



Ministerio de Industria  
Instituto Geológico y Minero de España

BOMBEO DE ENSAYO EN S'ESTREMERÀ (MALLORCA)

Año 1969

No en sid

BOMBEO DE ENSAYO EN

S'ESTREMER (Mallorca)

Octubre, 1969.

## RESUMEN

Por cuenta del Comité de Coordinación hemos realizado unos bombeos de ensayo en el sondeo de S'ESTREMERERA (Mallorca) durante los días 11 a 18 de Octubre de 1969, destinados a estudiar la eficacia del pozo, las constantes hidrológicas del acuífero, así como el caudal de explotación de dicho pozo.

Este informe expone los resultados del estudio del manto en carga.

El valor de la constante de pérdida de carga en el acuífero "B" es  $5,55 \times 10^{-9}$  días<sup>2</sup>/metros<sup>5</sup>, que corresponde a un pozo muy eficiente.

El caudal de explotación propuesto es 1080 m<sup>3</sup>/hora.

## S U M A R I O

### 1.- OBJETO DEL ESTUDIO

1.1.-

1.2.- Condiciones impuestas.

### 2.- TRABAJOS REALIZADOS.

2.1.- Corte geológico del sondeo.

2.2.- Corte técnico del sondeo.

### 3.- BOMBEO DE ENSAYO.

3.1.- Equipo de la estación de bombeo.

3.2.- Desarrollo de los ensayos.

3.3.- Interpretación de los ensayos.

3.3.1.- Determinación de la eficacia del pozo  
y de la constante de pérdida de carga  
"B".

3.3.2.- Cálculo del caudal de explotación.

## 1.- OBJETO DEL ESTUDIO

1.1.- El sondeo de S'ESTREMERERA (Mallorca) que capta el acuífero calcáreo-dolomítico del Triás de la Sierra de Alfabia (Sierra Norte), el mejor desde el punto de vista litológico y de mayor potencia de formación acuífera de los realizados por el I.G.M.E. en su campaña de investigación 1968-1969, despertó el interés del Comité de Coordinación dándole prioridad para que el acuífero fuese investigado desde el punto de vista hidráulico y poder, así, determinar las características hidrológicas de la formación acuífera cortada necesarias para estimar los futuros caudales de explotación, tanto de esta obra como de otras posibles que se realizan en la misma zona.

### 1.2.- Condiciones impuestas.

La interpretación de los bombeos de ensayo, que en un principio se veían favorecidos por la existencia de un piezómetro situado a 4,5 m. del pozo de bombeo, se vió entorpecido por el hecho de que el nivel del agua en el piezómetro no registró ninguna variación durante la ejecución de los mismos; hubimos pues de acometer el estudio con estas limitaciones y efectuar los bombeos de ensayo y los controles de niveles piezométricos en el mismo pozo.

Estas dificultades de partida se vieron incremen-

tadas durante la realización de las pruebas, ya que el acuífero no respondió durante el régimen transitorio a los esquemas clásicos (Theis, Boulton, Hantusch), lo que nos hará que la interpretación de las pruebas realizadas sean complicadas, pero confiamos que la larga experiencia de casos similares nos hagan que los casos que concluyamos sean fidedignos de las condiciones hidráulicas que reinan en el sistema acuífero que pretendemos estudiar.

## 2.- TRABAJOS REALIZADOS

### 2.1.- Corte geológico del sondeo.

El sondeo ha sido realizado por el sistema de rotación convencional, con lodos, con un MAYHEW 2.500. La perforación no nos proporcionó "cutting" para establecer el correspondiente corte geológico, no obstante el del piezómetro realizado con anterioridad, con el sistema "wire line", con una Long-year 44, a sólo 4,5 m. nos permite establecer para el sondeo de ensayo el siguiente corte:

Desde el principio de la perforación hasta el metro 100, la formación cortada es una caliza compacta, a continuación un primer nivel acuífero hasta los 115 metros constituido por unas calizas fracturadas. Hasta el metro 162 unas margas y arcillas que sirven de impermeable al primer nivel acuífero.

A partir del metro 162 hasta el final del sondeo, metro 430, se corta un acuífero calizo que detallamos:

Del 162 m al 192 m	calizas compactas.
" 192 m al 276 m	calizas muy fisuradas.
" 276 m al 350 m	calizas ligeramente oquerosas.
" 350 m al 405 m	calizas oquerosas.
" 405 m al 430 m	calizas.

