

VIII Congreso Nacional del Agua



9 AL 15 DE OCTUBRE 1977 / VIEDMA / RIO NEGRO

RECARGA DE ACUIFEROS ALUVIALES CONTINENTALES

INFORMACION

Autor: Ing. Atilio H. ARABIA

Octubre 1977

RESUMEN:

Los acuíferos Aluviales Continentales por su heterogeneidad de formas y estructuras presentan singularidades que es importante conocer.-

Una de ellas es el notorio deterioro que se produce en su explotación.-

En el presente estudio se trata de encontrar las causales; y la importancia de cada una de ellas a fin de establecer las correspondientes correcciones destinadas a aumentar la vida útil de los acuíferos actualmente en explotación.-

Los Acuíferos del área Norte de Mendoza son un ejemplo del sorprendente deterioro manifestado en la calidad, en tan solo 20 años con extracciones / del orden de los 8.000 hectómetros cúbicos, el deterioro ha alcanzado los / 200 metros imposibilitando la utilización de volúmenes del orden de los // 100.000 hectómetros cúbicos, en consecuencia la extracción ha sido solo el 8% de la posibilidad total.-

El estudio consiste de 2 partes: la primera vinculada a la "RESPUESTA A LA RECARGA" la segunda a la "RELACION CUALI-CUANTI".-

En la primera se analizan 7 factores determinantes a tener en cuenta / para establecer como el acuífero responde a la recarga.-

En la segunda las causales de deterioro en función de la extracción, / el uso y la calidad constructiva de la obra de captación, tratando de establecer la responsabilidad de cada uno.-

En los niveles tecnológicos la recarga se considera como la solución al problema del deterioro, sin embargo la complejidad, lo oneroso y la difícil obtención y manejo del recurso a utilizar en la recarga de Acuíferos Continentales, hace necesario serios estudios previos a su utilización.-

Lo puntualizado en último término sería la finalidad de la presente monografía ya que los factores han sido analizados obedeciendo a un orden sistemático que permitiría planificar y esbozar los estudios necesarios, que / permitan establecer hasta que punto la recarga es posible y beneficiosa en la explotación del recurso.-

El trabajo es el resultado de numerosos análisis particulares y especiales de cada área; los estudios realizados en el País son muy generales para establecer modificaciones y carecen del dinamismo necesario para conocer la variación del deterioro en el tiempo y en función de los volúmenes de extracción y uso.-

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método aplicable al estudio del escurrimiento en un medio poroso mediante la utilización del cálculo numérico.

El modelo matemático que aquí se expone se aplica a napas libres y simula el comportamiento dinámico del acuífero (varia ción de las alturas freáticas), sometido a determinado régimen de alimentación o explotación y partiendo de valores conocidos que representan:

- La geometría del acuífero (trabaja con el método de los polígonos variables, adaptándose a cualquier forma del dominio a estudiar).
- Condiciones a las que se encuentra sometido el acuífero (caudales que entran o salen a través de su superficie, tipos de frontera).
- Parámetros físicos del suelo: conductividad hidráulica, coeficiente de almacenamiento.

El modelo SIMBF es aplicable a variados problemas de previsión y control de napas.-

MODELO MATEMATICO DEL ACUIFERO LIBRE

EL CHAFAR - PCIA. DEL NEUQUEN

COMUNICACION

Autores: Ing. Hid. Luis AYESTARAN

Ing. Agr. Federico E. HORNE

Octubre 1977

1. INTRODUCCION

El modelo SIMEF fué concebido para simular por sucesivas aproximaciones la topografía de la napa en equilibrio con el caudal (entrante o saliente) de un dominio y para determinadas condiciones fijadas en la frontera.

Este, que se aplica a casos de napas libres, calcula y muestra la evolución del manto freático para distintos intervalos de tiempo hasta llegar a equilibrio estático, lo que permite además establecer el tiempo requerido por el acuífero (con determinadas condiciones físicas de transmisibilidad y almacenamiento) para lograr dicho equilibrio.

Tiene la ventaja de adaptarse perfectamente al área de estudio cualquiera sea la forma que ésta tuviese, puesto que la representa mediante una malla irregular, en donde el área de los elementos que la componen, es el área del polígono de influencia de los nudos (polígonos de Thiessen), convenientemente distribuidos en el dominio o zona de trabajo. Esto hace posible la densificación de la malla en aquellos lugares donde la evolución o variabilidad freática presenta un mayor interés.

La información necesaria para hacerlo funcionar es: 1) la geometría del área; 2) las condiciones frontera y 3) las características físicas del medio (T: transmisividad y S: almacenamiento).

Con respecto a esto último, cabe señalar la importancia que posee la obtención y recopilación de la información necesaria para la carga del modelo. No debemos olvidar nunca, que lo que pretende es "modelizar" un escurrimiento en un medio poroso, tal como él se presenta en la naturaleza, y que lo que nosotros podamos hacer sólo tenderá a lograr una buena "reproducción" del mismo.

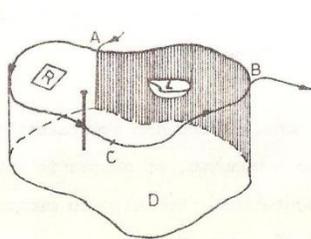
Jamás se debe caer en el error, de pretender adecuar la realidad a las necesidades de funcionamiento del modelo.

En cuanto a los parámetros físicos, y dado que generalmente el medio poroso es anisótropo y no homogéneo, es necesario que ellos procedan de ensayos no puntuales. Por ello se recomienda el ensayo de bombeo como el más adecuado.

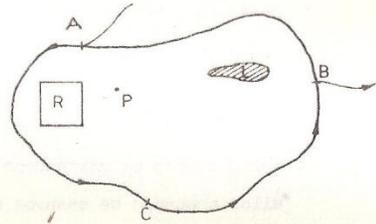
Por otro lado, si éstos cubriesen exhaustivamente el área en estudio, servirían para hacer que el modelo se ajuste a la realidad. Lo que sucede es que el costo de estos ensayos impide tal procedimiento, siendo entonces necesario recurrir a la historia piezométrica. De aquí, que en general, el procedimiento de ajuste del modelo consista en partir de unos pocos T_i medidos, y que se suponen "representativos" del medio; ensayar de reproducir la historia piezométrica, y de no ajustarse, ir corrigiendo los T_i y S_i hasta que ello ocurra.

En ese momento diremos que el modelo se ajusta al fenómeno. Una vez calibrado, es posible interferir en el sistema cambiando las condiciones a las cuales se encontraba sujeto (simulación de embalses adyacentes, extracción de agua por bombeo de pozos, drenes, recarga de riego, evapotranspiración, etc.)

