

# **UN PRIMER MODELO DE SIMULACION DEL PROCESO DE INTRUSION DE AGUA DE MAR EN LA ZONA DE VILASECA-SALOU (TARRAGONA)**

## **Resumen**

- 1. Introducción**
- 2. Datos de partida para la realización del modelo**
- 3. Discretización del acuífero. Programa de simulación utilizado**
- 4. Simulación**
- 5. Comentarios al programa de ordenador utilizado**
- 6. Conclusiones**
- 7. Bibliografía**

TIAC'88. Tecnología de la Intrusión en Acuíferos Costeros  
Almuñécar (Granada, España). 1988

**UN PRIMER MODELO DE SIMULACION DEL PROCESO DE INTRUSION DE  
AGUA DE MAR EN LA ZONA DE VILASECA-SALOU (TARRAGONA).**

LOPEZ BRAVO, Juana (\*)  
VIRGOS SORIANO, Luis Ignacio (\*\*)

**Resumen:**

Se simula un perfil vertical utilizando el programa de SANFORD-KONIKOW, coincidiendo con los sondeos Vilaseca- I, II y III. Se compara la situación de la interfase en régimen permanente con la real. Como conclusión se llega a un posible modelo conceptual de funcionamiento del acuífero con un cuaternario costero muy permeable pero salinizado, salvo en los metros más superiores y un acuífero mioceno menos permeable y en el que la cuña salina se introduce varios cientos de metros en régimen permanente.

\* Instituto Geológico y Minero de España. (I.G.M.E.)  
\*\* Investigación y Gestión de Recursos Naturales, S.A. (IGR)

## 1.- Introducción

La zona de estudio se sitúa en la provincia de Tarragona, sistema acuífero nº 74, "Campo de Tarragona" de acuerdo con la nomenclatura del I.G.M.E.

En los últimos años el consumo de agua para abastecimiento en Vilaseca, Salou y La Pineda se ha visto incrementado como consecuencia de la afluencia turística.

Hasta 1965 el abastecimiento a Salou se realizaba exclusivamente con aguas procedentes del Embalse de Riudecanyes. Al aumentar la demanda este suministro resultó insuficiente, lo que obligó al bombeo de bozos.

A partir de 1980, el aumento de las extracciones en pozos situados muy próximos a la costa ha provocado un avance de la intrusión marina en el acuífero cuaternario.

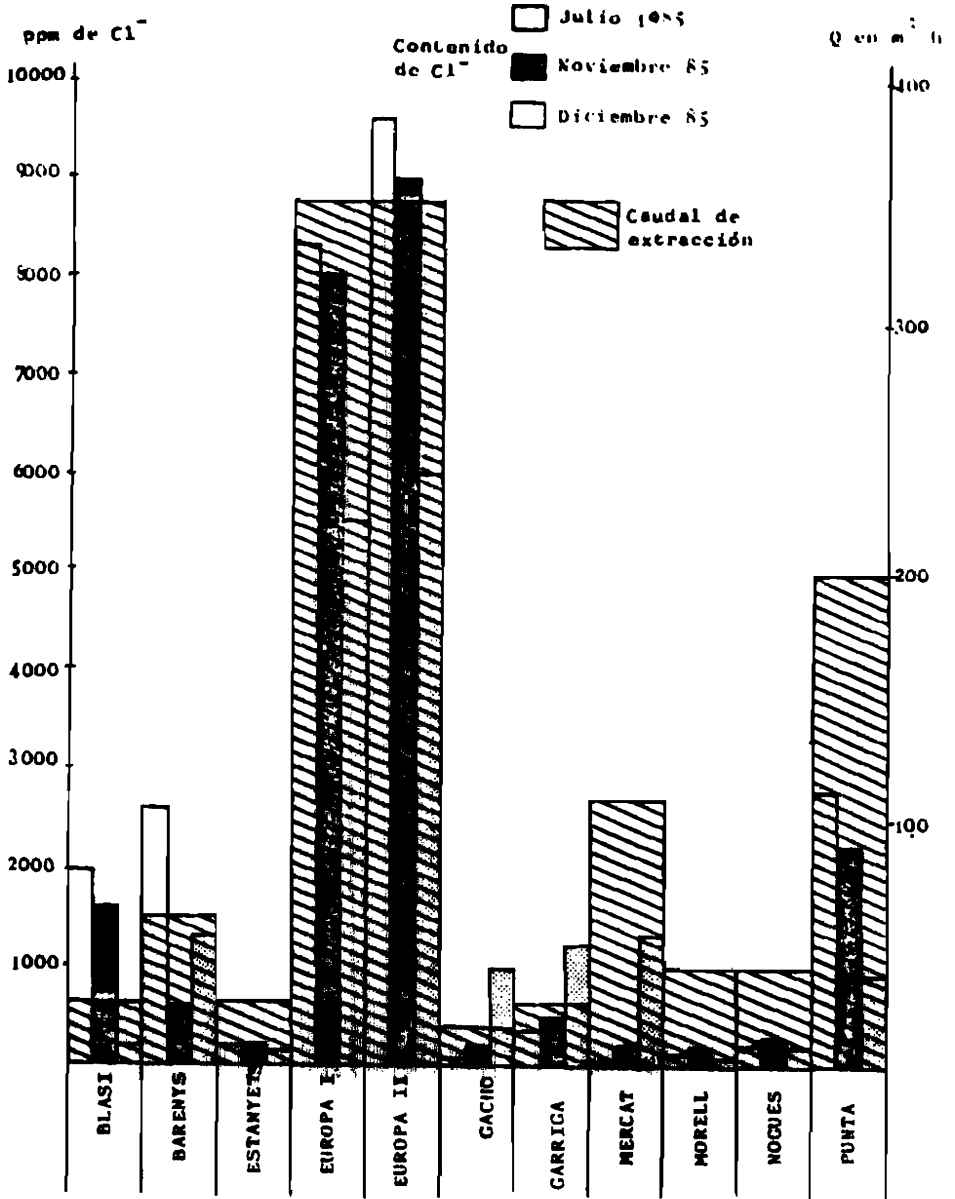
En el cuadro nº 1 se observa como, respecto a la calidad química de las aguas de abastecimiento en la zona, mientras en Vilaseca el principal problema lo constituye el elevado contenido en nitratos, en Salou y La Pineda es la alta salinidad, alcanzando valores superiores a los 5.000 ppm de Cl<sup>-</sup> en el momento de mayor consumo estival (cuadro nº 2).

