=WENZEL(W)
8*      ZUCSH=WU2/WU1
9*      RETURN
10*     END !

```

TABLA 1 e

```

1*      C      CALCULO DE LA FUNCION DE POZO W(U) DE WENZEL
2*      FUNCTION WENZEL(U)
3*      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-Z)
4*      INTEGER N
5*      WU=-0.577216-ALOG(U)
6*      NFACT=1
7*      SUMFZ=0.
8*      DO 8 N=1,50
9*      NFACT=NFACT*N
10*     FZ=U**N/(N*NFACT)
11*     IF (MOD(N,2)) .6.
12*     SUMFZ=SUMFZ+FZ
13*     GO TO 8
14*     6      SUMFZ=SUMFZ-FZ
15*     8      CONTINUE
16*     WENZEL=WU+SUMFZ
17*     RETURN
18*     END !

```

TABLA 1 f

```

1*      SUBROUTINE SEMILG(NN,NPUNTO,XMATR,LSTEP,R,ALINE,AMAXI,NI)
2*      DIMENSION R(NN,NI),XMATR(NI),LSTEP(NN,100),NPUNTO(NN),
3*      -ALINE(100),AMAXI(NN)
4*      DO 50 L=1,NN
5*      NP=NPUNTO(L)
6*      PEQUE=XMATR(1)
7*      XMAX=XMATR(1)
8*      DO 2 I=2,NP
9*      IF(PEQUE-XMATR(I)) 1,1.
10*     PEQUE=XMATR(I)
11*     1 IF(XMAX-XMATR(I)) 2,2
12*     XMAX=XMATR(I)
13*     2 CONTINUE
14*     NMIN=ALOG10(PEQUE)-1
15*     NMAX=ALOG10(XMAX)+1
16*     IF(NMAX.LE.0) NMAX=NMAX+1
17*     IF(NMIN.GE.0) NMIN=NMIN+1
18*     NCICLO=NMAX-NMIN
19*     NPASOS=100/NCICLO
20*     STEP=ALOG10(PEQUE)*NPASOS
21*     MINIMI=1000
22*     DO 3 J=1,1000
23*     MINIMO=MINIMI-J*NPASOS
24*     IF(MINIMO.LT.STEP) GO TO 4
25*     3 CONTINUE
26*     4 DO 5 I=1,NP
27*     STEP=ALOG10(XMATR(I))*NPASOS
28*     5 LSTEP(L,I)=STEP-MINIMO*.5
29*     MM=NCICLO*NPASOS
30*     WRITE(6,9)
31*     9 FORMAT(1H1)
32*     AMINI=R(L,1)
33*     DO 10 I=1,NP
34*     IF(R(L,I).GT.AMAXI(L)) AMAXI(L)=R(L,I)
35*     10 IF(R(L,I).LT.AMINI) AMINI=R(L,I)
36*     X=AMAXI(L)
37*     TX=X-AMINI
38*     AL=TX/48.
39*     NCONT=0
40*     NLINE=0
41*     12 DO 15 I=1,MM
42*     ALINE(I)=' '
43*     IF(MOD(NLINE,5).EQ.0) ALINE(I)='- '
44*     15 IF(MOD(I,NPASOS).EQ.0) ALINE(I)='* '
45*     DO 30 I=1,NP
46*     IF((R(L,I).LT.X).OR.(R(L,I).GE.(X+AL))) GO TO 30
47*     J=LSTEP(L,I)
48*     ALINE(J)='* '
49*     NCONT=NCONT+1
50*     30 CONTINUE
51*     WRITE(6,35)X,(ALINE(I),I=1,MM)
52*     35 FORMAT(2X,F10.2,4X,'* '*100A1)
53*     X=X-AL
54*     NLINE=NLINE+1
55*     IF(NCONT.GE.NP) GO TO 45
56*     GO TO 12
57*     45 WRITE(6,46)
58*     46 FORMAT(16X,10Z(' '>))
59*     WRITE(6,48)NMIN,NMAX
60*     48 FORMAT(12X,'NMIN',I2,95X,'NMAX',I2)
61*     50 CONTINUE
62*     RETURN
63*     END

```

simplificación de Jacob, se realiza el cálculo de T y S para esos mismos valores. Por último, la subrutina gráfica SEMILG, realiza gráficos semejantes a la figura 2.

