



**Ministerio de Industria**  
Instituto Geológico y Minero de España

**INFORME**

**DEL ENSAYO DE BOMBEO Y VALORACION DE LA EFICACIA  
DEL POZO DE EL FERRAL DEL BERNESGA (LEON).**

Madrid, Abril de 1.969



Ministerio de Industria

Instituto Geológico  
y Minero de España

INFORME DEL ENSAYO DE BOMBEO EN

EL FERRAL DEL BERNESGA. (LEON)



# Ministerio de Industria

Instituto Geológico  
y Minero de España

Fecha

Abril, 1.969

Referencia

LLL. MV/ps

## INFORME DEL ENSAYO DE BOMBEO Y VALORACION DE LA EFICACIA DEL POZO DE "FERRAL DEL BERNESGA" (LEON).

### RESUMEN.

El presente trabajo ha sido realizado en el pozo de Ferral de Bernesga (León) para abastecimiento de aguas del Campamento Militar.

Primeramente se determinan las características hidrológicas del acuífero basándonos en el método aproximado de Jacob, mediante Ensayo de Bombeo a caudal constante, y observaciones en la evolución del nivel en el piezómetro situado a 55 m. del pozo de bombeo.

A continuación, y a fin de comprobar los cálculos anteriores, empleamos el método exacto de THEIS, partiendo de las mismas medidas.

Partiendo de las características hidrológicas - transmisividad (T), coeficiente de almacenamiento (S) y aplicando las fórmulas de JACOB, calcularemos el descenso teórico ( $S_1$ ) y completaremos con la depresión obtenida en el mismo pozo su ecuación

$$S = S_1 (Q.t) + S_2 (Q)$$

que nos determinará la eficiencia referida a su construcción.

Pasamos después al cálculo del radio equivalente ( $r_e$ ) y, en consecuencia, comprobar el desarrollo del pozo.

Finalmente, calcularemos el caudal de explotación a régimen continuo por un espacio de tiempo igual a 20 años, con una depresión de 30 metros.

## 1. CARACTERISTICAS DEL POZO

Pozo completo.

Profundidad: 100 m.

Cámara de bombeo de 400 mm.  $\phi$  hasta 35 m.

Rejilla con filtro artificial de grava 65 m.

Acuífero: arenas finas y gravilla.

## 2. REALIZACION DE LOS ENSAYOS

El día 15 de enero de 1.969 se comienza el bombeo con caudal de 5 l./seg., para seguir con caudales progresivamente mayores una vez conseguida la eliminación de limos y arenas en su mayor parte.

El día 17 de enero de 1.969, con caudal constante  $Q = 54 \text{ m}^3/\text{hora}$ , comienza el Ensayo de Bombeo con observaciones de evoluciones de nivel en el pozo de bombeo y en el piezómetro. Los datos de estas observaciones -- quedan reflejados en los Anexos I y II.

Posteriormente se han seguido los bombeos para asentamiento del filtro y evitar la entrada de arenas al interior del pozo, resultando medidas de descenso y caudal muy semejantes, por tanto, partimos de los datos del día 17 para nuestros cálculos.

### 3. CALCULO DE (T) Y (S) SEGUN EL METODO DE JACOB

(Anexos I y II y Gráficos núms. 1 y 2).

La fórmula que nos da la depresión de un acuífero, en un punto de observación en el cual se efectúa un bombeo a caudal constante S, según JACOB:

$$Y = \frac{0,183 Q}{T} (\log t - \log t_0) \quad (1)$$

donde:

Y = Depresión en metros.

Q = Caudal constante de bombeo en  $\text{m}^3/\text{hora}$ .

T = Transmisividad en  $\text{m}^2/\text{hora}$ .

t = Tiempo de bombeo en horas.