2. FUNDAMENTOS TEORICOS



(fig. 2)



(fig. 1)

Supongamos que nuestro problema consista en conocer el comportamiento del escurrimiento en el interior del medio poroso con frontera $ABCA$, indicado en la fig. 1, en la que el tramo ACB es un río y AB un contorno impermeable, L un pequeño lago interior de nivel constante, P un pozo del que se extrae fluido y R una zona regada.

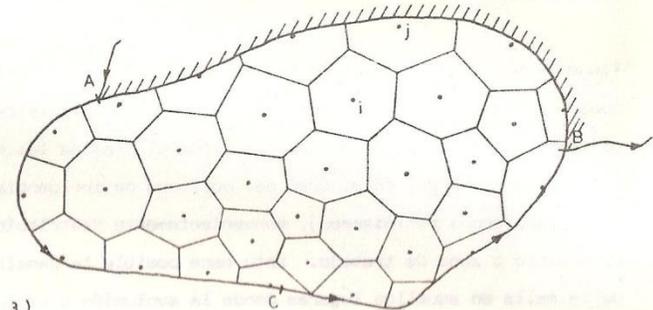
Asumamos que existe a una profundidad finita un apoyo impermeable, y aislemos por un cilindro de directriz $ACBA$ nuestro dominio de trabajo D .

Teniendo en cuenta la incompresibilidad de nuestro líquido, podemos decir que el escurrimiento quedaría definido si en todo instante t , conociésemos la cota de la "superficie libre" (interfase aire-agua para la

cual $p = p_{atm}$) en todo punto del dominio.

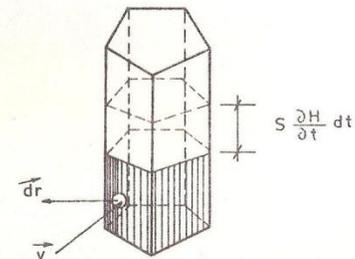
Para resolver este problema es necesario recurrir al análisis numérico, y buscar allí una solución lo suficientemente aproximada a la "verdadera" como para que podamos tomarla por esta última.

Existen diferentes métodos para la solución del sistema, de entre los cuales nosotros hacemos uso del llamado "de los polígonos variables", el que a partir de una división del dominio D en un conjunto de prismas poligonales y un balance de masas para cada uno de ellos, permite encontrar los H_i (cotas de la superficie "libre") en sus respectivos centros (Ver Fig. 3).



(fig. 3)

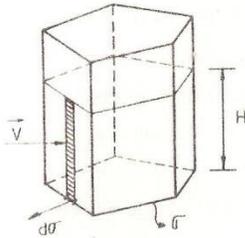
Tomemos un prisma cualquiera, tal como el i y allí hagamos un balance de masas, teniendo en cuenta que el fondo es impermeable y se trata de un líquido incompresible. Deberá ser:



bre una misma vertical:

$$\vec{V} \cdot \vec{d\Omega} = \vec{V} \cdot \vec{d\sigma} H \quad (6)$$

en la que $d\sigma$ es un trozo de directriz (fig.6)



Además según Darcy:

$$V_h = K \frac{\partial H}{\partial n} \quad (7)$$

la que expresa la proporcionalidad entre la velocidad y el gradiente h_i drúelico. La constante k es llamada coeficiente de permeabilidad o conductividad hidráulica.

(fig. 6)

Teniendo en cuenta (5), (6) y (7), podemos escribir la (1):

$$\begin{aligned} \int_{\Omega_i} \vec{V} \cdot \vec{d\Omega} &\approx \int_{\Delta\sigma_1} H_1 v_{n_1} d\sigma + \int_{\Delta\sigma_2} H_2 v_{n_2} d\sigma + \dots + \int_{\Delta\sigma_n} H_n v_{n_n} d\sigma \\ &\approx H_1 k_1 \frac{\Delta H_1}{\Delta n_1} \Delta\sigma_1 + H_2 k_2 \frac{\Delta H_2}{\Delta n_2} \Delta\sigma_2 + \dots + H_n k_n \frac{\Delta H_n}{\Delta n_n} \Delta\sigma_n \end{aligned} \quad (8)$$

donde:

$\Delta n_j = L_{i,j}$ es la distancia entre el centro del elemento i y el contiguo j .

$\Delta\sigma_j = B_{i,j}$ es el lado común al elemento i y al j .

$\Delta H_j =$ es la diferencia entre las alturas medias de los elementos contiguos i y j . Teniendo en cuenta que en el lapso unitario Δt , la cota del punto i evoluciona de $H_{i,t-1}$ a $H_{i,t}$, podemos asumir que entre $t-1, t$ la cota media del elemento es: $(H_{i,t-1} + H_{i,t}) \cdot \frac{1}{2}$. La misma consideración puede hacerse para el elemento j .

De donde que el gradiente $\Delta H / \Delta n$ pueda escribirse:

$$\frac{\Delta H_j}{\Delta n_j} = \frac{H_{i,t-1} + H_{i,t} - (H_{j,t-1} + H_{j,t})}{2 L_{i,j}}$$

y llamando $T = kH$ transmisividad del medio, la que tratada de la misma manera que el gradiente, permite escribir al sumando j de la (8) de la siguiente manera:

$$H_i k_j \frac{\Delta H_j}{\Delta n_j} \Delta\sigma_j = \frac{T_i + T_j}{2} \frac{(H_{i,t-1} + H_{i,t} - (H_{j,t-1} + H_{j,t})) B_{i,j}}{2 L_{i,j}}$$

y en definitiva el término entre paréntesis de la (1)

$$-\int_{\Omega_i} \vec{V} \cdot \vec{d\Omega} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} (H_{j,t} - H_{i,t} + H_{j,t-1} - H_{i,t-1}) \quad (9)$$

donde:

$$Y_{i,j} = (T_i + T_j) \frac{B_{i,j}}{2 L_{i,j}}$$

2do. sumando (expresión (2))

$$\int_{A_i} q_i dA = Q_{i,t} \quad (10)$$

donde:

$Q_{i,t}$ es el caudal que ingresa en el elemento i durante todo el lapso Δt .

Término independiente (expresión (3))

$$\int_{A_i} S_i \frac{\partial H_i}{\partial t} dA \approx \frac{S_i A_i}{\Delta t} (H_{i,t} - H_{i,t-1}) \quad (11)$$

teniendo en cuenta (9), (10) y (11) podemos escribir ahora en forma discreta la (4).

$$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} (H_{j,t} - H_{i,t} + H_{j,t-1} - H_{i,t-1}) + Q_{i,t} = \frac{S_i A_i}{\Delta t} (H_{i,t} - H_{i,t-1}) \quad (12)$$

ecuación que gobierna el balance de masas en el elemento i , y en el instante t .