Así pues, el segundo nivel acuífero tiene una potencia de 260 mt. Está constituido por un material calcareo-dolomítico bastante oqueroso o bien muy fi



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

SONDEO S'ESTREMER A  
SONDA  
INICIACION  
TERMINACION

Propietario

Hoja nº

Longitud

Aforo A = l/s a mts

Madrid

de 196

Latitud

El Ingeniero

Altitud

Nombre de la finca

Control geológico

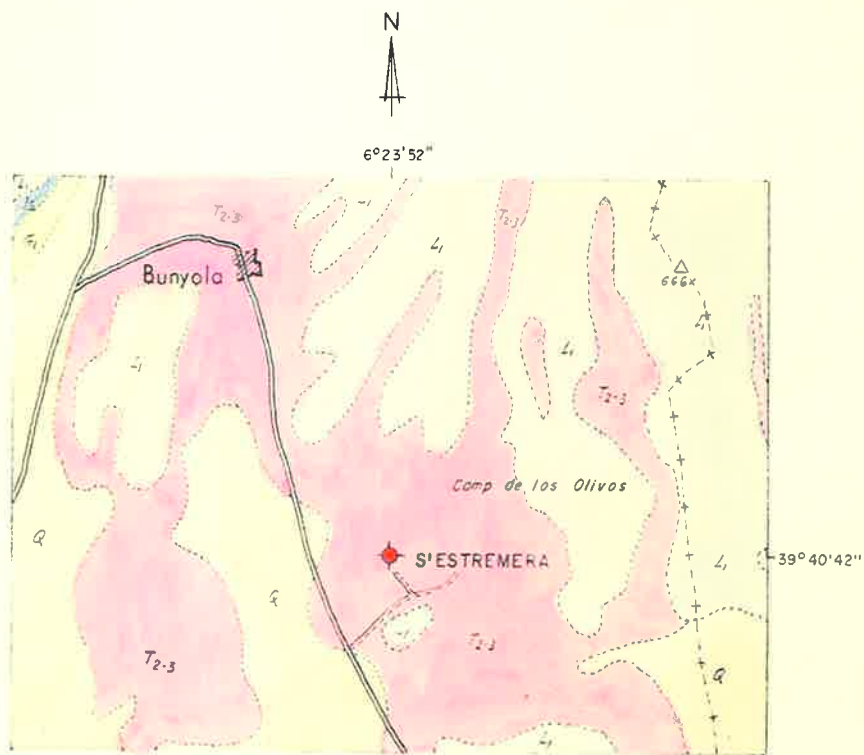
del propietario

Fig. 1

Marcado por

SITUACION

Escala 1:50 000



EXPLICACION

	Aluvial		Lias inferior, Calizas grises
	Neocomiense, Calizas finas		Margas, conchales y dolomias, Muschelkalk
	Calizas \"falsas brechas\", Titónico		SONDEO

SIMBOLOS LITOLOGICOS

	CONGLOMERADO BRECHA
	ARENA ARENISCA
	ARENISCA CALCAREA ARENISCA CUARCITICA
	ARENISCA ARCILLOSA LIMOLITA
	ARCILLA PIZARRA
	ARCILLA ARENOSA

	CALIZA ARENOSA CALCILUTITA
	CALCARENITA CALCIRUDITA
	CALIZA OOLITICA O PISOLITICA PSEUDO BRECHA
	CALIZA ARRECIFAL NODULOS DE SILEX
	DOLOMIA CALIZA DOLOMITICA
	YESO Y ANHIDRITA