El Instituto Geológico y Minero de España, que lleva realizando estudios hidrogeológicos en el "Campo de Tarragona" desde el año 1980, ha realizado tres sondeos de investigación, Vilaseca I, II y III con el fin de controlar el avance de la intrusión en la zona y que han servido de apoyo al Estudio Hidrogeológico del abastecimiento a Vilaseca-Salou.

El trabajo que se presenta en esta comunicación es un primer modelo en el que, en una primera fase del mismo, se simula la intrusión de agua de mar en un perfil vertical de Vilaseca-Salou y en posteriores se simulará el proceso de contaminación por nitratos.

POZOS	NUMERO DE INVENTARIO	PROF. ( m )	BOMBEO ANUAL (Dm3)	CLOR. (ppm)	NITR. (ppm)
<b><u>VILASECA</u></b>					
Pozo Nuevo	3318-4-0277	110	220	124	162
Pozo Norte	3318-4-0069	25	253	152	176
Pozo MOPU	3318-4-0227	70	4	-	-
P. Pairach II	3318-4-0201	135	173	79	75
<b><u>SALOU</u></b>					
Barenys	3318-8-0050	12	30	1.300	100
Blasi	3318-8-0065	7	50	177	30
Estanyets	3318-4-0229	19	50	120	80
Europa I	3318-8-0057	9	700	5.500	20
Europa II	3318-8-0064	9	700	5.999	15
Gacho	3318-8-0060	8	30	972	50
Garriga	3318-8-0052	8	50	1.235	80
Mercat	3318-8-0059	7	1	1.334	30
Morell	3318-8-0066	17	150	71	30
Nogues	3318-8-0062	8	80	198	100
Punta	3318-8-0058	8	200	937	25
<b><u>LA PINEDA</u></b>					
Bach 1	3418-1-0250	5	200	2.000	-
Bach 2	3418-1-0214	4	130	5.200	-
Bach 3	3418-1-0222	7	170	6.200	-
Bach 4	3418-1-0215	5	210	7.500	-
Moreras	3418-1-0218	4	100	1.200	-

Cuadro nº 1: Características principales de cada una de las captaciones (Estudio Hidrogeológico de Vilaseca-Salou, IGME).



CUADRO N° 2: RELACION CAUDAL/CLORUROS

NUCLEO DE SALOU

## 2.- Datos de partida para la realización del modelo

La práctica totalidad de los datos utilizados proviene del "estudio hidrogeológico de Vilaseca-Salou" (IGME, 1986) y especialmente del informe "Sondeos para el estudio y control de la intrusión en el sistema 74, Camp de Tarragona" (IGME, 1986).

Aunque la geología es compleja, se puede resumir hidrogeológicamente como un acuífero mioceno subyacente y acuíferos cuaternarios depositados sobre él.

En la figura nº1 pueden verse las isopiezas en 1986 y la situación de los sondeos Vilaseca I, II y III. Las isopiezas están medidas en metros s.n.m. El mapa de transmisividades puede verse en la figura nº 2. Obsérvese la mayor transmisividad del acuífero cuaternario en Salou. En la figura nº 3 están representados los contenidos medios anuales en cloruros del acuífero cuaternario en 1985, existiendo una clara correlación entre extracciones y salinidad en la zona costera.