Esta ecuación puede ordenarse de la siguiente manera:

$$H_{i,t} \left(\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} + \frac{S_i A_i}{\Delta t} \right) - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} H_{j,t} = H_{i,t-1} \left(\frac{S_i A_i}{\Delta t} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} \right) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} H_{j,t-1} + Q_{i,t} \quad (13)$$

en la que el término lineal de la izquierda contiene como variables el H_i del polígono i y los H_j de todos los polígonos que se interactúan con él. Esta ecuación puede ser planteada para los N polígonos en que se ha partido el dominio de trabajo D , lo que conduciría al siguiente sistema lineal de ecuaciones, en el cual por limpieza de escritura no hemos colocado el subíndice t :

$$[C] \{H\}^T = \{D\}^T$$

donde: $\{H\} = \{ \check{H}_1, \check{H}_2, \dots, \check{H}_{l-1}, \overset{*}{H}_l, \check{H}_{l+1}, \dots, \check{H}_{k-1}, \overset{*}{H}_k, \check{H}_{k+1}, \dots, \check{H}_n \}$

es un vector cuyos elementos son los H_i de los polígonos.

Estos en algunos casos, serán puntos frontera o interiores en los que la cota freaticométrica es conocida en t_0, t_1, \dots, t_n y que individualizamos de la siguiente manera: $\overset{*}{H}$

En otros casos serán alturas freaticométricas incógnitas de puntos interiores o fronteras impermeables (que hemos individualizado por: \check{H}). Introduciendo esta última notación y ordenando convenientemente las matrices $[D]$ y $[C]$ podemos escribir la ecuación (14) de la siguiente forma.

$$[C] \begin{Bmatrix} \overset{*}{H} \\ \check{H} \end{Bmatrix}^T = \{D\}^T \quad (14)$$

$$\text{ó} \quad [C] \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \check{H} \end{Bmatrix} + [C] \begin{Bmatrix} \overset{*}{H} \\ \check{H} \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix} = \{D\}^T$$

$$\text{y} \quad [C] \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \check{H} \end{Bmatrix} = \{D\}^T - [C] \begin{Bmatrix} \overset{*}{H} \\ \check{H} \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (15)$$

de órdenes $(N \times N) \quad (N \times 1) \quad (N \times 1) \quad (N \times N) \quad (N \times 1)$

Expresión en la que existirán M polígonos de $\overset{*}{H}$, de donde surge que en (15), existen M ecuaciones super-abundantes. Si en ambos miembros, eliminamos las líneas que plantean el cálculo de $\overset{*}{H}_i$ cuando éste es conocido, llegamos al siguiente sistema $(N-M) \times 1$ el que es bandeado y simétrico:

$$[A]_t \{ \check{H} \}_t^T = \{B\}_t^T \quad (16)$$

en la que $[A]$ resulta de eliminar en $[C]$ las filas en correspondencia con $\overset{*}{H}_i$ y $\{B\}^T$ idem con el miembro de la derecha. Los elementos de $[A]$ tendrían, (generalizando), la siguiente estructura:

$$A_{i,i} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} + \frac{S_i A_i}{\Delta t} \quad A_{i,j} = - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j}$$

y uno de $\{B\}$

$$B_i = H_{i,t-1} \left(S_i A_i / \Delta t - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} \right) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} H_{j,t-1} + Q_{i,t} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n Y_{i,j} \check{H}_{j,t}$$

en la que los $H_{i,t-1}$ y $H_{j,t-1}$ son valores conocidos en el instante t .

3. ORGANIZACION DEL MODELO SIMEF (Simulación de la Mecánica Freática)

El modelo confeccionado refleja muy estrechamente las caracterís
ticas del computador del cual disponíamos. Por ello, no cree-
mos que sea conveniente correrlo en un computador con más dispo-
nibilidad de memoria activa, sin antes haberlo modificado conve-
nientemente.

En efecto, el computador usado fue un IBM 1130 con una unidad
central de proceso que posee una memoria principal con capaci-
dad para almacenar 0 K palabras de 16 bits y una memoria auxi-
liar (1 disco) capaz de almacenar 500 K palabras de 16 bits.
Las unidades de entrada son dos: una lectora de cinta perforada
y el teclado de consola; y las unidades de salida son una impre-
sora de consola y una perforadora de cinta.

Este computador permite tratar una partición del dominio de tra-
bajo de hasta 500 polígonos, la que se consideró suficiente para
el caso que debimos estudiar. Su estructura permite mediante
ligeras modificaciones elevar ese número a 1.000 polígonos.

El modelo consta de 10 programas vinculados, cuyos nombres y
funciones son los siguientes:

LECTU: Carga ficheros y analiza coherencia de matriz de conec-
tividad.

IMDAT: Imprime lo cargado en fichero.

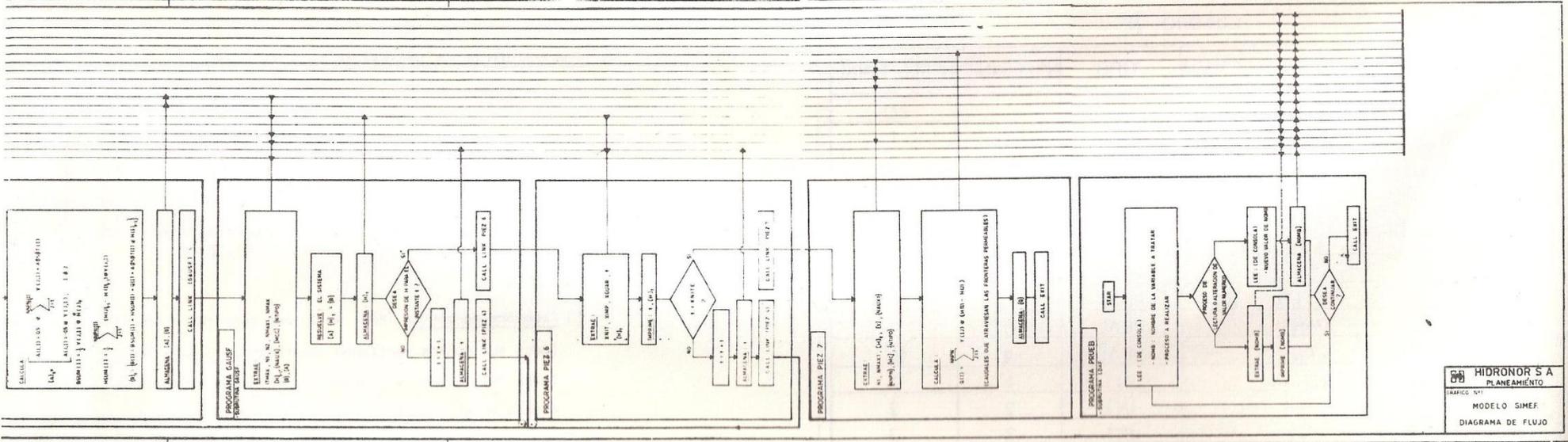
PIEZ 1 }
PIEZ 2 } RESUELVEN el sistema $[A] \{H\}^T = \{B\}^T$, para ello se vincu-
PIEZ 3 } lan usando el disco como memoria auxiliar.
PIEZ 4 }
GAUSE :