MINERALES Y FOSILES

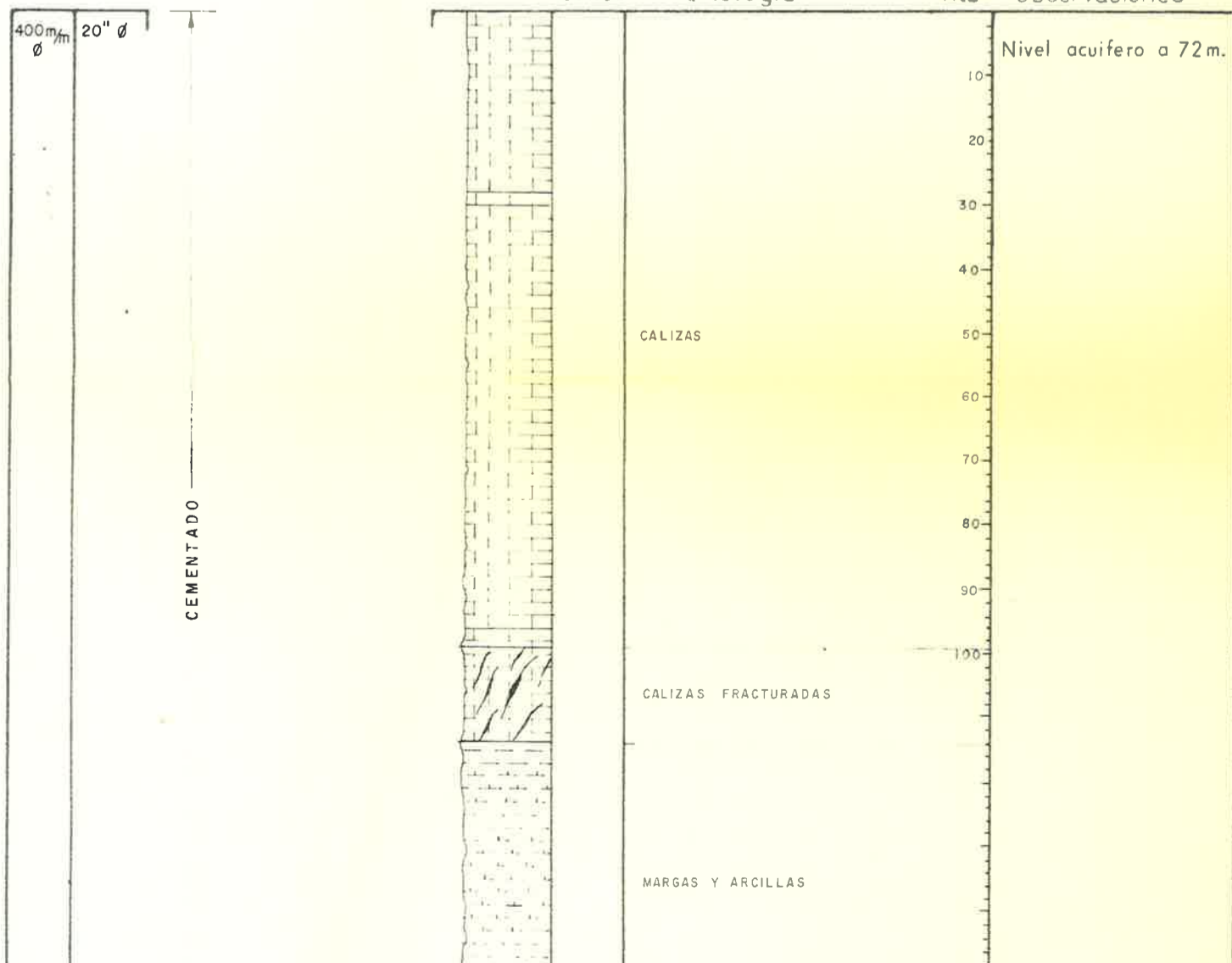
	PIRITA
	HALITA
	GLAUCONITA
	FELDSPATOS
	MOSCOVITA
	BIOTITA
	CARBON
	FOSFATO
	CONCRECIONES FERRUGINOSAS



	CONGLOMERADO BRECHA		CALIZA ARENOSA CALCILUTITA		PIRITA
	ARENA ARFNISCA		CALCARENITA CALCIRUDITA		HALITA
	ARENISCA CALCAREA ARENISCA CUARCITICA		CALIZA OOLITICA O PISOLITICA PSEUDO BRECHA		GLAUCONITA
	ARENISCA ARCILLOSA LIMOLITA		CALIZA ARRECIFAL NODULOS DE SILEX		FELDES PATOS
	ARCILLA PIZARRA		DOLOMIA CALIZA DOLOMITICA		MOSCOVITA
	ARCILLA ARENOSA PIZARRA CARBONOSA		YESO Y ANHIDRITA SAL		BIOTITA
	ARCILLA MARGOSA MARGA		ROCAS PLUTONICAS ROCAS EFUSIVAS		CARBON
	CALIZA CALIZA ARCILLOSA		ROCAS METAMORFICAS		FOSFATO
	ACUIFERO		ACUIFUGO		CONCRECIONES FERRUGINOSAS
					SIDERITA
					MICROFOSILES EN GENERAL
					MACROFAUNA EN GENERAL
					RESTOS DE PLANTAS

## PERFIL.

Prof en mts  
Entub Perit



CEMENTADO

9 5/8" Ø



CALIZAS FRACTURADAS

MARGAS Y ARCILLAS

CALIZAS

CALIZAS MUY FISURADAS

CALIZAS LIGERAMENTE OQUEROSAS

CALIZAS OQUEROSAS

CALIZAS

60  
70  
80  
90  
100  
150  
200  
250  
300  
350  
400

CALIZAS OQUEROSAS

400

CALIZAS

450

500

550

600

surado.

2.2.- Corte técnico del sondeo.

El sondeo ha sido perforado con un diámetro de 20" hasta los 180 m., a continuación se reduce el diámetro a 9 5/8" y se termina el sondeo con el mismo diámetro a los 430 m. de profundidad.

La cámara de bombeo de 180 m. de profundidad está entubada con un diámetro de 400 mm.

El primer nivel está aislado, para ello se ha hecho una cementación entre la tubería de la cámara de bombeo y la pared de la perforación.

Al final y como acondicionamiento se hizo una acidificación con  $\text{Cl}_2$ .

### 3.- BOMBEO DE ENSAYO

#### 3.1.- Equipo de la estación de bombeo.-

Bomba submergida Ideal, que se instaló a 80 m. de profundidad, el suministro de energía eléctrica a la bomba estaba asegurado por un grupo electrógeno.