La columna del sondeo Vilaseca -II, interpretada por testificación geofísica, está reproducida en la figura 4. Un corte geológico muy simplificado y la situación de la interfaz en 1986 pueden observarse en la figura 5.

Otros datos utilizados en el modelo son:

- Temperatura del agua del acuífero..... 20-25 °C
- Porosidad total..... 15 %
- Dispersividad longitudinal..... 30 m
- Relación entre las dispersividad transversal y la longitudinal..... 0,2
- Relación entre la permeabilidad vertical y la horizontal..... 0,1
- Coeficiente de difusión molecular.....  $10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s
- Recarga por lluvia..... 100 mm/año
- Salinidad media del agua de mar en Tarragona..... 36000 mg/l
- Salinidad del agua dulce..... 1000 mg/l
- Relación entre el TSD (mg/l) y la densidad (Kg/m<sup>3</sup>) a la temperatura del acuífero:  
$$\text{Dens} = 7,586 \times 10^{-4} \times \text{TSD} + 999,24$$
- Relación entre el TSD (mg/l) y la viscosidad (Kp.S/m<sup>2</sup>) a la temperatura del acuífero:  
$$\text{Visc} = 1,9897 \times 10^{-10} \times \text{TSD} + 1,0169 \times 10^{-4}$$

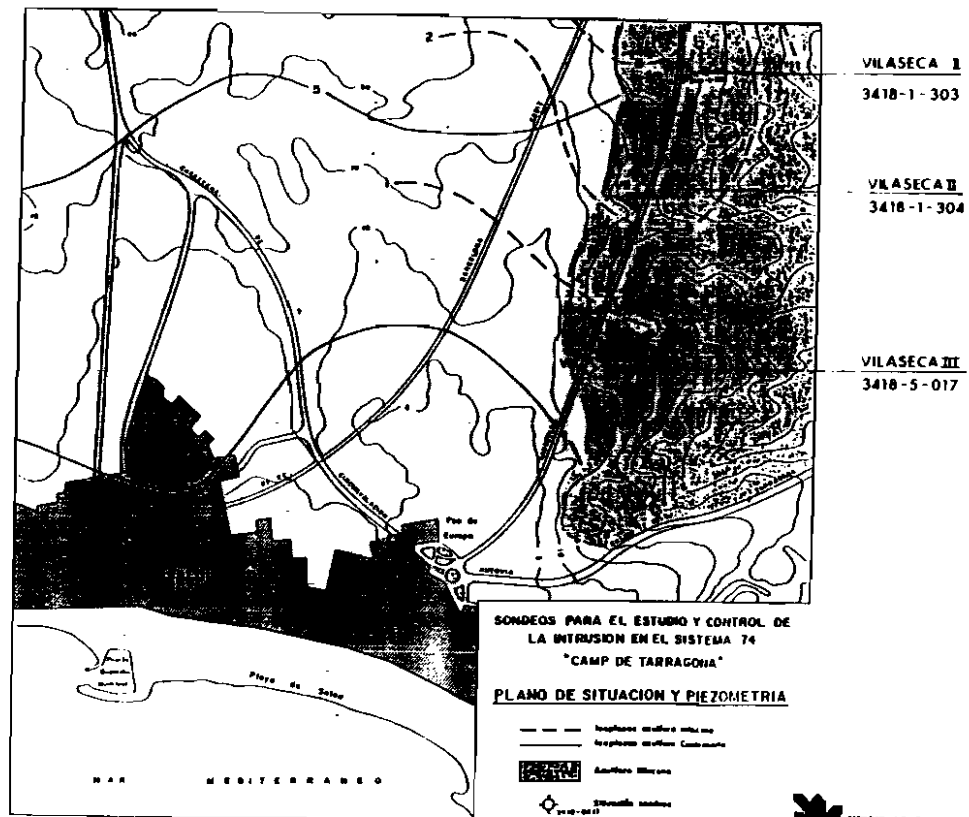
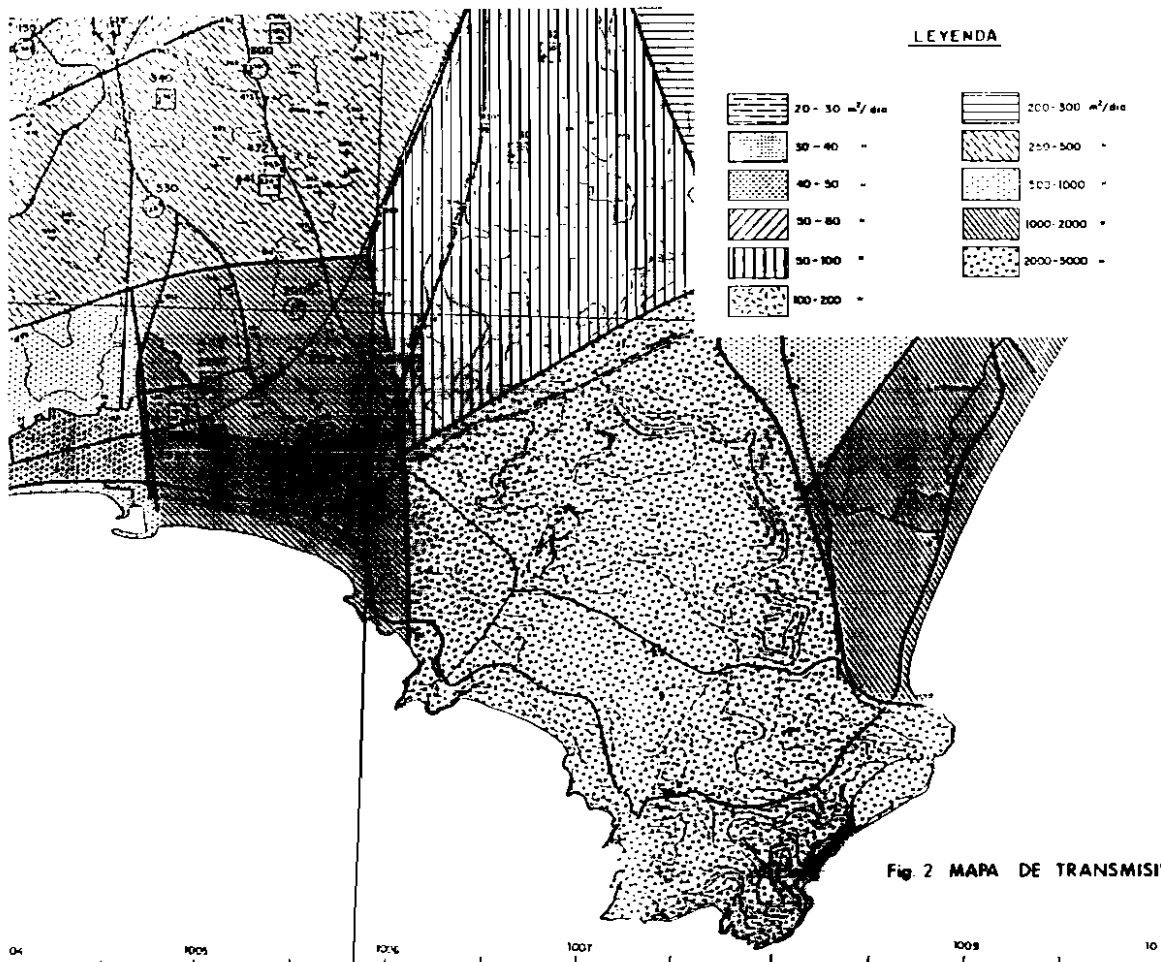