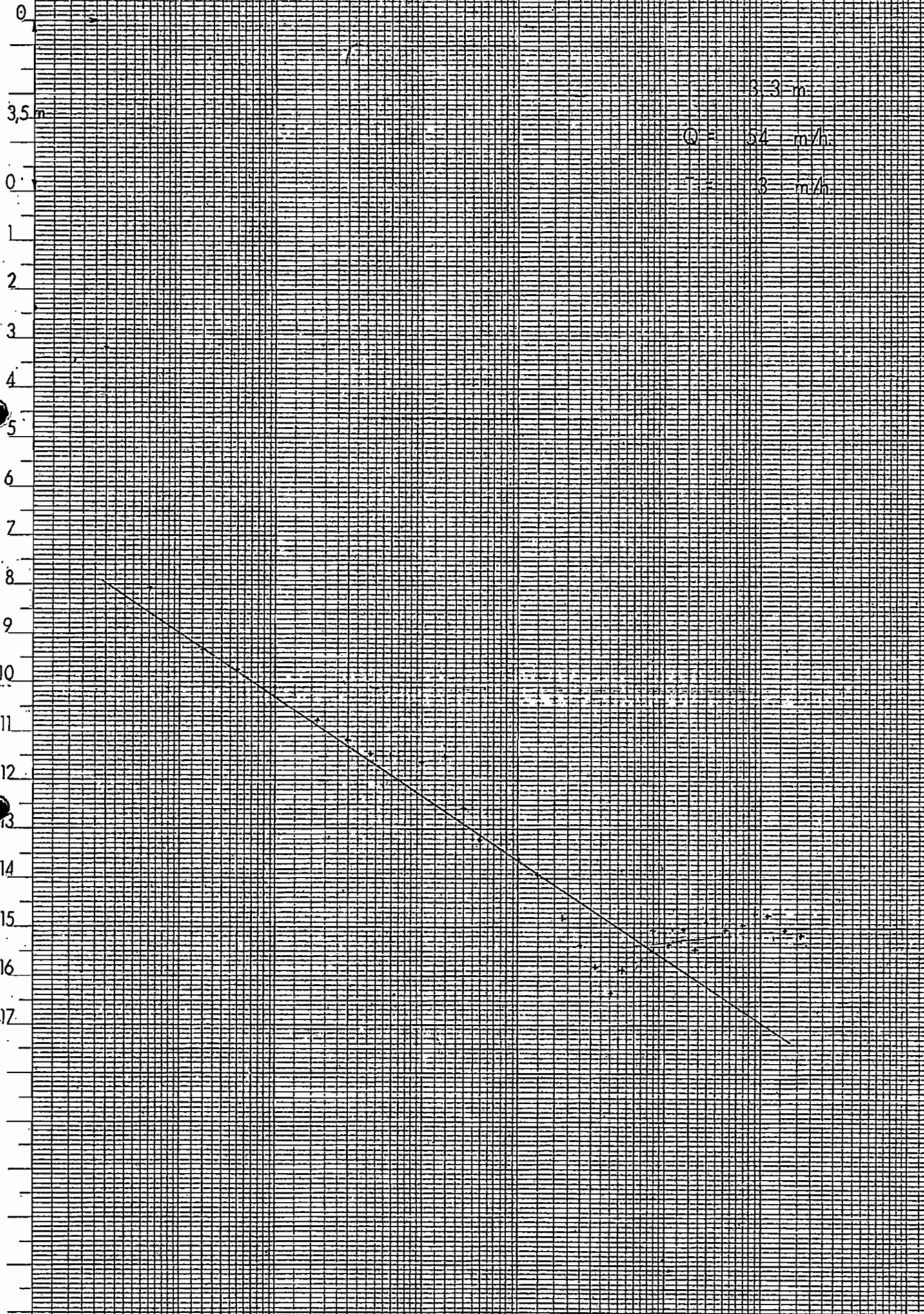
$$t_0 = \frac{r^2 \cdot S}{2,25 T} \text{ en horas.}$$

Surgente 4 l/s Nivel Est. 3,5 m sobre sondeo.

en minutos

Nivel Estático

GRAFICO Nº 1



Depresión en m.

WVCENT

$S$  = Coeficiente de almacenamiento.

$r$  = Distancia desde el punto de observación al eje del pozo en metros.

La representación de la ecuación (1) en unos ejes coordenados, es una recta; en ordenadas llevamos depresiones según una escala aritmética y los tiempos en abscisas según una escala logarítmica.

La pendiente de la recta, la llamaremos "i", lo cual nos permite escribir:

$$i = \frac{0,183 Q}{T}$$

siendo "i" un dato gráfico que obtendremos del gráfico n.º. 2, resulta el valor de  $T = \frac{0,183 Q}{i} = 4,5 \text{ m}^2/\text{hora}$ .