Los niveles piezométricos se controlaban por medio de una sonda eléctrica, guiada por un tubo de 1". Con éste a su vez se conseguía que los niveles medidos en el pozo no tuviesen las oscilaciones debidas al efecto de la bomba.

Las medidas de caudal se efectuaban con un vertedero triangular de 60°.

El agua bombeada tenía la caída libre a 8 m. del pozo y dada la pendiente natural del terreno discurría con facilidad aguas abajo, asegurándonos que no existían pérdidas por infiltración en la cercanía del pozo, que pudiesen dar lugar a que parte del agua bombeada lo fuese en circuito cerrado.

El equipo se completó con la instalación de dos limnigrafos HWK, con una rotación de 24 horas y una escala de 1/5, en sondeos situados a 350 y 500 m. aproximadamente del pozo de bombeo, y que explotan sólomente el primer nivel acuífero captado. La finalidad de estos aparatos de medida era poner de manifiesto si los niveles piezométricos, de dichos sondeos, variaban a causa de la perturbación creada en el acuífero por los bombeos de ensayo efectuados.

### 3.2.- Desarrollo de los ensayos.

Los bombeos de ensayo que se han efectuado iban encaminados a determinar cuáles eran las depresiones creadas en el pozo para distintos caudales de bombeo y así estableciendo la correspondiente curva de caudales-depresiones determinar el caudal de explotación recomendable. Mediante este dispositivo también se puede conocer la eficacia del pozo y, por tanto, las pérdidas de carga en el mismo.

Damos a continuación un orden cronológico de las incidencias de los ensayos:

- El montaje de la bomba queda listo el viernes día 10.
- Se inicia un primer bombeo el sábado día 11, obteniéndose un caudal máximo de 110 l/s. y una depresión de 1,15 m.
- El lunes día 13, se decide, para obtener un mayor caudal, instalar dos bombas en serie, cosa que se realiza entre los días 13 y 14, iniciándose el nuevo ensayo la tarde del día 14, no lográndose un aumento apreciable del caudal extraído por lo que, pensando en un menor coste del bombeo y para poder aprovechar uno de los grupos electrógenos para el ensayo de Son Vida, se decide colocar sólo una única bomba. Esta nueva operación se realiza entre los días 15 y 16. Iniciándose las pruebas definitivas en la tarde del día 16, pruebas que terminaron el día 18.

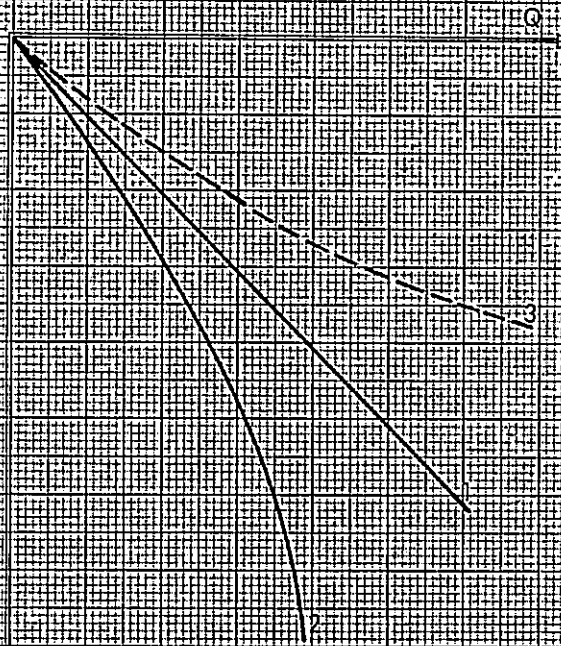
### 3.3.- Interpretación de los ensayos.

#### 3.3.1.- Determinación de la eficacia del pozo y de la constante de pérdida de carga "B".

Un sondeo ideal que no tenga ninguna pérdida de carga tendrá una depresión específica  $\frac{s}{Q}$  constante,, cualquiera que sea su caudal, a condición de que el sistema pozo-acuífero esté en régimen permanente, o que las duraciones de los diferentes escalones de bombeo hayan tenido la misma duración. Un diagrama clásico en  $\frac{s}{Q}$  y  $Q$  daría una recta perfecta. En la práctica, dada la existencia de la pérdida de carga,  $\frac{s}{Q}$  aumenta con  $Q$ , y si  $s$  lo llevamos en ordenadas y  $Q$  en abscisas tenemos una curva que tiende hacia el eje de ordenadas. Los bombeos de ensayo que dan otra forma de curva, en particular aquélla en que la pendiente crece en un gráfico  $f(Q,s)$  indican medidas incorrectas o un desarrollo incompleto del pozo (ver figura nº2).