Fig.1 PLANO DE SITUACION Y PIEZOMETRIA





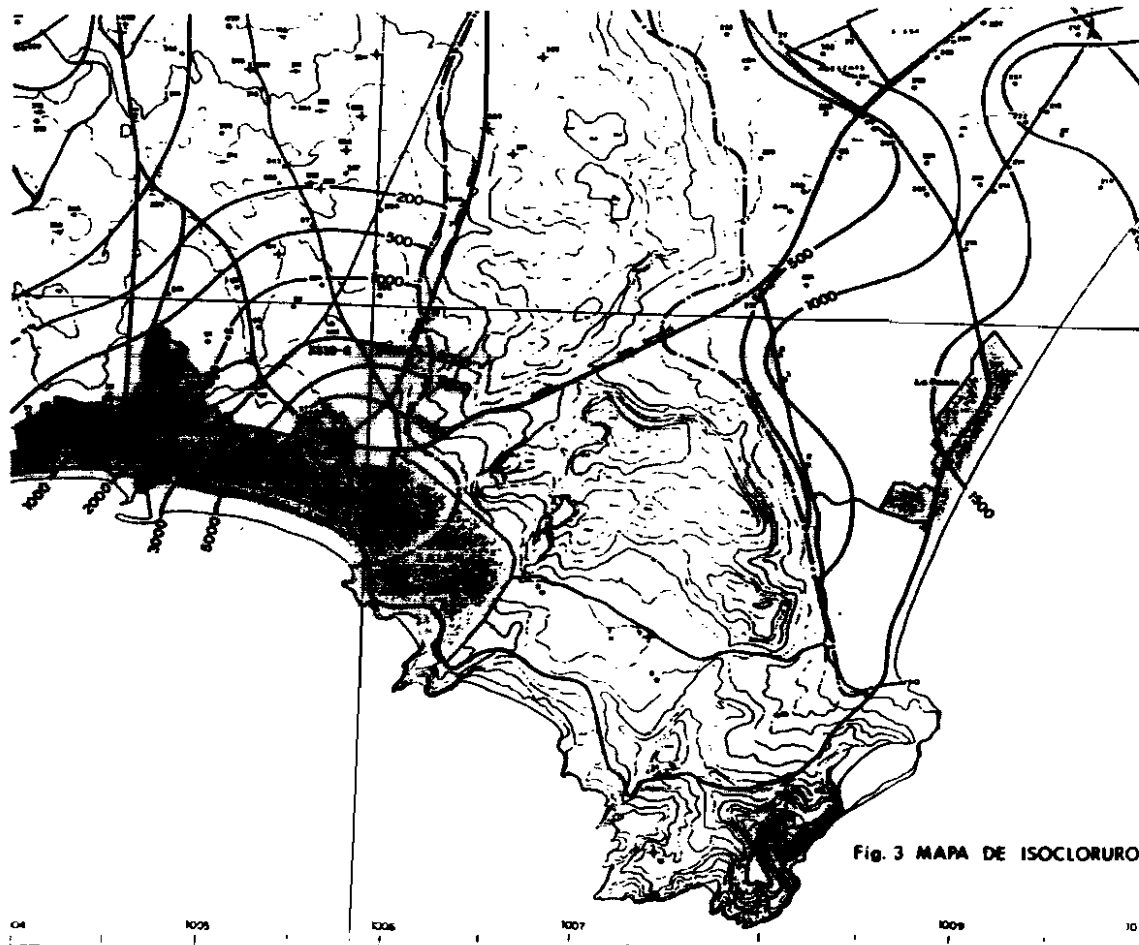


Fig. 3 MAPA DE