PIEZ 6: Imprime $\{H\}_t$ $t = N1, N2, N3$

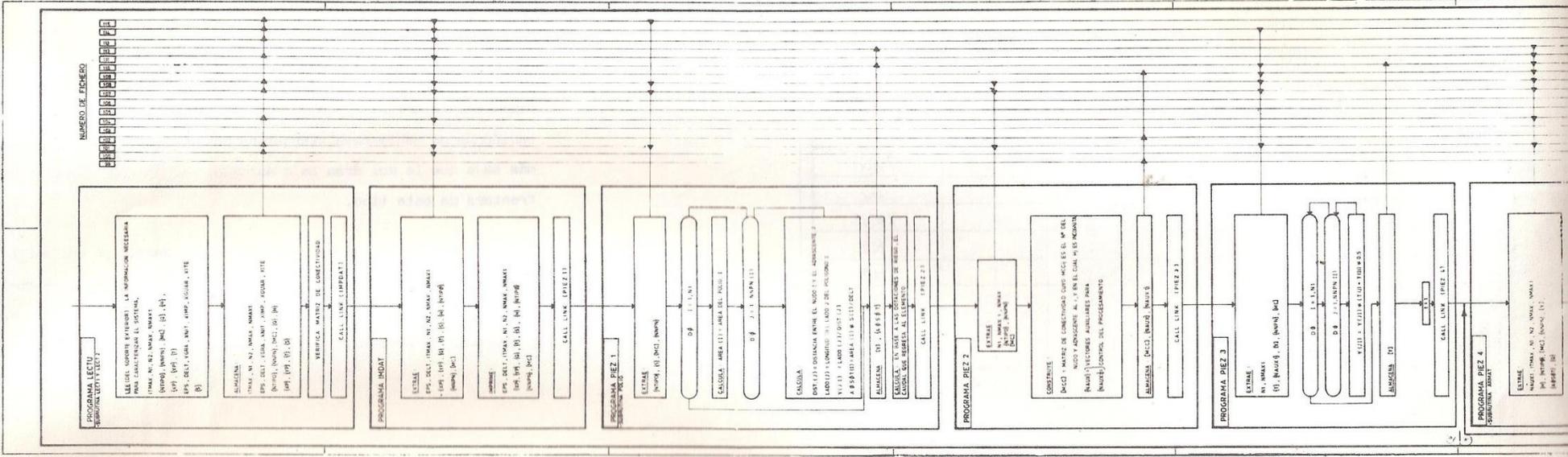
PIEZ 7: Imprime los caudales a través de las fronteras permeables.

PRUEB: Programa que permite interrogar o alterar los ficheros des-
de la consola.

En el gráfico N° 1 puede verse la organización de los mismos, y el uso
que hace de los ficheros. En la memoria auxiliar los 15 ficheros usa-
dos ocupan un espacio de 29.4 K palabra de 16 bits. Su estructura pue-
de observarse en el cuadro N° 1.



HIDRONOR S A
 PLANEAMIENTO
 MODELO SIMEX
 DIAGRAMA DE FLUJO



NUMERO DE TRABAJOS

MODELO S.I.M.E.F.
ORGANIZACION DEL FICHERO

CUADRO Nº 1

FICHA	VARIABLE ALMACENADA	TIPO	Nº REG. INIC	Nº REG. FINAL
9 9	NAUX (20)	INT	1	20
1 0 0	EPS	REAL	1	1
1 0 0	DELT	REAL	2	2
1 0 0	YGRA	REAL	3	3
1 0 0	XNIT	REAL	4	4
1 0 0	XIMP	REAL	5	5
1 0 0	XGUAR	REAL	6	7
1 0 0	XITE	REAL	7	8
1 0 0	PAR 6	REAL	8	9
1 0 0	PAR 7	REAL	9	10
1 0 1	ITMAX	INT	1	1
1 0 1	N1	INT	2	2
1 0 1	N2	INT	3	3
1 0 1	NMAX	INT	4	4
1 0 1	NMAX1	INT	5	5
1 0 1	NTIPØ (N1)	INT	6	5+N1
1 0 2	MCC (N1,7)	INT	1	7N1
1 0 4	H(N1)	REAL	1	N1
1 0 5	A(7*N1)	REAL	1	7*N1
1 0 6	B(N1)	REAL	1	N1
1 0 7	NNPN(N1)	INT	1	N1
1 0 8	MC(N1,7)	INT	1	7xN1
1 0 9	NAUX1 (20)	INT	1	20
1 1 0	Y(7*N1)	REAL	1	7*N1
1 1 1	Q (N1)	REAL	1	N1
1 1 2	AØSØT (N1)	REAL	1	N1
1 1 3	XP (N1)	REAL	1	N1
1 1 3	YP (N1)	REAL	1+N1	2N1
1 1 4	T (N1)	REAL	1	N1
1 1 5	S (N1)	REAL	1	N1

4. PREPARACION DE LA INFORMACION PARA SU CARGA

Lo primordial aquí es definir el problema en forma acabada.

El primer paso consistirá en la elección de la frontera del área a modelizar. Esta, una vez definida, deberá segmentarse en base al comportamiento que va presentando a lo largo de su recorrido, pero cada uno de esos segmentos deberá encuadrarse en alguna de las dos categorías siguientes:

1) Frontera permeable (FP): definimos como tal a aquella para la cual todos sus puntos mantienen constante la altura freaticométrica a lo largo del tiempo, y cualquiera sean las condicionantes del escurrimiento en el interior del dominio que ella define. Puede ser considerado así un lago, un río o canal de riego comunicado con la napas, un canal de drenaje, etc. En la figura 1, la frontera ABC es un buen ejemplo.

2) Frontera impermeable (FI): será para nosotros aquella que como la palabra lo indica, no permite el tránsito de fluido entre el exterior y el interior del dominio. El caso típico es el de la estratificación de un monte cuya estructura posea una permeabilidad mucho más baja que la del área bajo estudio. En la fig. 1 AB es una frontera de este tipo.