APLICACION A LOS BOMBEO DE LA MINA LLANO

La Compañía Minera de Sierra Menera S. A. explota diversos yacimientos de hierro en las provincias de Teruel y Guadalajara (España). Dentro del próximo quinquenio se prevé iniciar las labores de la explotación denominada Llano.

Desde el punto de vista hidrogeológico, en una primera simplificación, este yacimiento puede asimilarse a un sistema acuífero kárstico, monocapa, limitado al techo por cuarcitas con intercalaciones arcillosas, y al muro por materiales margosos también impermeables. La disposición estructural, responde a un monoclinal que adopta longitudinalmente forma de sinclinal, con potencias que aumentan hacia el núcleo.

Con objeto de preparar, anticipadamente, el drenaje se ha comenzado el bombeo mediante un sondeo de captación en los carbonatos, ubicado en uno de los flancos del sinclinal, y se han instalado cuatro piezómetros para observar la evolución de los niveles en el paquete carbonatado. Los caudales extraídos en m³, la distancia en metros, de los piezómetros al pozo de bombeo, y los descensos medidos en cm, para los 70 primeros días de bombeo, se expresan en la Tabla 3.

TABLA 3

*****		DATOS	BOMBEO	MINA	LLANO	*****
XLONG 1	2	3	4			
735	650	390	55			
CAUDAL	TIEMPO	XNIVEL 1. J	2. J	3. J	4. J	
0	0	2 420	22 01	16 40	1055	
1670	1	2 422	22 10	17 10	1148	
4210	2	2 429	22 22	17 79	1284	
7610	3	2 437	22 36	18 33	1381	
10940	4	2 446	22 53	18 80	1381	
23210	8	2 490	23 17	20 04	1468	
34620	12	2 517	23 50	20 90	1519	
45230	16	2 550	23 77	21 58	1566	
53010	19	2 577	23 83	22 00	1592	
58650	22	2 603	23 97	22 04	1606	
66620	25	2 630	24 20	22 68	1625	
74720	29	2 661	24 63	22 95	1634	
81430	32	2 684	25 02	23 30	1640	
104860	36	2 772	25 57	24 28	1691	
110730	39	2 795	26 11	24 47	1694	
115980	43	2 820	26 29	24 57	1695	
121830	46	2 844	26 53	24 81	1710	
140650	60	2 995	27 85	25 73	1856	
144710	64	3 035	27 93	25 88	1856	
149340	67	3 062	28 00	26 00	1874	

SIAMOS-78. Granada (España)

A partir del método expuesto, y con el programa del ordenador de las tablas 1, hemos analizado los descensos provocados, y se han obtenido las gráficas de la figura 4. En ellas se pone de manifiesto lo siguiente :

- Al comienzo del bombeo, los piezómetros más cercanos (nº 3 y 4), acusan el menor espesor de materiales calizos, en forma de una menor transmisividad.

- Conforme avanza el bombeo se hacen más patentes, los límites impermeables a techo y muro de la formación carbonatada, disminuyendo en forma rápida la transmisividad.

BIBLIOGRAFIA

- FERRIS, J. G. ; KNOWLES, D. B. ; BROWN, R. H. ; STALLMAN, R. W. 1962. Theory of aquifer tests. *U. S. G. S. W. Water-Supply Paper* 1536 E : 144-167.
- HANTUSH, M. S. ; JACOB, C. E. 1955. Nonsteady radial flow in an infinite leaky aquifer. *Am. Geophys. Union Trans.* 36 (1) : 95-100.
- HOLZCSCHUH, J. C. 1976. A simple computer program for the determination of aquifer characteristics from pump test data. *Groundwater*. 14 (5) : 283-285.
- JACOB, C. E. 1950. Flow of Groundwater. Cap 5 in Engineering Hydraulics. New York. John Wiley and Sons.
- JACOB, C. E. ; LOHMAN, S. W. 1952. Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. *Am. Geophys. Union Trans.* 33 (4):559-569.