El descenso que observamos en un pozo durante un bombeo se puede considerar producido por:

el descenso  $s'$  debido a la pérdida de carga en el acuífero que es linealmente proporcional a la velocidad del agua (Ley de Darcy) o lo que es lo mismo al caudal de bombeo  $Q$ , y al descenso  $s''$  debido a las pérdidas de carga en el pozo a causa de la mayor velocidad del agua



- 1- Curva teórica
- 2- Curva real
- 3- Medidas incorrectas

Fig. 2



Fig. 3



(régimen turbulento) que no es linealmente proporcional al caudal  $Q$ , sino a  $Q^n$ , siendo  $n$  un valor que por lo general está comprendido en 1 y 2.

Tenemos pues que, según JACOB, la ecuación general que rige en régimen transitorio, el descenso es:

$$s = s' + s'' = AQ + BQ^n$$

siendo  $A$  un coeficiente función de los parámetros del acuífero  $T$  y  $S$ , del radio equivalente del pozo  $r_e$  y del tiempo de bombeo  $t$  y  $B$  un coeficiente que depende únicamente de las características del pozo.

En la figura nº 3, indicamos cómo se obtienen, en general, los valores de  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$ ,  $s_4$ .

El sistema de ecuaciones a resolver será:

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= AQ_1 + BQ_1^n \\ s_2 &= AQ_2 + BQ_2^n \\ s_3 &= AQ_3 + BQ_3^n \\ s_4 &= AQ_4 + BQ_4^n \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Para la resolución del sistema de ecuaciones planteadas podemos emplear un procedimiento gráfico (JACOB 1950) y deducir los valores de los parámetros  $A$ ,  $B$  y  $n$ .

Aplicando lo anteriormente expuesto a nuestro

caso, donde los datos de los escalones realizados figuran en el siguiente cuadro y en la figura nº 4.

<u>Escalón</u>	<u>Q(m<sup>3</sup>/h)</u>	<u>Tiempo de bombeo (h)</u>	<u>Descenso(m)</u>
1	214,2	3	0,50
2	289	3	0,74
3	353,4	3	0,975
4	396	3	1,15

Dando los valores del anterior cuadro a las ecuaciones (I) tenemos:

$$0,50 = A \cdot 214,2 + B \cdot 214,2^n$$

$$0,74 = A \cdot 289 + B \cdot 289^n$$

$$0,975 = A \cdot 353,4 + B \cdot 353,4^n$$

$$1,15 = A \cdot 396 + B \cdot 396^n$$

Estas ecuaciones podemos escribirlas:

$$2,335 \times 10^{-3} = A + B \times 214,2^{n-1}$$

$$2,57 \times 10^{-3} = A + B \times 289^{n-1}$$

$$2,765 \times 10^{-3} = A + B \times 353,4^{n-1}$$

$$2,906 \times 10^{-3} = A + B \times 396^{n-1}$$

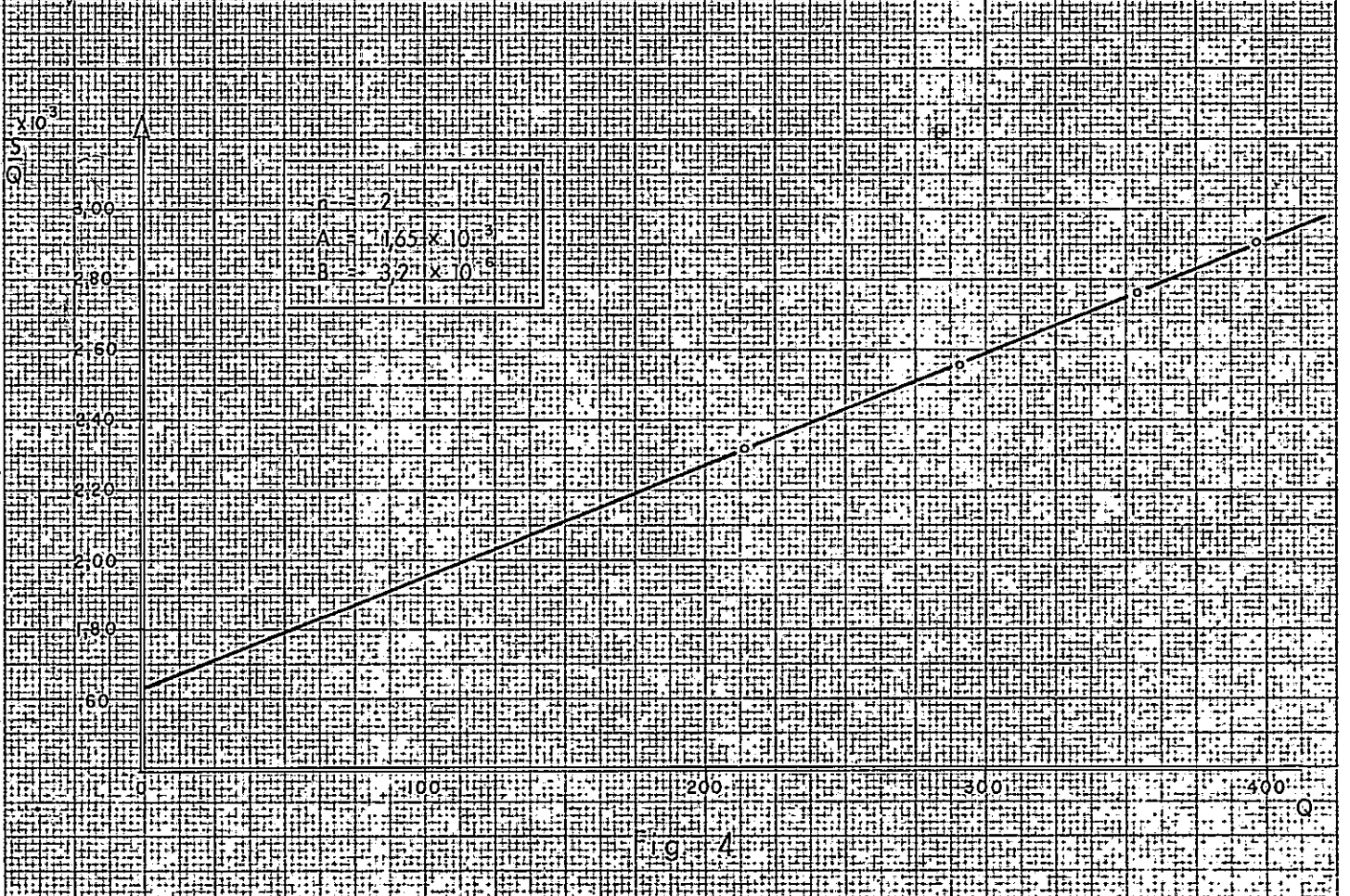
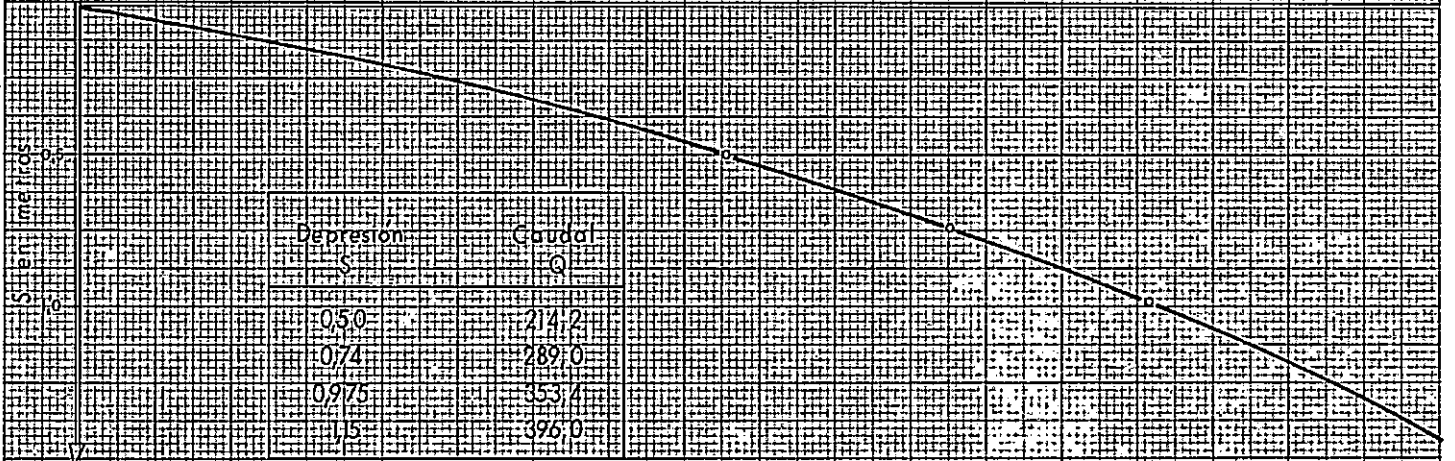
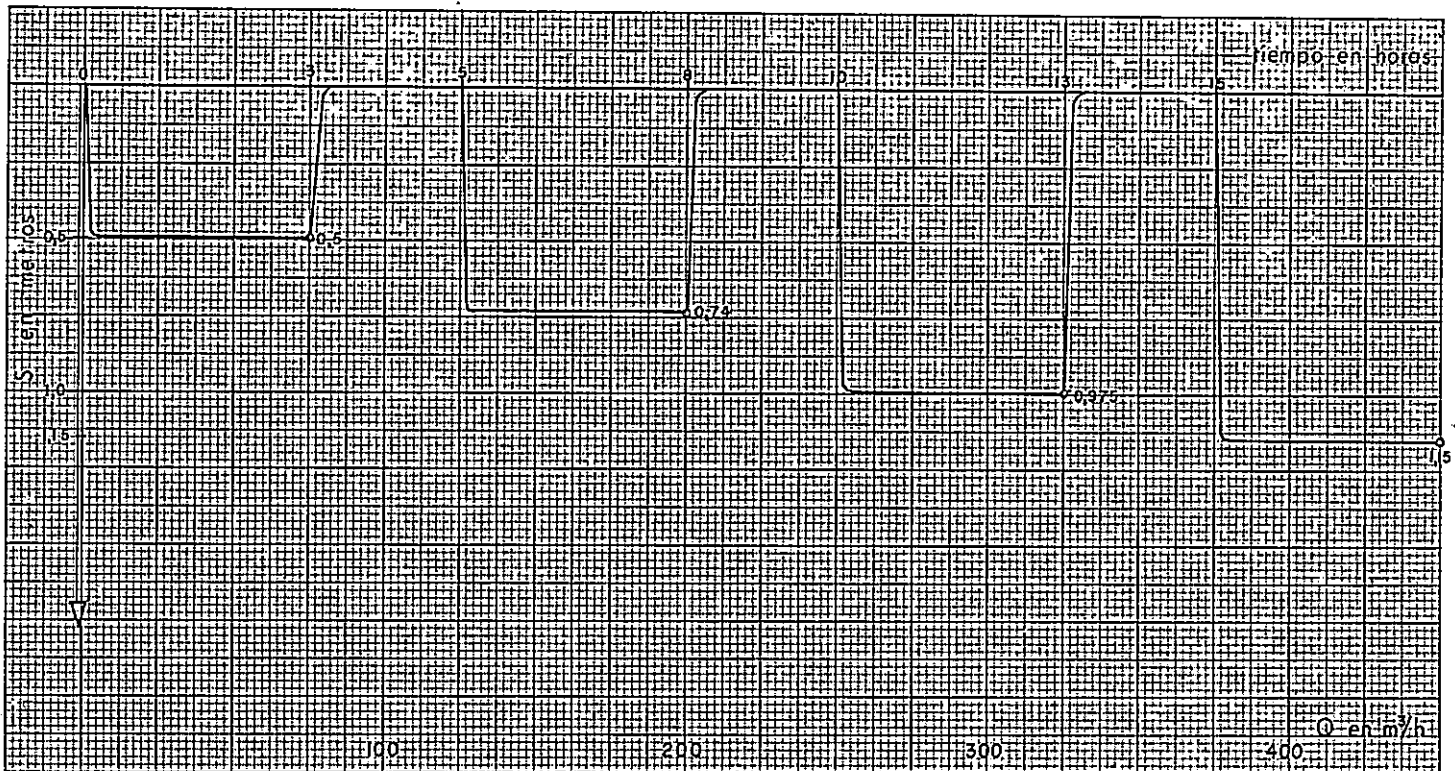
resueltas gráficamente, obtenemos (ver figura nº 4)

$$n = 2; \quad A = 1,65 \times 10^{-3}; \quad B = 3,2 \times 10^{-6}$$

Las unidades dimensionales de los parámetros A y B son:

$$A = T \cdot L^{-2} \quad y \quad B = \frac{T^n}{L^{1-3n}}$$

en nuestro caso:



$$A = 1,65 \times 10^{-3} \text{ horas/metros}^2$$

$$B = 3,2 \times 10^{-6} \text{ horas}^2/\text{metros}^5$$

Si expresamos B en días<sup>2</sup>/metros<sup>5</sup> tendremos que:

$$B = \frac{3,2 \times 10^{-6}}{24^2} \text{ días}^2/\text{metros}^5 = 5,55 \times 10^{-9}$$

La constante de la pérdida de carga debida al paso del agua por el pozo  $B=3,2 \times 10^{-6} \text{ horas}^2/\text{metros}^5 = 5,55 \times 10^{-9} \text{ días}^2/\text{metros}^5$ , nos dice, según WALTON (1962) que el pozo puede considerarse muy eficiente.

### 3.3.2.- Cálculo del caudal de explotación.

Tuvimos ocasión de observar la evolución de los niveles piezométricos en el sondeo, y tanto durante los bombeos de ensayo de caudales escalonados, como en los bombeos de larga duración, la variación de los niveles era la típica de que el sistema pozo-acuífero tendía a un régimen de circulación cuasi-permanente, por lo que podemos, según DUPUIT, establecer la curva característica de caudales-depresiones (ver figura nº 5).

En ella podemos ver que para un caudal de explotación de  $1080 \text{ m}^3/\text{h}$  la depresión teórica creada en el pozo sería de unos 6 metros. La práctica nos confirma que, para este tipo de caudales tan elevados, las depresiones en el pozo, debido al incremento de la turbulencia creada por el equipo de bombeo, resultan ser algo mayores. En nuestro caso estimamos la depresión real en unos 12 metros para el caudal citado.