Una vez hecho esto, es necesario hacer la partición del espacio interior, usando para ello figuras poligonales (fig. 3). Estas se construyen teniendo en cuenta que son "polígonos de influencia en el sentido de Theissen" de puntos que se hallan en su interior.

Esa característica permite que la construcción sea hecha automáticamente por el SIMEF, bastando para ello entregarle al computador las coordenadas de esos puntos, la forma en que éstos se vinculan y el tipo de cada nudo (frontera o no).

Las coordenadas deberán referirse en un sistema cartesiano x, y tal como el indicado en fig. 9, y que para ese caso se hallan tabulados en el cuadro N° 3.

También en ese cuadro se halla transcrita la matriz de conectividad, que es la que describe la vinculación (conexión en el sentido Theassen) entre los diferentes puntos (o nudos) que describen la geometría.

La construcción de esta matriz exige conocer qué nudos son los que se conectan entre sí, para ello y teniendo en cuenta las propiedades de las mediatrices de un triángulo, se recurrirá al siguiente proceso con el objeto de elegir los puntos (o nudos) y definir cómo éstos se vinculan.

Se partirá el dominio en estudio mediante una red de triángulos, tan parecido a un equilátero como ello sea posible. Se densificarán éstos en los lugares de interés (ver plano 1). Resulta entonces que:

- a) Los vértices de esos triángulos definen los puntos cuyas coordenadas x e y es necesario entregar; y que,
- b) los puntos comunes a un mismo triángulo definen cuales se conectan entre sí.

En cuanto al tipo de nudo, éste puede ser interior o frontera.

Los nudos interiores, de la misma manera que para los frontera, deben encuadrarse en alguno de los siguientes casos:

1) Nudo interior con altura piezométrica conocida (IC)

El ejemplo típico es un canal secundario cuyo espejo de agua forma parte de la superficie piezométrica en el lugar.

2) Nudo interior con altura piezométrica incógnita (NI)

El modelo verifica el armado de esta matriz e indica el error que pudiera haberse cometido.

En cuanto a la carga del resto de los parámetros, ésta no ofrece mayores inconvenientes, bastando para ello la lectura detallada de los párrafos siguientes y el ejemplo de carga.

5. USO DEL SIMEF

Para preparar la información a ser leída por este modelo, es necesario proceder según se indica en 5.2, donde cada línea de la tabla se corresponde con una orden de lectura. Con el objeto de poder interpretarla, incluimos en 5.1 el glosario de las variables allí mencionadas.

Debido a la configuración del modelo (cada programa funciona como un operador aplicado al fichero), es posible detener el procesamiento e iniciarlo a partir de cualquiera de los programas. Esta característica es particularmente útil por lo siguiente:

a) Recarga de información para la simulación del mismo fenómeno:

Como se puede observar más adelante, la información necesaria para la carga es particularmente copiosa, y constituye (sobre todo con nuestra configuración) una operación delicada y engorrosa. Por ello, cuando sea necesario operar en un dominio cuyas características a cambiar sean pocas, éstas se pueden alterar, sin necesidad de recurrir al LECTU para una recarga total, usando el programa PIUEB (el que permite intervenir los ficheros).

Una vez hecho ésto, se comienza nuevamente el cálculo llamando adecuadamente a PIEZ 1 ó PIEZ 4 según sea el caso.

b) Intervención de ficheros:

Cuando sólo se trate de cambiar unos pocos parámetros, se podrá hacer uso del PRUEB, el que a medida que se ejecuta vá indicando los sucesivos pasos necesarios para su uso. Por ello, no damos aquí mayores detalles.

c) Interrupción y prosecución del cálculo:

Cuando sea necesario interrumpir el cálculo (por ejemplo, para cambiar los parámetros de impresión de resultados), éste podrá continuarse llamando a PIEZ 4.

5.1 Definición de las variables de entrada

ITMAX = Nº máximo de iteraciones que se hacen para la aplicación del método de Gauss-Seidel.

NI = Nº total de puntos (o nudos).

NI2 = Nº de puntos con cota freática constante (puntos - frontera permeable y puntos interiores pertenecientes a un canal, lago o laguna).

NIWA = (< 120) Nº máximo de ecuaciones que se tratan por VEZ mediante el método iterativo de Gauss-Seidel.

(NIWA) MAXI = (< 60) Nº máximo de ecuaciones que puedan ser tratadas durante el cálculo de los coeficientes de la ecuación: $[A] \{H\}^T = \{B\}^T$

$$\text{NTIPO (I)} = \text{tipo de nudo} \begin{cases} = -2 \text{ (nudo interior con H cte. y conocido.)} \\ = -1 \text{ (nudo sobre una frontera permeable con H cte. y conocido.)} \\ = 0 \text{ (nudo sobre una frontera impermeable con H incógnita.)} \\ = 1 \text{ (nudo interior con H incógnita.)} \end{cases}$$

[MC] = Matriz de conectividad, en la que MC_{ij} es el j-ésimo nudo que se conecta con el i. Deberá ser siempre $j \leq 7$. Los MC_{ij} deben ir ordenados de tal manera que comiencen con un nudo frontera, y terminen con otro frontera. (sólo en el caso en que i sea un nudo frontera).

{MNP} = Vector que brinda información de la matriz de conectividad, en el que MNP_i indica cuantos nudos se hallen conectados al i.

{Q} = Vector en el que Q_i es el caudal sumidero (-) o fuente (+) en el nudo i; en este último caso Q_i se mide en l/seg/Ha (dotación continua de riego).

{XP}, {YP} = Vectores en los que XP_i e YP_i son las coordenadas del punto i.

{T} = Vector en el que T_i es la transmisividad del medio poroso en el entorno del punto i.

$\{S\}$ = Vector en el que S_i es el coeficiente de almacenamiento del medio poroso en el entorno del punto i .

EPS = Error máximo permitido entre un H_i^k estimado en la iteración k y un H_i^{k+1} estimado en la iteración siguiente, en el proceso de cálculo de Gauss-Seidel.

DELTA = El cálculo de H se hace para $t, t+\Delta t, t+2\Delta t, \dots, t+XNITE \Delta t$ veces.

YGRA = Parámetro que controla la impresión de los parámetros leídos:

- Si: (1) YGRA = 2 impresión de EPS, DELTA, ITMAX, NI, N2, NMAX, NMAX1.
 (2) YGRA = 1 imprime todo lo leído.
 (3) YGRA = 0 imprime (1) y los vectores $\{Q\}, \{T\}, \{S\}, \{XP\}, \{YP\}$ y $\{H\}$.
 (4) YGRA = -1 imprime (1) y la matriz $\{MC\}$ junto a los vectores $\{NPN\}$ y $\{NTIPO\}$.

XNITE = (Ver definición DELTA) N° de iteraciones.