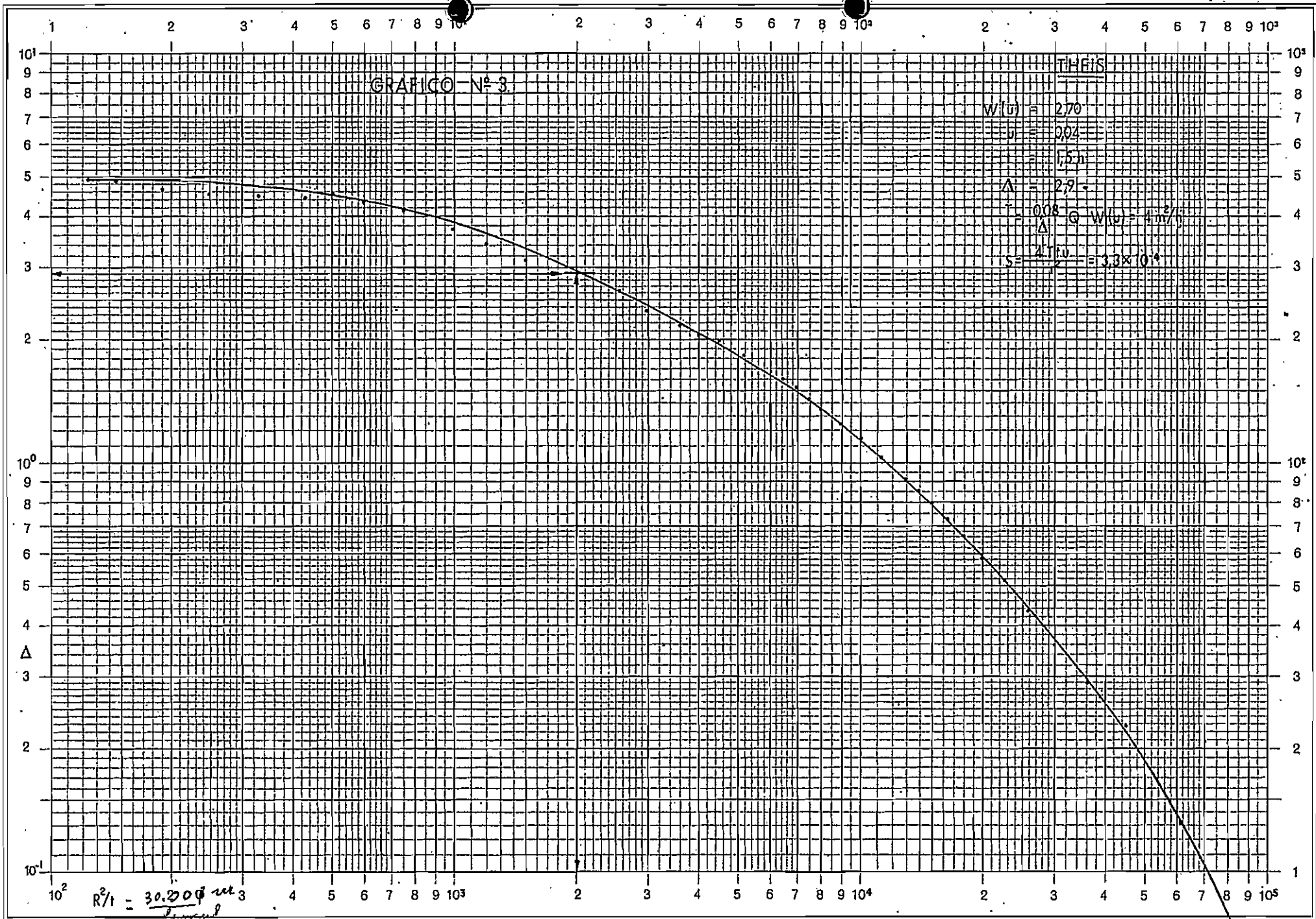
Si atendemos al gráfico n.º. 1, el valor de  $T$  sería de  $3 \text{ m}^2/\text{hora}$ .

Para nuestros cálculos, nos serviremos del primero, por considerarlo más exacto, debido a una mayor uniformidad en la representación de los puntos.

