



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES HIDRÁULICAS DEL ACUÍFERO PROFUNDO DE LA CIUDAD DE PIURA PARA CUANTIFICAR INTERFERENCIA ENTRE POZOS

Juan Liziola-del Campo

Piura, 1989

FACULTAD DE INGENIERÍA

Área Departamental de Ingeniería Industrial

Liziola, J. (1989). *Evaluación de las propiedades hidráulicas del acuífero profundo de la ciudad de Piura para cuantificar interferencia entre pozos* (Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Industrial. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

Universidad de Piura

Facultad de Ingeniería
Programa Académico de Ingeniería Industrial

**Evaluación de las Propiedades Hidráulicas del Acuífero
Profundo de la Ciudad de Piura para Cuantificar
Interferencia entre Pozos**

TESIS

Que presenta el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería

Juan Fernando Liziola del Campo

Para optar el título de:
INGENIERO INDUSTRIAL

PIURA - PERU

1989

UNIVERSIDAD DE PIURA
BIBLIOTECA

A mis Padres, Hermanos y Ani.

PROLOGO

La obtención de agua mediante pozos tubulares sobre el embalse subterráneo de la ciudad de Piura está, en los últimos años, perdiendo parte de su eficiencia inicial. La obtención del fluido manifiesta un progresivo descenso de sus niveles piezométricos, lo cual requiere mayor energía en el sistema de impulsión y por lo tanto necesidades de equipos más potentes.

La presente tesis tiene como objetivo principal analizar las características hidráulicas del acuífero, sean permeabilidad, coeficiente de almacenamiento, etc., para conocer mejor su comportamiento frente a la gran explotación que viene sufriendo. Dentro de las principales causas de pérdida de eficiencia está la interferencia de

bombeos, tema que se estudiará en detalle.

Deseo expresar mi agradecimiento a mi asesor Ing. Ignacio Benavent por su ayuda en el buen desarrollo de este trabajo, al personal de SEDAPIURA por su colaboración en la realización de los ensayos de Bombeo; al Ing. Anton Zust, jefe de mantenimiento de Textil Piura S.A. por toda la información brindada, y a todas las personas que de alguna manera han contribuido con sus opiniones y sugerencias.

INDICE GENERAL

CAPITULO I

ACUIFEROS

1.1. Distribución vertical del Suelo	1
1.2. Tipos de acuíferos	3

CAPITULO II

EVALUACION DE ACUIFEROS.

TIPOS DE ENSAYOS, OBJETIVOS	6
2.1. Porosidad	7
2.1.1. Métodos de Cálculo	9
2.1.1.1. Obtención de la porosidad en campo	9
2.1.1.2. Obtención de la porosidad eficaz en laboratorio	11
2.2. Permeabilidad	11
2.2.1. Determinación de la permeabilidad	15
2.3. Coeficiente de Almacenamiento	18
2.3.1. Método de cálculo	19
2.4. Tipos de Ensayos	19
2.4.1. Ensayo de Bombeo	19
2.4.1.1. Objetivos	19
2.4.1.2. Descripción	20
2.4.1.3. Elección del lugar de ensayo	20
2.4.1.4. Ejecución del Ensayo	21

2.4.1.5. Métodos de cálculo	23
2.4.2. Otros Ensayos	26
2.4.2.1. Ensayos de bombeo a caudal variable	26
2.4.2.2. Trazadores	27

CAPITULO III

ACUIFERO PROFUNDO DEL AREA DE PIURA :

DATOS DE SU EXPLOTACION

3.1. Geología	28
3.2. Datos de su explotación	30
3.3. Zona de recarga	46

CAPITULO IV

REALIZACION DE PRUEBAS. RESULTADO DE ENSAYOS

4.1. Elección del tipo de prueba	48
4.2. Elección del lugar de estudio	49
4.3. Preparación del Ensayo	51
4.4. Ejecución y toma de datos	52
4.5. Información complementaria	52

CAPITULO V

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS.

OBTENCION DE PARAMETROS. DISCUSION.

5.1. Análisis de los ensayos anteriores	60
5.1.1. Prueba de bombeo en el pozo S.A.P. 7	60
5.1.2. Prueba de bombeo en el pozo UCISA	63
5.1.3. Prueba de bombeo en el pozo Urb. Piura	65

5.1.4. Prueba de bombeo en pozo S.A.P. Santa Rosa	67
5.1.4.1. Descenso	67
5.1.4.2. Recuperación	67
5.2. Prueba de bombeo en pozo El Cortijo	70
5.3. Cálculo de la velocidad de recarga	70
5.4. Discusión	71
CONCLUSIONES	75
BIBLIOGRAFIA	77

INTRODUCCION

El presente trabajo titulado "EVALUACION DE LAS PROPIEDADES HIDRAULICAS DEL ACUIFERO PROFUNDO DE LA CIUDAD DE PIURA PARA CUANTIFICAR LA INTERFERENCIA ENTRE POZOS", es un estudio orientado a tratar una muy probable causa del continuo descenso de niveles piezométricos en los pozos de la zona de Piura.