XIMP = Parámetro que controla el gráfico de salida. A causa de él se imprime $\{H\}$ cada XIMP veces.

XGUAR = Parámetro interno, en la partida deberá igualarse a 1.

XITE = Parámetro interno que conserva el número de la iteración siguiente, en la partida deberá igualarse a 1.

PA1, PA2 = Parámetros auxiliares, igualarlos a 1.

5.2 Introducción de los Datos de Entrada (2)

Nº de orden	Variables	Formato
1	ITMAX, NI, N2, NMAX, NMAX1	5I3
2	NTIPO (I), I=1, NI	7I3
3	NPN (I), I=1, NI	7I3
4	(MC(I,J), I=1, NI), J=1,7	7I3
5	Q (I), I=1, NI	8F10.0
6	H(I), I=1, NI	8F10.0
7 (1)	(XP(I), I=1, NI), (YP(I), I=1, NI)	8F10.0
8	T(I), I=1, NI	8F10.0
9	EPS, DELTA, YGRA, XNITE, XIMP, XGUAR, XITE, PA1, PA2	8F10.0
10	S(I), I=1, NI	8F10.0

(1) - Un vector va inmediatamente detrás del otro (sin espacios en blanco que los separen).

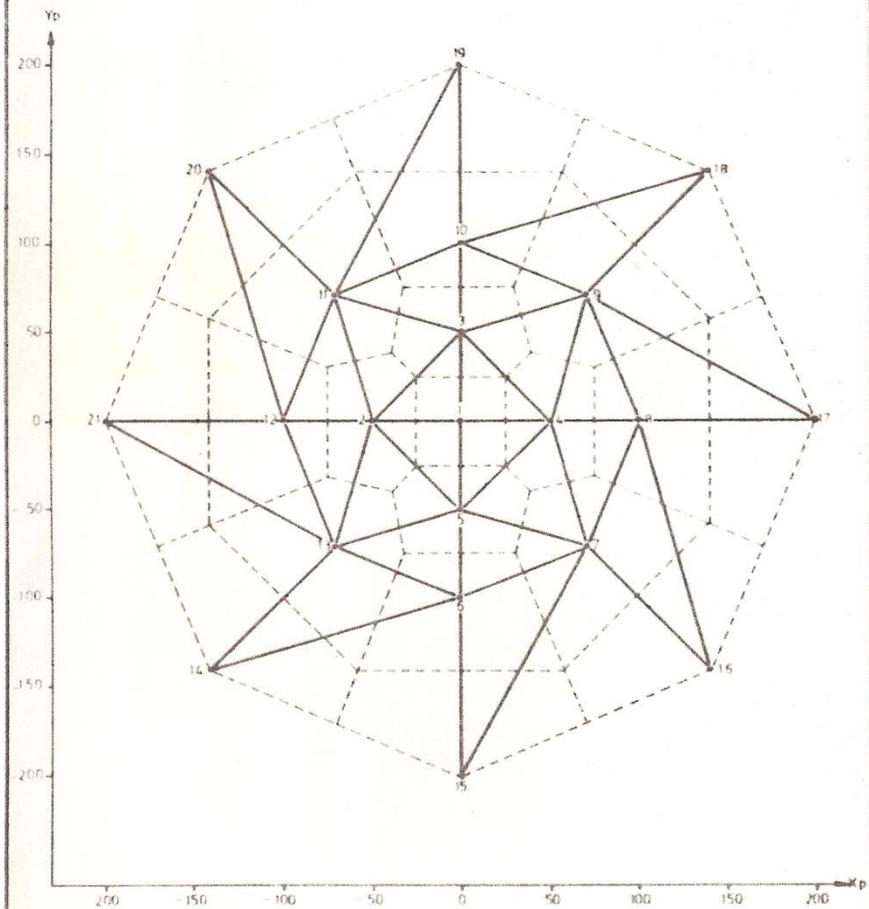
(2) - Subiendo la llave 13 imprime las áreas.

5.3 Unidades utilizadas

Los parámetros $Q, H, (XP, YP), T, DELTA, EPS$, deben ser expresados en las mismas unidades usándose metros para longitud, y segundos para tiempo.