El valor de  $t_0$  viene definido por la intersección de la recta que representa la ecuación (1) con el eje origen de depresiones, por tanto

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2}$$

$$S = \frac{2,25 \cdot 4,5 \cdot 5,25}{55^2 \cdot 60} = 2,4 \cdot 10^{-4}$$



Logar. Teilung } 1-100 und 1-1000 Einheit } 83,33 mm  
 Division }                    Unité }



#### 4. CALCULO DE (T) Y (S) POR EL METODO DE THEIS

(Anexo II y Gráfico nº. 3).

En el gráfico figura curva auxiliar de los cálculos reseñados al margen, que dan los siguientes resultados:

$$T = 4 \text{ m}^2/\text{h.} \quad \text{o} \quad 100 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$S = 3,3 \cdot 10^{-4} \quad (\text{adimensional})$$

los que emplearemos en posteriores cálculos por su analogía con los obtenidos por JACOB.

#### 5. CAUSAS DE LA PERDIDA DE CARGA (DESCENSO) EN UN POZO

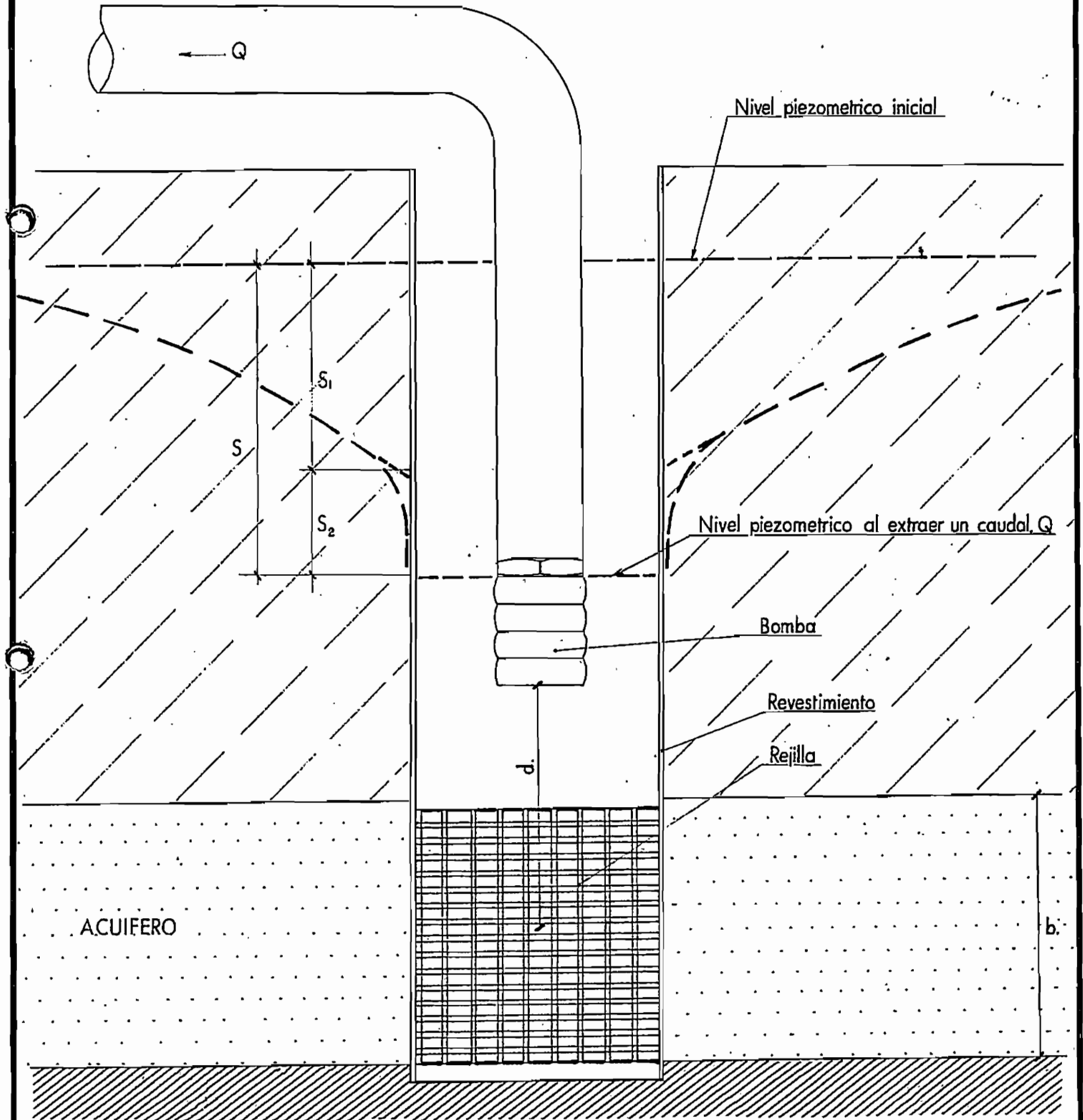
(Figura 4).