ISOCLORUROS EN p.p.m.

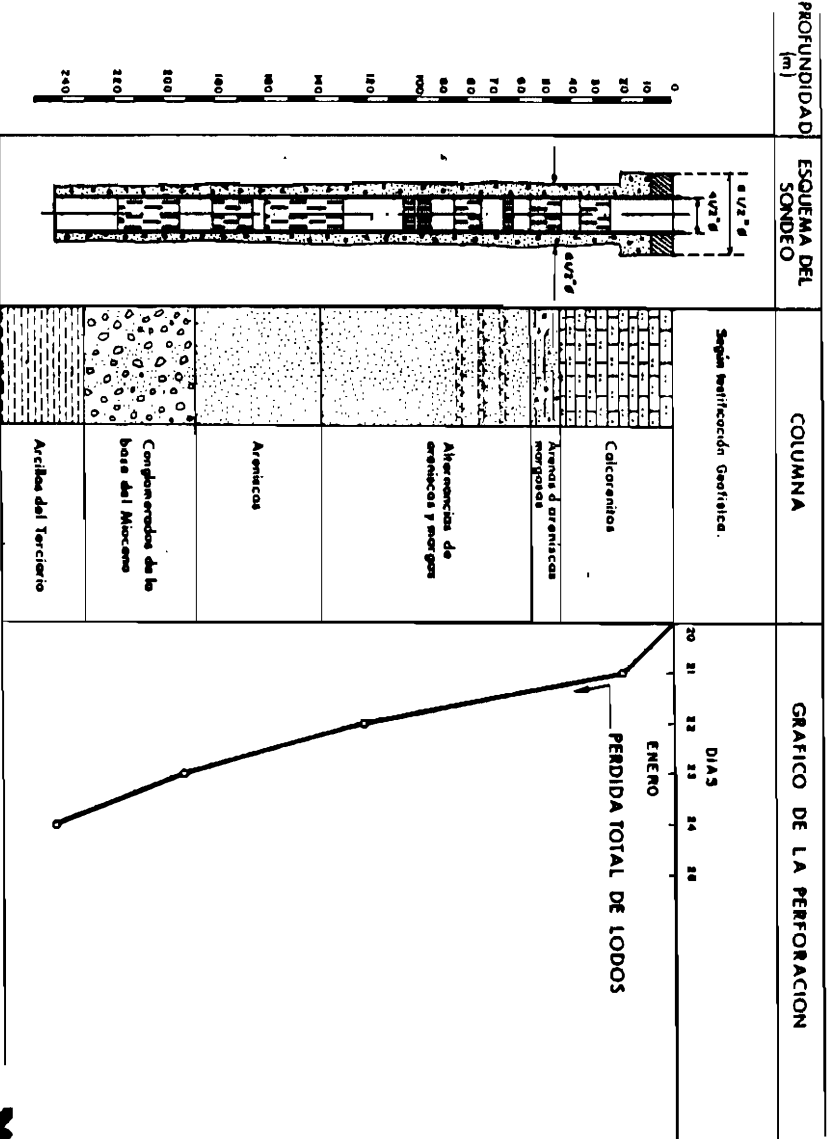
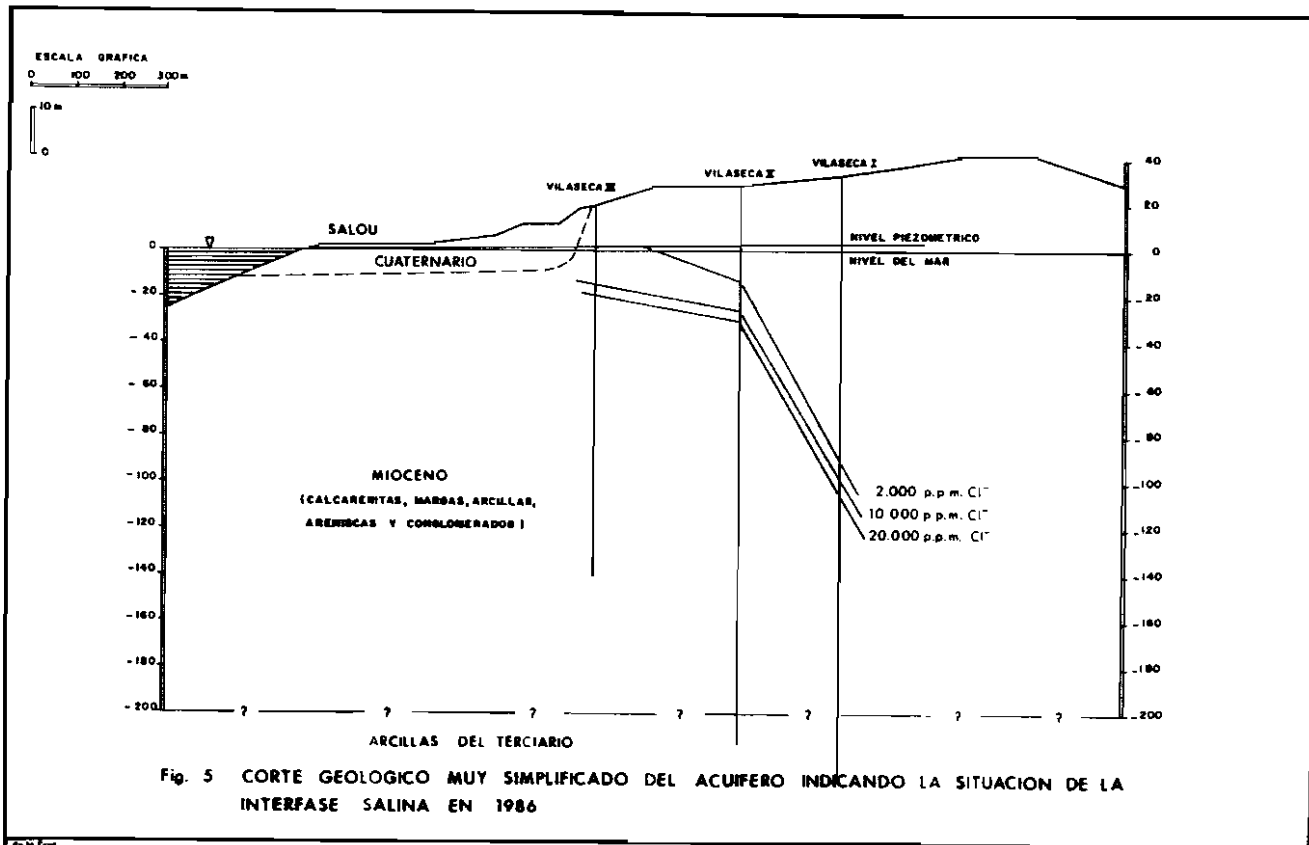