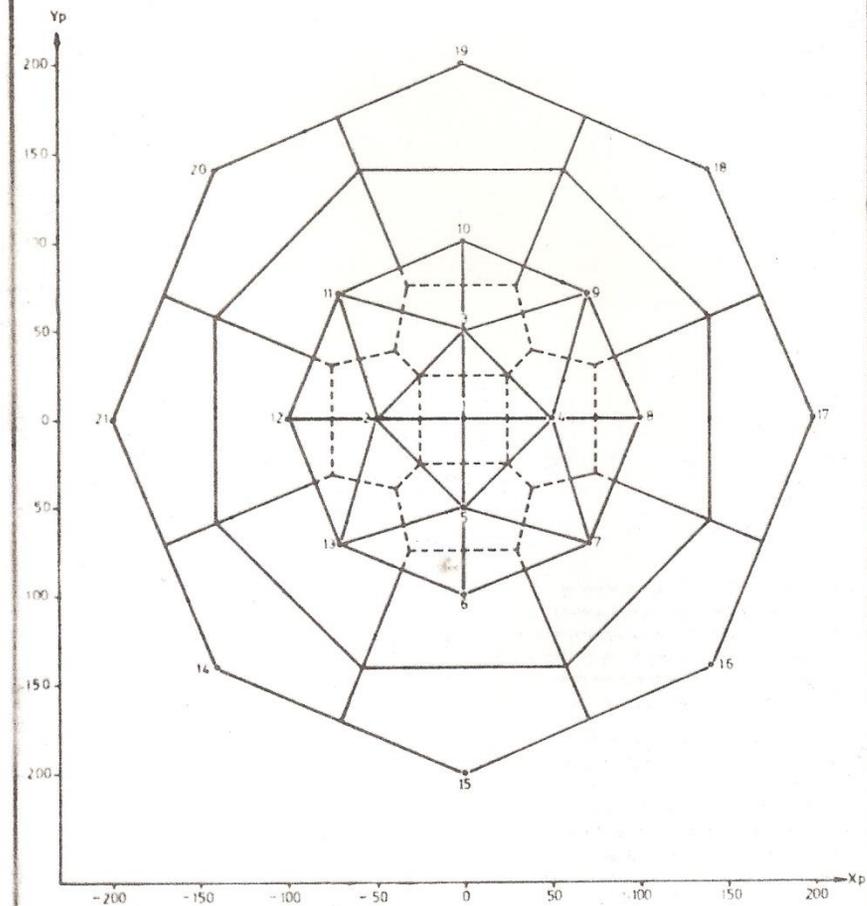
PARTICION MEDIANTE
MALLA DE TRIANGULOS

FIG. 8



USO DE LOS POLIGONOS
CUANDO LA PARTICION EN
TRIANGULOS NO ASEGURA LA
CONEXION ENTRE PUNTOS

FIG. 9



CUADRO N° 4

IMPRESION DE $\{H\}_t$ $\{Q\}$

```

*****
S MANTO FREATICO
*****

```

Q	H	* NUDO	H	* NUDO	H	* NUDO	H	* NUDO	H	* NUDO	H	* NUDO	H	* NUDO	H						
14.88	*	4	16.23	*	7	16.62	*	10	17.00	*	13	16.72	*	16	16.74	*	19	17.56	*	22	0.00
16.23	*	5	16.15	*	8	16.60	*	11	16.89	*	14	16.71	*	17	16.80	*	20	17.15	*	23	0.00
16.36	*	6	16.37	*	9	16.83	*	12	16.88	*	15	16.63	*	18	17.17	*	21	16.76	*	24	0.00

PROSEGUIR CON EL CALCULO (SI C/RO)

```

*****
VALORES QUE PASAN ATRAVES DE LAS FRONTERAS PERMEABLES
*****
AL * CASUAL *
*****
1 * 0.1150E-02 *
5 * 0.9500E-03 *
6 * 0.1300E-02 *
7 * 0.1100E-02 *
8 * 0.3000E-02 *
9 * 0.8000E-02 *
3 * 1.5000E-02 *
1 * 0.9100E-03 *

```

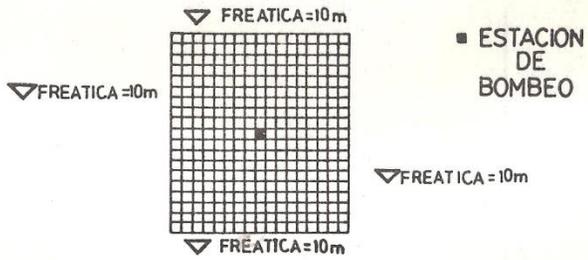
6. APLICACION Y ENSAYOS REALIZADOS

6.1 ENSAYO REALIZADO PARA CAMPO RECTANGULAR CON ESTACION DE BOMBEO AL CENTRO.

Este ensayo fue realizado para observar la evolución a lo largo del tiempo del manto freático bajo condiciones de bombeo. Las curvas de abatimiento fueron graficadas para distintos intervalos de tiempo y comparadas con las calculadas a través de la ecuación de THEIS (ver gráfico adjunto).

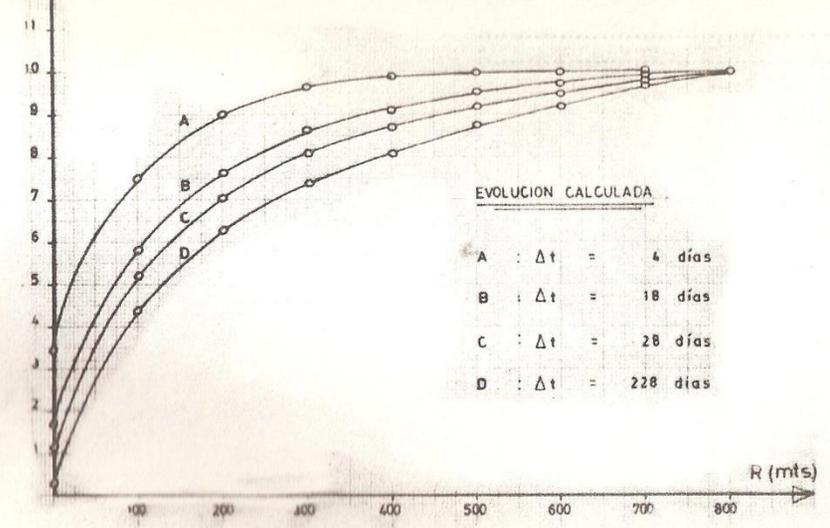
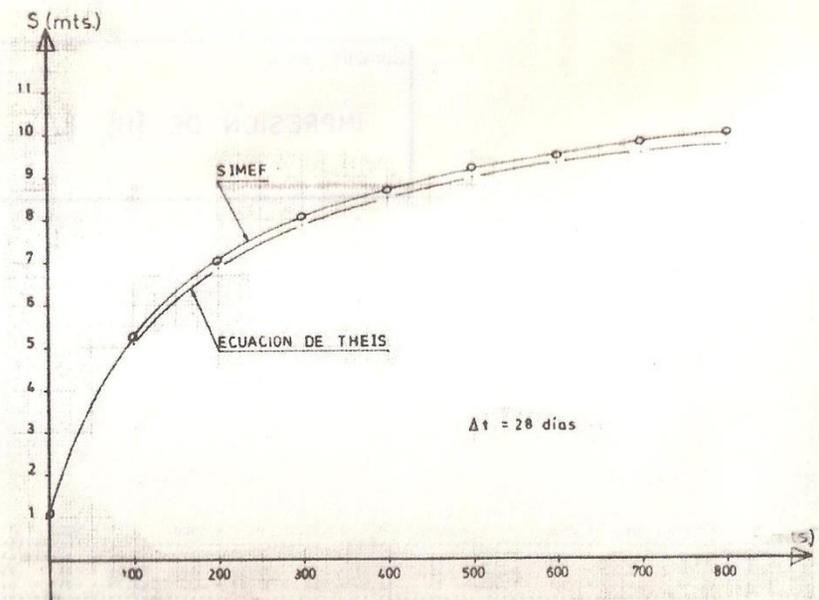
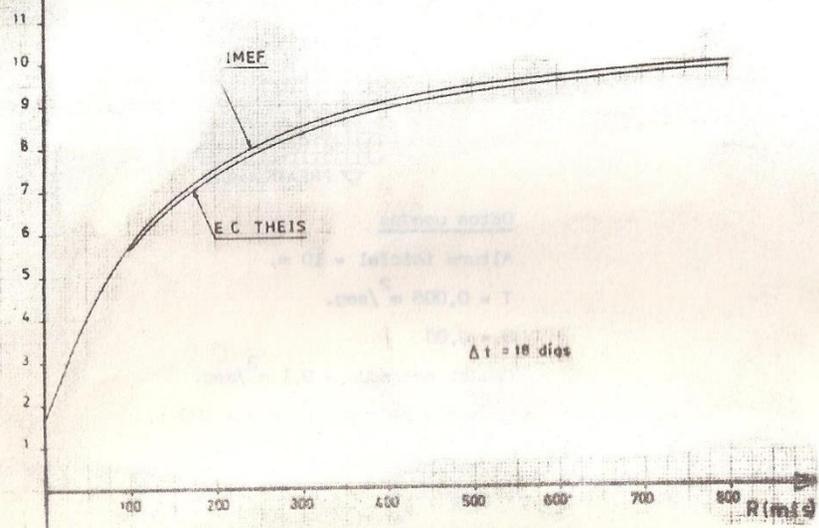
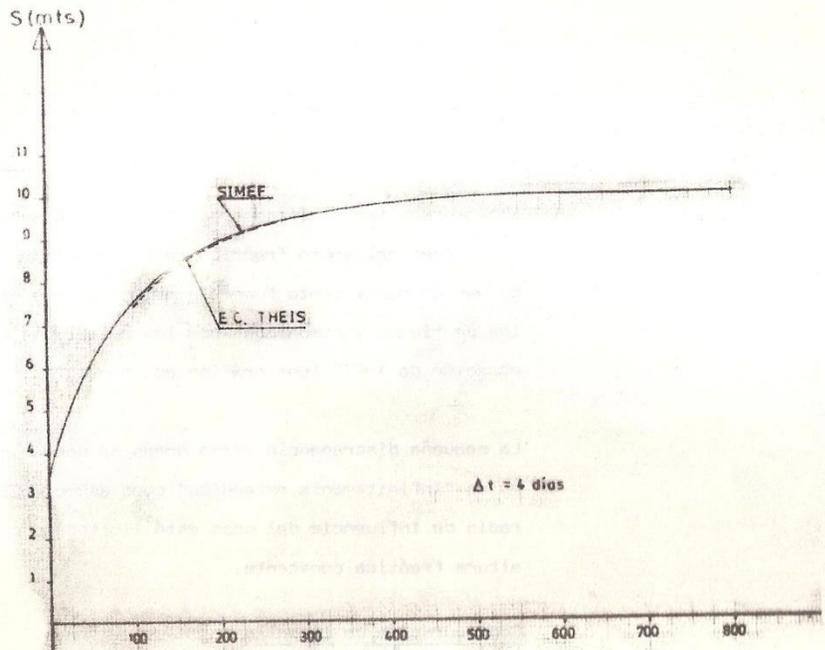
La pequeña discrepancia entre ambos se debe a que el acuífero no es "infinitamente extendido" como asume THEIS, sino que el radio de influencia del pozo está limitado por una frontera de altura freática constante.