En el primer capítulo se presenta la teoría y los términos a tratar, como son acuíferos y clases de ellos.

En el segundo capítulo se analiza teóricamente los parámetros que se utilizan para evaluar un sistema acuífero, así mismo, explica el tipo de ensayo óptimo para la obtención de los mismos.

El tercer capítulo describe el acuífero profundo de la ciudad y ordena los datos con que se cuenta de su explotación, mostrando un registro en el tiempo de la evolución de sus niveles piezométricos.

El capítulo cuatro organiza los datos obtenidos en la realización de las pruebas de campo. Muestra el resultado de los ensayos.

En el capítulo cinco se procesan los datos obtenidos, hallando los parámetros necesarios para la evaluación del acuífero. Se analizan estos resultados para las conclusiones finales.

CAPITULO I

ACUIFEROS

El aprovechamiento de las aguas subterráneas constituye, para muchos países, una fuente importante para la obtención de este recurso. Más aún, en las regiones áridas es, frecuentemente, la única reserva segura de abastecimiento. Los usos que se hacen de ella en riegos, industrias, municipios y casas rurales tienden a incrementarse en forma continua.

1.1. Distribución vertical del Suelo.

Como parte del ciclo hidrológico, el agua en el subsuelo se puede encontrar de diferentes maneras. Una composición típica del terreno comprende una

primera zona de aireación (por su composición agua-aire) y una segunda zona saturada. Sus distintos espesores dependen en gran medida de la textura del material y de la vegetación .

A medida que vamos introduciéndonos en el subsuelo distinguimos la primera zona, que a su vez se divide en tres subzonas menores, las cuales no siempre están presentes. La primera de ellas es la subzona de evapotranspiración, comprendida entre la superficie del terreno y los extremos radiculares de la vegetación del mismo (puede variar desde 20 cm. hasta varios metros) ; la siguiente es la subzona intermedia, donde se encuentra agua gravífica, es decir aquella que desciende sólo por el efecto de la gravedad, su espesor es muy variable ; la última es la subzona capilar, que es la de transición a la zona saturada, el agua que se encuentra aquí está retenida por las fuerzas capilares y puede ascender hasta varios metros, dependiendo del tipo de suelo. Después de esta primera capa se encuentra la zona saturada, donde no existe aire en el suelo: Cualquier espacio vacío está ocupado por agua. El límite entre la zona de aireación y la zona saturada es lo que se llama napa freática o tabla de agua, podría definirse como el lugar geométrico de los puntos donde la presión hidrostática es igual a la presión

atmosfèrica(1). El agua de esta última zona es la única que puede extraer el hombre. A la formación geológica que permite la circulación de agua por sus poros y hace que el hombre pueda aprovecharla en cantidades econòmicamente apreciables para subsanar sus necesidades se le llama acuífero. La atención en este caso se concentra en determinar la cantidad presente, cantidad extraible, calidad y movimiento en la zona.

1.2. Tipos de Acuíferos.

Un acuífero no siempre se presenta en la misma forma y tampoco necesariamente a continuación de la zona de aireación. Un acuífero libre es aquel que mantiene una superficie libre a presión atmosfèrica y normalmente es recargado por la infiltración de agua de lluvia o por un curso de agua superficial. Su nivel superior depende, en mayor medida, de esta recarga. Su límite inferior puede estar definido por capas impermeables, como arcillas o rocas sin fracturar. Una superficie piezométrica se define como el nivel que alcanzaría el agua si el acuífero es atravesado por un pozo, la cual, para este caso coincidiría con la napa freática.

(1) CUSTODIO - LLAMAS ; "Hidrología Subterránea",
Ed. Omega, Barcelona 1983. Sección 5

Puede darse el caso de que un acuífero tenga límites impermeables tanto por debajo como por encima, el agua de su interior está sometida a una cierta presión, superior a la atmosférica, que hace que ante cualquier penetración en él mediante un pozo, el nivel de agua experimente una elevación por encima del límite superior del estrato. A estos acuíferos se les conoce como confinados, cautivos o a presión. La superficie piezométrica de este tipo de acuíferos es la superficie imaginaria que coincide con el nivel de la presión hidrostática del límite superior del acuífero. Cuando este nivel piezométrico está por encima del nivel del terreno, cualquier perforación bastaría para obtener el agua sin necesidad de energía adicional. A este caso especial de pozos se les llama artesianos.