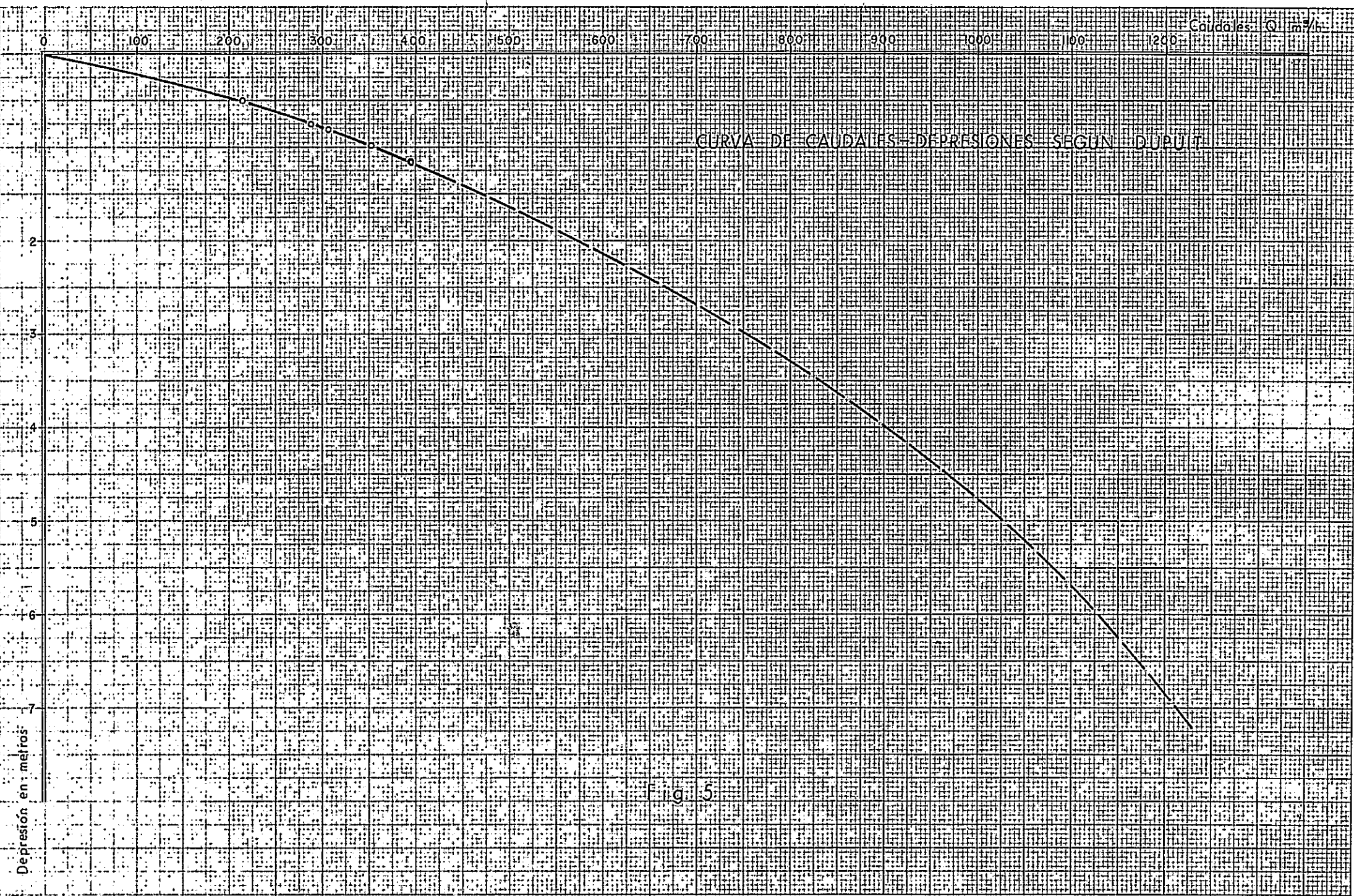
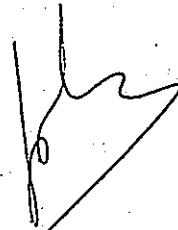


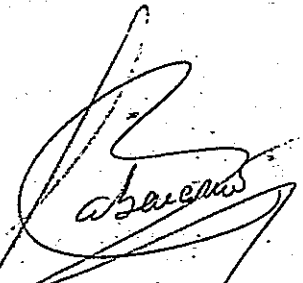
Fig. 5

Con respecto a la realimentación del acuífero captado, se pueden establecer dos hipótesis acerca de la estimación del área de recarga, hipótesis que hoy día están en fase de estudio. Aun considerando la más desfavorable el caudal aportado al acuífero por el área de recarga es netamente superior al caudal de explotación propuesto.

Madrid, 28 de Octubre de 1969.



Fdo.: J. Ochoa.



Fdo.: C. Bencomo.