FIG. 4 CUADRO RESUMEN SONDEO VILASECA-II



### 3.- Discretización del acuífero. Programa de simulación utilizado

El acuífero se discretizó en celdas de 10m en la dirección Z y 150m en la dirección X. Los límites del modelo son el sustrato impermeable, un borde superior de recarga, un borde permeable simulado como borde de presión constante, y el mar representado por otro borde de presión constante (no nivel, dado que al haber densidades variables el concepto de nivel carece de validez). El modelo simula en un plano de sección transversal simultáneamente el flujo y transporte-dispersión de como máximo dos solutos o constituyentes solubles, uno de los cuales controla la densidad del agua, que es variable.

El programa es una versión modificada y mejorada del modelo de 1976 de KONIKOW-BREDEHOEFT que simula el transporte y dispersión de un único soluto cuya densidad se considera constante. El modelo modificado calcula la presión del fluido, no los niveles, resolviendo la ecuación del flujo por el método de las diferencias finitas y el transporte de solutos por el método de las características. La densidad del fluido necesita estar referida a uno de los constituyentes, los cuales en la práctica pueden ser salinidad, TDS, conductividad específica o concentración de cloruros.

Se asume que:

- El flujo es bidimensional con uno de los ejes principales paralelos a la gravedad.
- Los constituyentes son conservativos (no reactivos).
- La densidad y viscosidad son función de la concentración y no de otros factores como presión y temperatura.

Aunque el programa original está preparado para trabajar con pies, libras, segundo y ppm, las unidades utilizadas en el modelo han sido kilogramo, metro, segundo y ppm, para lo que hubo que realizar las modificaciones oportunas.

Es de destacar que en el modelo, la permeabilidad viene referida a la permeabilidad intrínseca y que la recarga es por unidad de volumen en el acuífero, parámetros no usuales en otros modelos.

Por último, algunas pequeñas deficiencias del programa original, comentadas en el capítulo 5, nos hicieron perder un tiempo sin duda valioso.

#### 4. - Simulación

Con los datos de partida comentados en el capítulo 2 se simuló la posición de la interfase en régimen estacionario. Para ello fué necesario dar sucesivas pasadas al modelo. Las primeras de tanteo/calibración y las restantes para simular períodos de tiempo cada vez más grandes.

Dado que las partículas tienen una limitación en la máxima distancia que pueden recorrer en cada movimiento, la simulación de largos períodos implica el consumo de largos tiempos de ordenador. Por ello para llegar a la posición de la interfase en régimen estacionario se utilizó un sistema de aproximaciones sucesivas, observando el desplazamiento de la interfase en la pasada anterior y utilizando los resultados de una pasada como entrada para la siguiente. La situación alcanzada finalmente por la interfase está representada en la figura nº 6. Se observa que las curvas de 10.000 y 20.000 mg/l de TSD están más desplazadas hacia el mar de lo que se aprecia en los datos actuales, afectados por los bombeos.

De acuerdo con los resultados del modelo, en el cuaternario ha de haber solamente un nivel superior con agua dulce, estando salinizados los acuíferos subyacentes. Si esta interpretación es cierta, la salinización de los pozos del cuaternario costero en Salou es debido a un proceso de "upconing" más que a un avance en sentido horizontal de la interfase.

En la figura nº 7 está dibujado el mapa de velocidades correspondiente a la posición de la interfase de la figura nº 6. El flujo en la "zona dulce" resbala sobre la interfase aumentando la velocidad según se acerca al mar y con un máximo en el acuífero cuaternario.

En la "zona salada" el movimiento del agua es más complejo. En líneas generales el agua entra por el borde izquierdo y sale por la parte superior, pero se forma un vórtice por convección libre en la zona cercana a la interfase. Se forman dos puntos de estancamiento, representados en la figura.

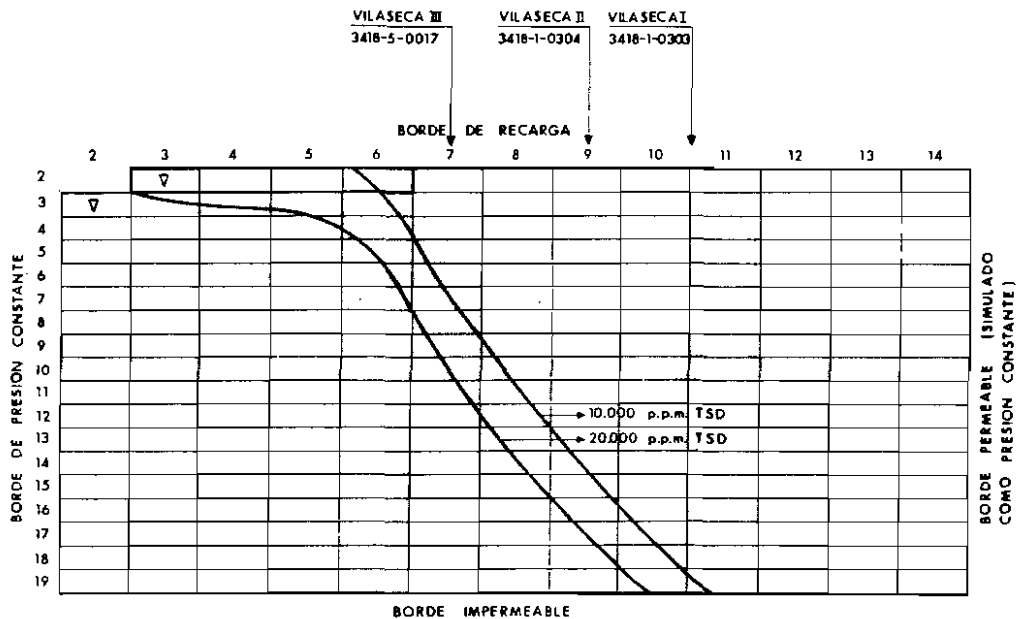
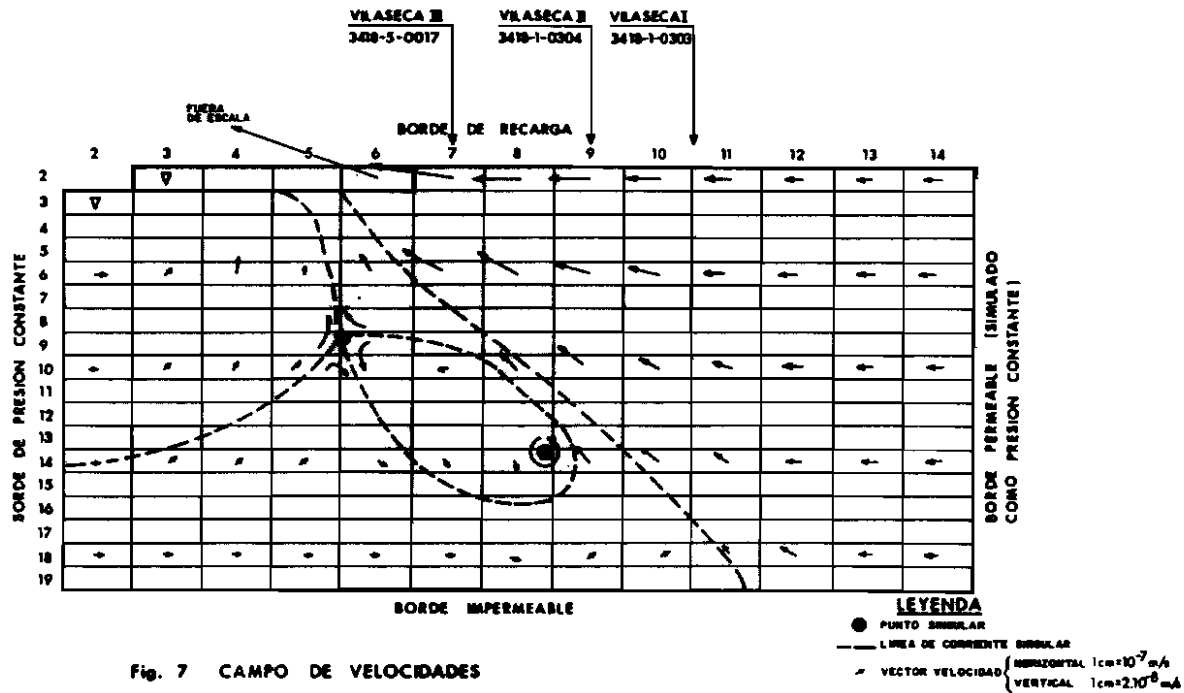