Un tercer tipo de acuíferos es la mezcla de los dos anteriores : **Semiconfinados**. Consiste en dos acuíferos uno libre y otro confinado separados por un estrato poco permeable que permita la recarga de uno a otro, y cualquier efecto que se produzca en uno de ellos implique una reacción en ambos.

La presencia del agua en el subsuelo se puede manifestar de distintas formas. Existen diferentes definiciones para cada tipo especial de almacenamiento. Un acuitardo es aquella formación geológica que

contiene agua hasta la saturación pero la transmite tan lentamente que no hace rentable su explotación. Sin embargo éstos suelen ser muy importantes si permiten una recarga vertical de otros acuíferos.

El acuífugo no contiene agua ni la puede transmitir. Este es el caso del macizo granítico no alterado o rocas metamórficas sin fracturación. Constituyen formaciones importantes para la delimitación de los acuíferos.

Por último el acuicludo es un tipo de formación que contiene agua en su interior pero no la transmite. En este grupo las arcillas son las más representativas.

La idea de un aprovechamiento económico del agua almacenada en un acuífero es siempre un concepto muy relativo. Puede ser muy importante la obtención de 1 l/s para los habitantes de una aldea árida, sin embargo sería definido como acuicludo para las necesidades de una gran ciudad.

La valoración del embalse subterráneo puede ser catalogada de acuerdo a unas características definidas. La evaluación de estas características así como la manera más efectiva de obtenerlas desde el propio terreno se tratarán en el siguiente capítulo del presente trabajo.

CAPITULO II

EVALUACION DE ACUIFEROS. TIPOS DE ENSAYOS, OBJETIVOS

Dado que el estado y movimiento del agua subterránea están íntimamente ligados con la estructura geológica del terreno, la comprensión de los controles geológicos es un pre-requisito para el correcto entendimiento de los procesos de la hidrología subsuperficial. Considerando los acuíferos como sistemas físicos que poseen un cierto funcionamiento regulado por la recarga, extracciones, etc., se comprende que deben poseer unas ciertas características fundamentales de las cuales dependa aquél. Estos parámetros, que permiten definir el funcionamiento o respuesta a unas determinadas acciones exteriores, en

concreto son, la porosidad, la permeabilidad y el coeficiente de almacenamiento

2.1. Porosidad .

En la práctica no es frecuente encontrar uniformidad en los granos del terreno, mucho menos la perfecta distribución natural. Esto y la diferente granulometría, crea entre los granos, unos intersticios en los que se deposita aire o agua. Estos pequeños espacios vacíos son los poros y una medida de ellos es la llamada porosidad : que viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total. En la zona saturada, la porosidad será el porcentaje de agua que contiene el suelo. Ahora, la cantidad de agua que puede almacenar es muy distinta a la cantidad que se puede extraer, ya que solo importan los poros interconectados por donde circula el agua.

Se distinguen entonces dos tipos de porosidad : total y eficaz . La diferencia entre estos dos parámetros, retención específica, es el agua retenida por las fuerzas capilares, intermoleculares (agua-sólido) y eléctricas.

Formulando el concepto se puede mostrar así (1):

$$m = \frac{V_p}{V} \quad \text{donde :}$$

m = porosidad total

V_p = volumen de huecos

V = volumen total

Si V_E es el volumen de agua que puede ser liberado por acción de la gravedad

$$m_E = \frac{V_E}{V} \quad m_E = \text{porosidad eficaz}$$

$$m_s = m - m_E \quad m_s = \text{retención específica}$$

La tabla siguiente muestra la diferencia existente entre la porosidad total y eficaz, para distintos tipos de suelos (2), en valores promedios.

-
- (1) CUSTODIO - LLAMAS ; "Hidrología subterránea";
Ed. Omega, Barcelona 1983. Sección 2.4.1
- (2) KEITH ; "Hidrología (Agua subterránea)";
Ed. Paraninfo, Madrid 1973 Capítulo 2

Tipo de suelo	m	m _e
Grava	35 %	25 %
Arena gruesa	38 %	30 %
Arena fina	32 %	28 %
Grava y arena	30 %	25 %
Pizarras	5 %	2 %
Arcillas	50 %	2 %

Una alta porosidad no indica necesariamente un acuífero de buena productividad ya que gran parte del agua puede ser retenida en pequeños poros bajo la tensión capilar a medida que se extrae el agua. Las arcillas son una buena muestra de ello.