El descenso o depresión (s) que es necesario provocar en un pozo para conseguir un caudal Q, se debe al consumo de energía necesario para vencer la resistencia que el acuífero, de una parte, y el pozo, de otra, oponen al paso del agua.

Se puede descomponer esta pérdida de carga en dos sumandos.

$s_1$  = pérdida de carga debida al paso del agua por el acuífero, que es función de las características T, S, tiempo de bombeo (t), del caudal extraído Q, del radio equivalente del pozo ( $r_e$ ) y de los límites del acuífero.

GRAFICO. 4



La fórmula para calcular  $s_1$  (Jacob) =

$$= \frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 T t}{Sr^2} Q \quad (1)$$

en la que  $r$  es la distancia al piezómetro y  $t$  es el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo.

Siempre para unidades de m,  $m^2$  y  $m^3$  y día.

Otro sumando de la pérdida de carga =  $s_2$  se debe al paso del agua por el interior del pozo, por una parte, desde la rejilla o la toma de la bomba y, por otra, las pérdidas de carga en la rejilla, dicho de otro modo, por la salida del agua del acuífero al pozo a través de la rejilla. A éste también hay que añadir las pérdidas de carga en el acuífero de la zona inmediata al pozo por turbulencia.

## 6. DETERMINACION DE LA EFICACIA DEL POZO

Se trata de obtener una ecuación de la forma:

$$s = s_1 (Q.t) + s_2 (Q)$$

que permita conocer en función del caudal ( $Q$ ) y el tiempo ( $t$ ) el descenso en el pozo descompuesto en los dos sumandos  $s_1$  y  $s_2$  que hemos explicado anteriormente.

Calculamos  $s_1$  mediante la fórmula (1), que sustituyendo nos da:

$$s_1 = \frac{0,183}{100} \log \frac{2,25 \cdot 100 \cdot 1}{0,00033 \cdot 0,20^2} \cdot 1296 =$$

$T = \frac{m}{\text{día}} \rightarrow t = \text{días}$

$$= 0,00183 \cdot 7,3 \cdot 1296 = 17,10 \text{ m.}$$

La depresión  $s = 15,3 + 3,50 = 18,80$  m. contando la depresión encima y debajo de la superficie, teniendo en cuenta que el pozo es surgente. Entonces tenemos que

$$s_2 = s - s_1 = 1,70 \text{ m.}$$

Si consideramos que el descenso  $s_1$  es linealmente proporcional a la velocidad del agua (Ley de Darcy) o, lo que es lo mismo, al caudal de bombeo ( $Q$ ), y que el descenso  $s_2$  es linealmente proporcional a  $Q^n$ , tenemos que:

$$s = s_1 + s_2 = AQ + BQ^n$$

siendo  $A$  un coeficiente función de  $(S)$  y  $(T)$ , del radio equivalente del pozo ( $r_e$ ) y del tiempo de bombeo ( $t$ ), y  $B$  un coeficiente que depende únicamente de las características de la construcción del pozo.

Con los datos anteriormente obtenidos tenemos que

$$AQ = 17,10 \text{ y entonces } A = \frac{17,10}{1296} = 0,013$$

y que  $B$ , dando un valor  $n = 2$ , tenemos que:

$$BQ^n = 1,70 \text{ y entonces } B = \frac{1,70}{1296^2} = 10^{-6}$$

Según varios autores: estando  $B$  entre  $10^{-6}$  y  $10^{-7}$  el pozo resulta bastante eficiente, el valor de  $n = 2$ , bastante frecuente, indica poca turbulencia en el pozo, su valor suele estar comprendido entre 1,1 y 2,7.