- JAEGER, J. C. 1959. The analysis of aquifer test data or thermal conductivity measurements which use a line source. *Journ. Geophys. Res.* (64) : 561-564.
- KORGANOFF, A. ; BESBES, M. 1973. Restitution des paramètres hydrauliques d'un aquifère à partir de l'historique des niveaux en un puits témoin. *Bull. BRGM 2^{ème} série. Sect. III* (2) : 113-117.
- LABADIE, J. W. ; HELWEG, O. J. 1975. Step drawdown test analysis by computer. *Ground Water*. 13 (5) : 438-450.
- LAND, F. L. 1977. Utilizing a digital model to determine the hydraulic properties of a layered aquifer. *Ground Water*. 15 (2) : 153-159.
- NARASIMHAN, T. N. 1968. Ratio method for determining characteristics of ideal, leaky and banded aquifers. *Bull. Int. Ass. Sci. Hydrol.* 70-83.
- OGDEN, L. 1965. Estimating transmissibility with one drawdown *Ground Water*. 3(3) : 51-54.

SIAMOS-78. Granada (España)

SALEM, Z. A. 1970. A computer method for pumping test analysis. *Ground Water*. 8 (5).

SHEAHAN, N. T. 1967. A non graphical method of determining u and $W(u)$. *Ground Water*. 5 (2) : 31-37.

THEIS, C. W. 1935. Relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Am. Geophys. Union Trans.* 519-524.

WALTON, W. C. 1976. Needed digital computer techniques for aquifer test analysis. *Ground Water*. 14 (1) : 2-5.

WENZEL, L. K. 1942. Methods of determining permeability of water-bearing materials, with special reference to discharging well methods. *Water-Supply Paper*. 887 : 192 pp.

EN EL PIEZOMETRO 1 DEBEN INTERPOLARSE 7 DESCENSOS Y SE INTERPOLAN 7

DATO	T SHEAHAN	T JACOB*	S SHEAHAN	S JACOB*
2	476.50	.00	.515-02	.000
3	449.62	.00	.706-02	.000
4	171.93	.00	.487-02	.000
5	170.93	.00	.450-02	.000
6	58.62	.00	.380-02	.000
7	16.36	.00	.292-02	.000

* El programa no calcula los valores mientras no se cumple la simplificación de Jacob

Tabla 4 : Ejemplo de la salida del programa

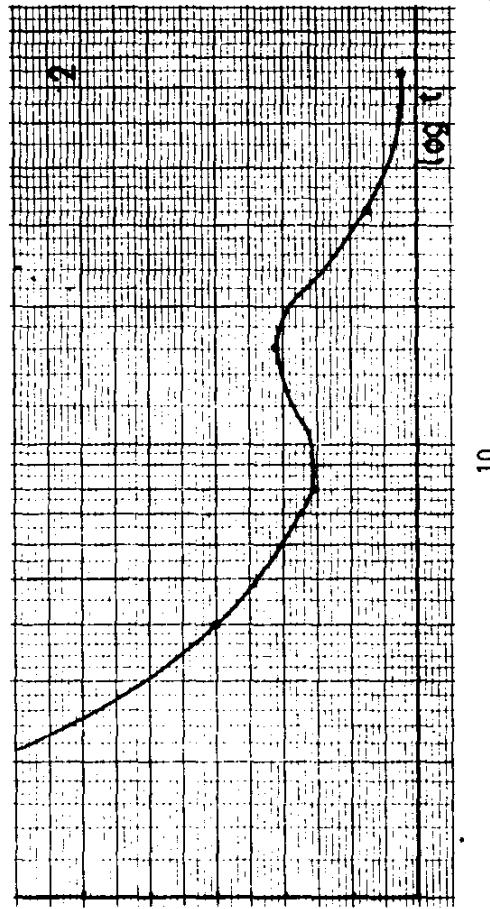
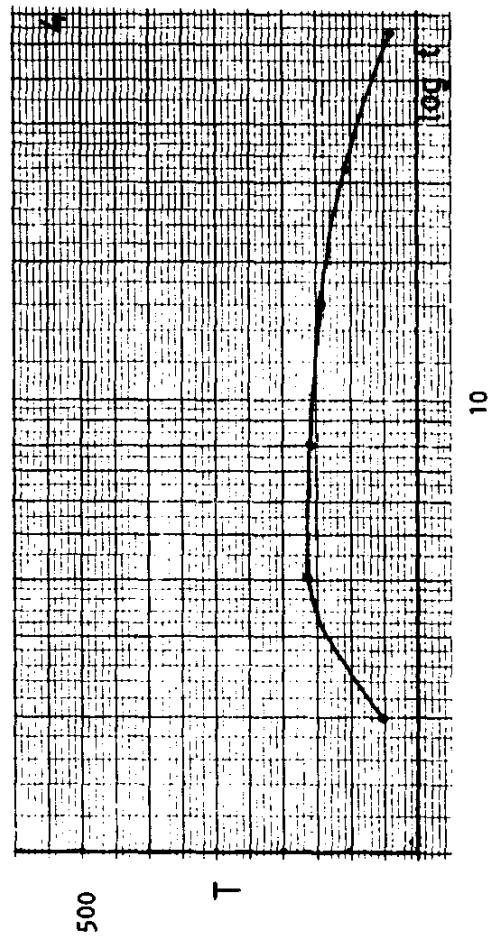
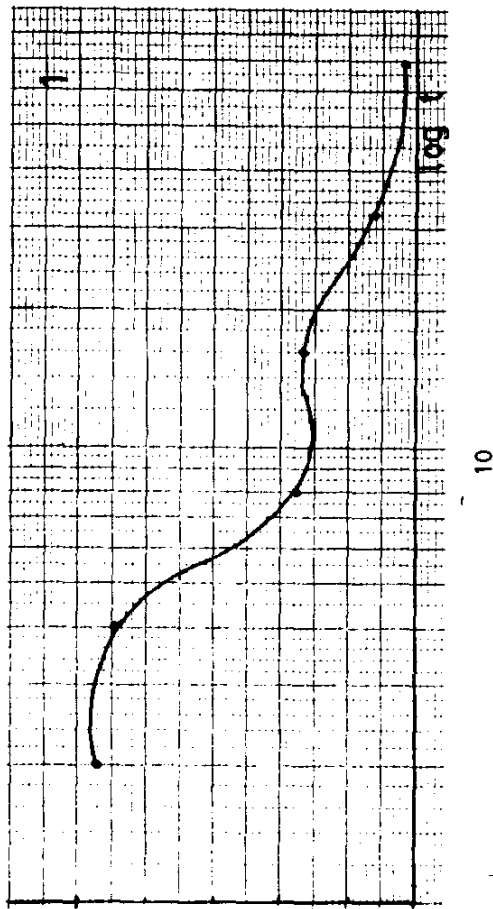
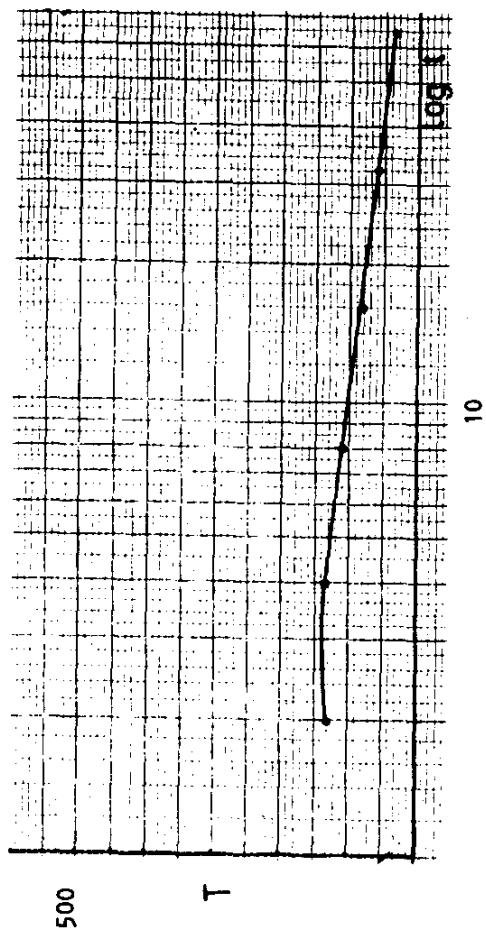


Figure 4