Configuración de la malla



Datos usados

- Altura inicial = 10 m.
 - $T = 0,006 \text{ m}^2/\text{seg.}$
 - $S = 0,08$
 - Caudal bombeado = $0,1 \text{ m}^3/\text{seg.}$
 - Longitud lado cuadrícula = 100 m.
- Se considera la frontera como permeable y de altura freática cte. ($h = 10 \text{ m.}$)



6.2 PLANTEO DEL MODELO EN "EL CHAÑAR"

El Chañar comprende una porción del Valle del Neuquén de aproximadamente 20 Km. y cuyo límite (E) es el límite entre Rio Negro y Neuquén (Plano N° 1).

Esta zona se fue colonizando en tres etapas en el sentido este-oeste del Valle, y la tercera etapa se encuentra actualmente en ejecución.

Originalmente las fuentes de recargas de dicha zona se limitaban a las lluvias (200 mm/año) y al río. Estos aportes, en equilibrio con la evapotranspiración y el drenaje natural del valle, mantenían el nivel freático por debajo de la profundidad crítica para ese tipo textural de suelo.

A medida que se fueron incorporando tierras bajo riego, los aportes provocados por la ineficiencia del mismo, motivaron un ascenso en la napa freática hasta niveles peligrosos por sus conocidas consecuencias.

Estos "domos" creados en la napa cambiaron el sentido de los flujos, y el río comenzó a funcionar como factor de descarga en casi todo el trayecto a lo largo de la colonia.

La falta de drenaje natural para compensar dicha recarga (o el riego), y mantener los niveles freáticos a profundidades razonables para el desarrollo agrícola fue complementada con drenajes artificiales; en este caso, por bombeo de pozos dado que las características físicas del suelo así lo permitían.

Recientemente HIDRONOR S.A. decidió el emplazamiento de un embalse de compensación, cuya presa es de características permeables en las inmediaciones de esta colonia.

Dicho embalse crearía una carga hidráulica de 10 m. sobre el nivel del río y el escurrimiento a través de la presa (1.1/s/por m. de presa) sería interceptado por un canal de drenaje lateral.

Motivados por todo lo expuesto, es que se decidió la elaboración de un modelo matemático que pudiese simular el comportamiento de la freática de toda la zona sujeta a las condiciones que se proyectan para el futuro embalse, analizar el funcionamiento del con-tracanal, y extraer en forma adicional conclusiones que permitan a los agricultores solucionar problemas que poseen en la actualidad. En base a las cuales, éstos podrán elegir el sistema más eficiente de drenaje que les elimine el agua en exceso y deprima la napa a niveles favorables.

De acuerdo a la zona que se eligió para el estudio, se definieron las fronteras de la siguiente manera:

- 1) Al sur, por el río Neuquén cuyos niveles se consideraron como nivel de carga constante.
- 2) Al norte por canales de riego cuya magnitud y profundidad aseguraban un contacto o continuidad con la freática. También se los consideró como potenciales de altura constante.
- 3) Al este y al oeste la altura freática se fijó a través de observaciones freáticas.

El hidroapoyo o piso sobre el cual yace el horizonte aluvional está constituido por arcillas consolidadas que lo hace prácticamente impermeable. El manto aluvional tiene, en general, un espe-

son que varía entre los 8 y 10 m., y salvo en rarisimas excepciones no se encuentran testigos o lentes de arcilla suspendidos ó buzantes en su interior.

Los parámetros físicos del suelo (T y S) se obtuvieron con ensayos de bombeo de los pozos existentes destinados a drenar la primera etapa de la colonia.

El dominio a estudiar se particionó según una malla cuyos nudos se densificaron en los lugares de particular interés (Plano N° 1).

La primer etapa del estudio consistió en simular la configuración de la napa bajo las condiciones en que se encuentra actualmente, para lo cual se eligió la época de no riego, hecho que facilitaba las tareas.

El Plano N° 2 muestra el campo de equipotenciales obtenido, el que a pesar de responder en general a la configuración real de la napa, no ha sido definitivamente ajustado.

En una etapa posterior se introducirán los datos del embalse, y en función del nuevo relieve del manto freático se simularán diferentes sistemas de drenaje (pozos de bombeo, drenaje lineal), hasta encontrar la disposición óptima de los mismos que garantice la permanencia de la napa por debajo de las profundidades críticas, y en equilibrio con la máxima recarga de riego (Primavera-Otoño).