Este valor de  $n$  se puede fijar resolviendo un sistema de ecuaciones con tres incógnitas  $A$ ,  $B$  y  $n$ , obtenido con bombos escalonados de tres caudales distintos y depresiones consiguientes.

7. CALCULO DEL RADIO EQUIVALENTE ( $r_e$ )

$$A = \frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 Tt \xrightarrow{\text{días}}}{S r_e^2} = \frac{0,183}{T} \log \frac{2,25 Tt \cdot 1/S}{r_e^2}$$

y sustituyendo

$$0,013 = \frac{0,183}{100} \log \frac{2,25 Tt}{s} - \frac{0,183}{100} \log r_e^2$$

$$\frac{0,183}{100} \log r_e^2 = \frac{0,183}{100} \cdot \log \frac{2,25 \cdot 100 \cdot 1}{0,00033} - 0,013$$

$$= 0,00183 \cdot 5,83 - 0,013 = - 0,002.$$

$$y \log r_e^2 = - \frac{0,002}{0,00183} = - 1,1 =$$

$$r_e^2 = \frac{1}{12} = 0,08$$

$r = 0,28$  que resulta ser mayor que el radio =  
= 0,20 del pozo, con lo cual se puede afirmar que el pozo está correctamente desarrollado.

## 8. CALCULO DEL CAUDAL DE EXPLOTACION

Haciendo uso de la ecuación

$$Y = \frac{0,183 Q}{T} (\log t - \log t_0)$$

podemos calcular los caudales de explotación para las diferentes depresiones provocadas en el pozo, así como los distintos tiempos de bombeo ininterrumpido.

El caudal de explotación para una depresión de 30 m. y durante un período ininterrumpido de 20 años es:

$$30 \text{ m.} = \frac{0,183 Q_{20 \text{ años}}}{4 \text{ m}^2/\text{h}} \left( \log 175.000 \text{ h} - \log (1,5 \cdot 10^{-6}) \right)$$

$$Q_{20 \text{ años}} = 60 \text{ m}^3/\text{h.}$$

Madrid, Abril de 1.969.