Fig. 6 DISCRETIZACION EN CELDAS DEL ACUIFERO Y SITUACION DE LA INTERFASE EN REGIMEN PERMANENTE.



## 5.- Comentarios al programa de ordenador utilizado

En general se puede decir que el programa de SANFORD y KONIKOW merece una puntuación cuanto menos de notable. Su manejo es relativamente cómodo (dentro de la complicación de los modelos con densidad variable) y permite simular un buen número de hipótesis diferentes con pequeñas variaciones en los datos.

Hay sin embargo algunos pequeños detalles fácilmente mejorables y que se detallan a continuación para ayudar a usuarios futuros del programa:

- En el modelo hay que poner un reborde de celdas con permeabilidad cero. Esto no lo hace el programa automáticamente por lo que si no se modifica el programa hay que tener cuidado: si alguna celda queda con permeabilidad mayor que cero, por ahí se marchará el agua fuera del sistema, llegándose a resultados absurdos.

- El programa está preparado para utilizar como unidades pie, libra, ppm y segundo. Si se desea utilizar metro, kilogramo, ppm y segundo basta con modificar los títulos de los listados y cambiar las fórmulas que relacionan la densidad y la viscosidad con el total de sólidos disueltos. A título de orientación, los valores utilizados en nuestro caso (Ta= 20-25 9C) fueron:

$$\text{DENS} = 7,586 \times 10^{-4} \times \text{TSD} + 999,24$$

$$\text{VISC} = 1,9897 \times 10^{-10} \times \text{TSD} + 1,0169 \times 10^{-4}$$

- Es conveniente poner un límite superior al número de movimientos que pueden realizar las partículas, para evitar el consumo de grandes recursos de ordenador en pasadas de tanteo.



## 6.- Conclusiones

El modelo realizado constituye una aproximación muy simplificada de la realidad, debiéndose considerar por tanto tan sólo como un primer tanteo. Falta por realizar, desde luego, mucho esfuerzo para llegar a comprender el funcionamiento real del acuífero.

Sin embargo, y pese a sus limitaciones, el modelo permitió establecer una primera hipótesis razonada sobre el esquema general de funcionamiento, lo que podrá ser de utilidad en la planificación de investigaciones futuras.

La hipótesis de un acuífero mioceno menos permeable y sin salinizar inicialmente y un cuaternario costero más permeable y en el que sólo la parte superior tiene agua dulce explica muchos de los fenómenos observados y por ello ha de ser tenida en consideración, aunque puede no ser necesariamente la real.

## 7.- Bibliografía

- IGME (1986). "Estudio hidrogeológico de Vilaseca-Salou". Memoria y anexos.

- IGME (1986). "Sondeos para el estudio y control de la intrusión en el sistema 74, Camp de Tarragona".

- Sanford, Konikow (1985). "A two-constituent solute-transport model for ground-water having variable density. USGS-WRIR 85-4279.