2.1.1. Métodos de cálculo.

Puede efectuarse por diferentes métodos tanto de laboratorio como de campo.

Los métodos de laboratorio implican un cambio en la muestra, alterando su estado original y por lo tanto obteniéndose valores muy poco aproximativos.

2.1.1.1. Obtención de la porosidad en campo.

Los estudios se basan en la determinación de la porosidad eficaz, ya que ésta es la única que interesa al momento de la explotación de un acuífero. Para su obtención en el campo se pueden utilizar métodos de bombeo, de recarga, de balan-

ce, de trazadores, entre los más importantes. El primero, un ensayo de bombeo en pozos de observación, proporciona un valor del coeficiente de almacenamiento (ver sección 2.3), el cual coincide en primera aproximación con la porosidad eficaz, cuando el tiempo de bombeo es suficientemente largo. Los valores obtenidos son siempre algo menores que los determinados por otros métodos. La porosidad se puede calcular con relativa precisión con la siguiente fórmula:

$$m_e = Q/A \cdot dH$$

Q es el volumen de agua extraída (m³)

A es la superficie media del nivel piezométrico
dH descenso medio de la superficie piezométrica

El método del balance consiste en comparar la entrada o salida neta de agua en una porción de acuífero conocida, analizando su balance hídrico (3). Los valores obtenidos son un promedio de toda el área.

Los trazadores permiten medir la velocidad del agua in situ. En el campo son aplicables a cual-

(3) Balance Hídrico: Consiste en establecer una igualdad entre las entradas y salidas de agua en una zona concreta, tomando en cuenta evapotranspiración, recarga, gasto e incrementos de la reserva de agua.

una cierta proporcionalidad entre:

$$Q \approx h \quad \text{y} \quad Q \approx 1/L$$

esto es, el caudal es directamente proporcional a la diferencia de niveles piezométricos de dos puntos e inversamente proporcional a la distancia que los separa. Introduciendo una constante de proporcionalidad (K) nos llevaría a :

$$Q = K \cdot A \cdot h / L$$

en términos generales se puede expresar como

$$Q = K \cdot A \cdot dh / dL$$

$$Q/A = K \cdot dh / dL$$

donde $dh/dL = i =$ gradiente hidráulico

$$v = K \cdot dh / dL$$

$$v = K \cdot i$$

Esta fórmula es la llamada ley de Darcy, la cual rige el flujo de las aguas subterráneas, sin embargo esta ley se calculó bajo ciertas condiciones netamente definidas :

- flujo homogéneo e isótropo
- estrato inferior impermeable
- y flujo en régimen laminar.

riales. El cuadro que se muestra a continuación da una clasificación del tipo de acuífero según la permeabilidad del material que lo forma (6):

K	10^2	10	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
tipo de material	gravas gravilla sin elementos finos		arenas puras arenas y gravas sin elementos finos			arenas muy finas Silts y mezclas limos arenas y arcillas			arcillas homogénea pizarra granito			
calificación	muy bueno muy permeable		bueno permeable			muy malo poco permeable			muy malo impermeable			

K en centímetros/segundo.

En la permeabilidad influyen tanto la naturaleza del terreno como la densidad y viscosidad del fluido, las cuales a su vez están en función de la temperatura y presión: la temperatura afecta a la viscosidad y densidad mientras que la presión altera la geometría de los poros reduciendo el espacio a mayor presión.

Existen otros factores que pueden afectar el valor de la permeabilidad como la composición química del agua, etc.

(6) CASTANY ; "Tratado Práctico de las aguas subterráneas", Barcelona 1971
Capítulo 13

2.2.1. Determinación de la permeabilidad.

Es un problema delicado ya que influyen mucho las pequeñas variaciones de granulometría y composición. El cálculo del valor de este parámetro para un material determinado se puede realizar en laboratorio y en el campo.

Para los métodos de laboratorio se usan los permeámetros, que son dispositivos donde se ensaya una muestra del material a estudiar, en el cual se mide la cantidad de agua que fluye a través de ella durante un tiempo dado. El valor práctico es muy relativo ya que no representa la realidad. Los flujos reales son imposibles de reproducir en un permeámetro(7).

Para el cálculo de la permeabilidad han sido propuestas varias fórmulas, en base a su granulometría y porosidad. Se enumerarán sólo las más aceptadas.

- Fórmula de Hazen:

$$K = c (d_{10})^2$$

donde c es una constante que vale 45.8 para

(7) CUSTODIO - LLAMAS ; "Hidrología Subterránea",
Ed. