

DRENAJE DE UNA MINA HASTA NIVEL CONSTANTE

Fernández-Rubio, R.* ; Yagüe Ballester, A.**

ABSTRACT : During mining working, it is ordinarily required to drain in order to obtain a constant piezometric level. Flow is therefore variable. Thus, conventional methods of pumping test interpretation are not applicable to the observed water table lowering. On the basis of the constant head depression, we present a computation and interpretation method, which takes under consideration the observations in different piezometers. In order to facilitate the data treatment, we present a FORTRAN-computer program.

RESUME : Dans les travaux miniers, il faut réaliser le drainage, à débit variable, imposé par la nécessité d'obtenir une dépression du niveau piézométrique qui permette l'exploitation. On ne peut appliquer, aux rabattements piézométriques obtenues dans ces conditions, les méthodes habituelles d'application. Pour cette raison, nous avons développé une méthode de calcul et d'interprétation, basée sur le pompage à rabattement constant, avec des observations réalisées sur divers piézomètres de contrôle. On présente également un programme d'ordinateur, codifié en FORTRAN, qui facilite le traitement des données.

RESUMEN : En las labores mineras el drenaje se tiene que realizar, normalmente, a caudal variable, impuesto por la necesidad de conseguir una depresión del nivel piezométrico que permita el laboreo. A los descensos piezométricos obtenidos en estas condiciones no se les puede aplicar los métodos usuales de interpretación. Por ello hemos desarrollado un método de cálculo e interpretación, basado en el bombeo a descenso constante, con observaciones realizadas en varios piezómetros de control. Se presenta, también un programa de ordenador, codificado en FORTRAN, que facilita el tratamiento de los datos.

* Dr. Ingeniero de Minas. Profesor de Hidrogeología

**Geólogo

Grupo de Trabajo de Hidrogeología. Universidad de Granada. España

SIAMOS-78. Granada (España)

PLANTEAMIENTO

El caso más habitual de captaciones de aguas subterráneas, es el que se efectúa a caudal constante, compatible con los recursos del acuífero; pero cuando se trata de realizar el drenaje de una mina, o de una excavación cualquiera, bajo nivel potenciométrico, lo normal es tener que establecer un régimen de bombeo de depresión constante, consistente en extraer todo el agua que afluye hasta un cierto nivel, impuesto por las labores subterráneas, o por la conveniencia de drenar el subsuelo.

Este régimen implica una reducción progresiva de caudal, a lo largo del tiempo, debido a la afección de las reservas, y al mantenimiento de dicha depresión constante, y trae consigo la no aplicabilidad de las fórmulas habituales de la Hidrogeología, desarrolladas para bombeos a caudal constante, en régimen permanente o transitorio.

JACOB Y LOHMAN (1952) desarrollaron unas fórmulas aplicables a este caso, para el cálculo de la transmisividad (T), y el coeficiente de almacenamiento (S), a partir de las observaciones realizadas en el punto de bombeo.

Ahora bien, puesto que con frecuencia se cuenta con observaciones de control potenciométrico en otros puntos, y además en la realidad es normal el que se produzcan interrupciones en el bombeo, o variaciones no controladas de caudal, hemos desarrollado un método de cálculo aplicable a este caso más general.

DEPRESION CONSTANTE SIN FILTRACION VERTICAL (OBSERVACIONES EN EL PUNTO DE BOMBEO)

JACOB Y LOHMAN (1952), basados en las analogías entre las condiciones hidrológicas de un acuífero, y las térmicas de un sistema termal equivalente, han llegado a la resolución de la ecuación de la continuidad :

$$\frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial^2 h}{\partial r^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

para un bombeo en el cual el descenso permanece constante, y en el caso de un acuífero ideal homogéneo, isotrópico, de extensión areal infinita, y en el que T y S son constantes en todo tiempo y lugar.

Así, para

$$\begin{aligned} s_w &= \text{depresión constante en el pozo bombeado} \\ r_w &= \text{radio efectivo del pozo bombeado} \end{aligned}$$

puede escribirse :

$$Q = 2 \pi T s_w G (\infty)$$

SIAMOS-78. Granada (España)

donde

$$\alpha = \frac{T t}{S r_w^2}$$

$$G(\alpha) = \frac{4\alpha}{\pi} \int_0^{\infty} x e^{-\alpha x^2} \left[\frac{\pi}{2} + \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{Y_0(x)}{J_0(x)} \right) \right] dx \quad (1)$$

Los términos $J_0(x)$ e $Y_0(x)$ son funciones de Bessel, de orden cero, de primera y segunda clase, respectivamente.

La ecuación (1) no es tratable por integración, pero puede resolverse numéricamente, al reemplazar la integral por una sumación.

Así han sido tabulados los valores de $G(\alpha)$ (denominada función de pozo para depresión constante), correspondientes a valores de α desde 10^{-4} hasta 10^{-6} (JACOB Y LOHMAN, 1952).

Para determinar, gráficamente, los parámetros del acuífero (T y S), se dibuja, en papel semilogarítmico, la curva tipo de valores de $G(\alpha)$ versus α , y en papel transparente, de igual módulo semilogarítmico, los valores experimentales de Q versus t . La superposición conforme de ambas curvas, por traslación paralela de los ejes, y la elección arbitraria de un punto de acuerdo, nos da las parejas de valores :

$$\begin{array}{cc} G(\alpha) & Q \\ \alpha & t \end{array}$$

con los cuales se obtiene :

$$T = \frac{Q}{2 \pi s_w G(\alpha)} \quad (2)$$

$$S = \frac{T t}{r_w^2 \alpha}$$

METODO SIMPLIFICADO

Como una simplificación a este método, JACOB Y LOHMAN (1952), han demostrado que para valores elevados de t , la función $G(\alpha)$, puede ser reemplazada muy exactamente por $2 / W(u)$, en la que $W(u)$ es la función de pozo de Wenzel, para la resolución gráfica por el método de Theis. Igualmente han demostrado que, para valores de u suficientemente pequeños, $W(u)$ puede ser reemplazada muy aproximadamente por

$$2.30 \log_{10} \frac{2.25 T t}{r_w^2 S}$$

SIAMOS-78. Granada (España)

Al sustituir en (2), queda :

$$T = \frac{2.30 Q}{4\pi s_w} \log_{10} \frac{2.25 T t}{r_w^2 S} \quad (3)$$

la cual puede escribirse :

$$\frac{Q}{s_w} = \frac{2.30}{4\pi T} \log_{10} \frac{t}{r_w^2} + \frac{2.30}{4\pi T} \log_{10} \frac{2.25 T}{S}$$

Así pues, si se representan, en escala aritmética, los valores de Q/s_w , en función de los valores de t/r_w^2 , en escala logarítmica, estos puntos deben de alinearse sobre una recta, cuya pendiente permite calcular T :

$$\text{pendiente} = \frac{\Delta (s_w/Q)}{\Delta \log_{10}(t/r_w^2)} = \frac{2.30}{4\pi T}$$

si se toma la abcisa $\Delta_{10} (s_w/Q)$, correspondiente a un ciclo logarítmico :

$$\Delta \log_{10}(t/r_w^2) = 1$$

y queda

$$T = \frac{2.30}{4\pi \Delta_{10}(s_w/Q)} \quad (4)$$

El coeficiente de almacenamiento puede calcularse al sustituir, en la ecuación (3), las coordenadas de cualquier punto de la recta, y el valor de T obtenido. En especial, si se toma, gráficamente, la intersección de la recta, con el eje $s_w/Q = 0$:

$$S = 2.25 T (t/r_w^2)_0 \quad (5)$$

Según los autores mencionados el método es adecuado para el cálculo de T, pero debe de tomarse con precaución para calcular S, debido a la dificultad de conocer el radio efectivo del pozo bombeado.

BOMBEO EN REGIMEN DE CAUDAL VARIABLE (OBSERVACIONES EN VARIOS PIEZOMETROS)

Como hemos expuesto anteriormente, este es un caso más general, en el desagüe de una mina o excavación, y a él le hemos aplicado el siguiente proceso de cálculo.

Transcurridos tiempos suficientes para que se cumpla la simplificación de Jacob, correspondiente a cada escalón de bombeo, y en cada piezómetro x, podemos escribir :

SIAMOS-78. Granada (España)

$$\sum x_n = \frac{0.183}{T} \sum (Q_n \log \frac{2.25 T t_n}{S r_x^2}) \quad (6)$$

donde :

x_n = Depresión en el piezómetro x, transcurrido un tiempo t_n
 r_x = Distancia desde el piezómetro hasta el punto de bombeo
 Q_n = Incremento en el caudal de bombeo desde el tiempo t_n

La ecuación (6) podemos escribirla :

$$\sum x_n = \frac{0.183}{T} \sum (Q_n \log_{10} \frac{2.25 T}{S}) + \frac{0.183}{T} \sum (Q_n \log_{10} \frac{t_n}{r_x^2})$$

de donde :

$$\frac{\sum x_n}{\sum Q_n} = \frac{0.183}{T} \log_{10} \frac{2.25 T}{S} + \frac{0.183}{T} \frac{\sum (Q_n \log_{10} \frac{t_n}{r_x^2})}{\sum Q_n} \quad (7)$$

la representación de $\frac{\sum x_n}{\sum Q_n}$ en función de $\frac{\sum (Q_n \log_{10} \frac{t_n}{r_x^2})}{\sum Q_n}$ (8)

en escala aritmética, para las observaciones realizadas en todos los piezómetros y en cualquier tiempo (diagrama global), debe dar una recta de pendiente angular $0.183/T$, que permite calcular T.

Si tomamos la ordenada en el origen, en dicha recta :

$$\left(\frac{\sum x_n}{\sum Q_n} \right)_o = \frac{0.183}{T} \log_{10} \frac{2.25 T}{S}$$

de donde :

$$S = \frac{2.25 T}{10^{\frac{T}{0.183} \left(\frac{\sum x_n}{\sum Q_n} \right)_o}}$$

Aparentemente un problema que presenta esta metodología estriba en la complejidad de cálculo, pero en la realidad este cálculo es perfectamente abordable con un programa de ordenador, a partir de las observaciones de caudales y niveles potenciométricos, realizadas a lo largo del tiempo, tenidas en cuenta las distancias de estos piezómetros al punto de bombeo.

En nuestro caso se ha puesto a punto un programa, para el cálculo y dibujo de estas expresiones, que sigue el diseño estructurado (IBM, 1976) de la *figura 1* y cuyo listado se halla en la *tabla 1*. Se comienza con la lectura de los datos

SIAMOS-78. Granada (Españo)

relativos a la descripción inicial del sistema de observación y de los descensos, con sus respectivos caudales y fechas en que se han tomado medidas. A continuación los datos se pasan a magnitudes absolutas y se calculan, en cada piezómetro y para cada dato considerado, la T y S según la ecuación 7. Por último se dibuja, según la subrutina DIBUJA, las parejas de valores indicadas en 8.

Caso de ser varios los puntos de bombeo, sería necesario aplicar el método con la suma, en cada punto de los descensos provocados individualmente por cada bombeo.

Un interés adicional de esta representación estriba en la posibilidad de controlar anomalías, que se evidenciarían en dicha representación lineal, y que podrían responder a la existencia de barreras positivas o negativas, en el acuífero, o a la alimentación inducida por el bombeo, consecuencia de un régimen multicapa, o al error de alguna medición o al más funcionamiento (colmatación) de algún piezómetro.

BIBLIOGRAFIA

IBM. 1976. Técnicas de diseño de Programas. Segmento EA65. 1 : 2.1-2.6.

JACOB, C. E. ; LOHMAN, S. W. 1952. Nonsteady flow to a well of constant draw-down in an extensive aquifer. Am. Geophys. Union Trans. 33 (4). 559-569.

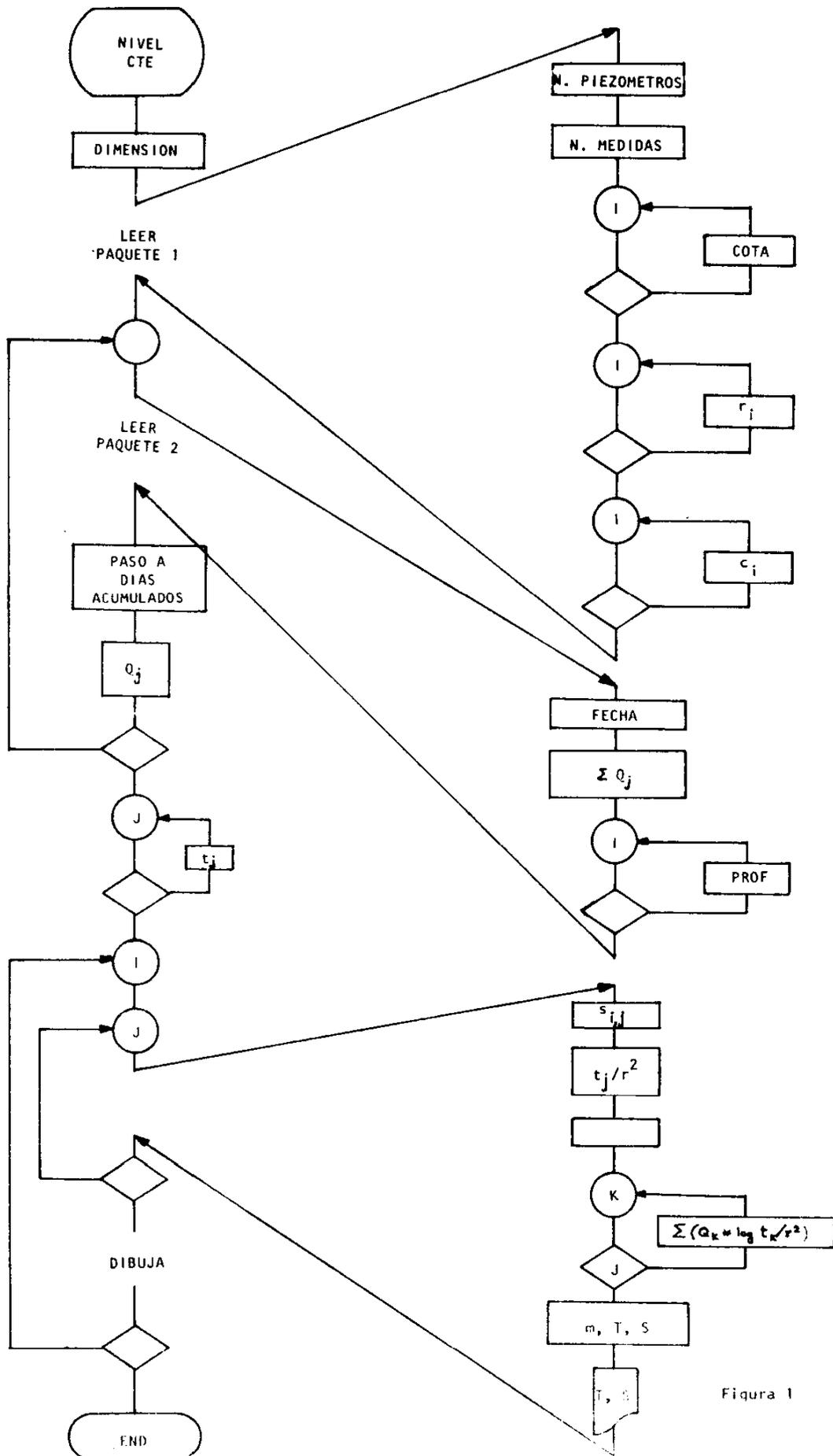


Figura 1

SIAMOS-78. Granada (España)

```

1* SUBROUTINE DIBUJA(NN, NPUNTO, XMATR, KSTEP, R, ALINE, AMAXI)
2* DIMENSION R(100), XMATR(100), KSTEP(100), ALINE(100), AMAXI(10)
3* DO 50 L=1, NN
4* NP=NPUNTO
5* PEQUE=XMATR(1)
6* XMAX=XMATR(1)
7* DO 2 I=2, NP
8* IF(PEQUE-XMATR(I))1,1:
9* PEQUE=XMATR(I)
10* 1 IF(XMAX-XMATR(I))2,2
11* XMAX=XMATR(I)
12* 2 CONTINUE
13* 4 MM=100
14* DO 5 I=1, NP
15* STEP=(100-XMATR(I)*XMAX)/(100-PEQUE*XMAX)
16* 5 KSTEP(I)=STEP*0.5
17* 8 WRITE(6,9)
18* 9 FORMAT(1H1)
19* AMINI=R(1)
20* DO 10 I=1, NP
21* IF(R(I).GT.AMAXI(L)) AMAXI(L)=R(I)
22* 10 IF(R(I).LT.AMINI) AMINI=R(I)
23* X=AMAXI(L)
24* TX=X-AMINI
25* AL=TX*48.
26* NCONT=0
27* NLINE=0
28* 12 DO 15 I=0, MM
29* ALINE(I)=' '
30* IF(MOD(NLINE,5).EQ.0) ALINE(I)='-'
31* 15 IF(MOD(I,10).EQ.0) ALINE(I)=':'
32* DO 30 I=1, NP
33* IF((R(I).LT.X).OR.(R(I).GE.(X+AL))) GO TO 30
34* J=KSTEP(I)
35* ALINE(J)='*'
36* NCONT=NCONT+1
37* 30 CONTINUE
38* WRITE(6,35)X,(ALINE(I),I=0,MM)
39* 35 FORMAT(2X,F10.2,3X,'*',101A1)
40* X=X-AL
41* NLINE=NLINE+1
42* IF(NCONT.GE.NP) GO TO 45
43* GO TO 12
44* 45 WRITE(6,46)
45* 46 FORMAT(16X,10Z('>'))
46* WRITE(6,48)PEQUE,XMAX
47* 48 FORMAT(12X,F6.1,96X,F6.1)
48* 50 CONTINUE
49* RETURN
50* END

```