Fdº.: Luis Llorente Herrero

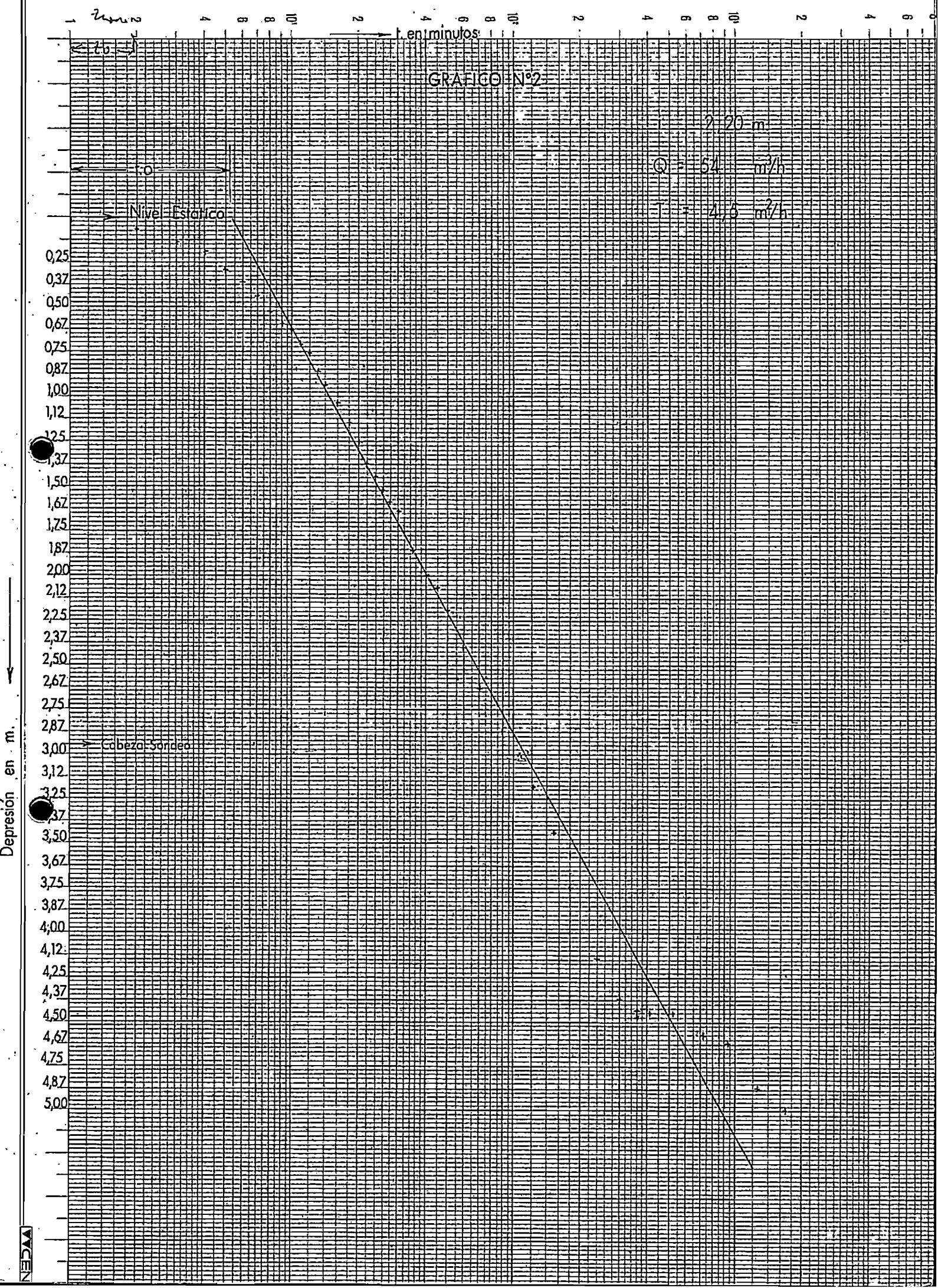


Fdº.: Manuel Villanueva  
Martínez

Vº. Bº.

EL INGº. JEFE DE LA DIVISION  
DE AGUAS SUBTERRANEAS

Fdº.: A. de Gálvez-Cañero



Depresion en m.

t en minutos

VACEN

A N E X O I

Ensayo de Bombeo en Ferral del Bernesga el 17 de enero de 1.969.

POZO.-

Nivel piezométrico en reposo 3,5 m. sobre cabeza de sondeo.

<u>Tiempo de bombeo en minutos</u>	<u>Depresiones en metros</u>
1'	2,38
2'	3,14
3'	8,06
5'	9,36
7'	9,72
10'	10,10
15'	10,78
20'	11,17
25'	11,44
30'	11,44
40'	11,56
50'	11,50
60'	12,61
70'	13,21
100'	13,60
120'	13,92
150'	14,80
180'	15,38



<u>Tiempo de bombeo en minutos</u>	<u>Depresiones en metros</u>
210' .....	15,82
240' .....	16,34
270' .....	15,87
300' .....	15,71
360' .....	15,06
420' .....	15,36
480' .....	15,03
540' .....	15,48
600' .....	14,88
720' .....	15,08
840' .....	14,94
960' .....	14,68
1.080' .....	14,75
1.260' .....	14,45

Las irregularidades observadas en la depresión pueden considerarse provocadas por el arrastre de arenas.

A N E X O    I I

Ensayo de Bombeo en Ferral del Bernesga el 17 de enero de 1.969.

PIEZOMETRO

Nivel piezométrico en reposo 2,95 m. sobre cabeza de sondeo.

<u>Tiempo de bombeo en minutos</u>	<u>Depresiones en metros</u>
1'	0,02
2'	0,06
3'	0,13
4'	0,23
5'	0,29
6'	0,36
7'	0,44
8'	0,52
9'	0,59
10'	0,67
11'	0,73
12'	0,80
13'	0,92
14'	0,84
16'	1,04
18'	1,16
20'	1,26
22'	1,36
24'	1,45
26'	1,53

<u>Tiempo de bombeo en minutos</u>	<u>Depresiones en metros</u>
28'	1,61
30'	1,69
35'	1,85
40'	1,99
45'	2,06
50'	2,18
60'	2,40
70'	2,66
90'	2,86
120'	3,16
150'	3,46
180'	3,76
240'	4,14
300'	4,36
360'	4,43
420'	4,45
540'	4,46
720'	4,58
960'	4,66
1.260'	4,86
1.470'	4,99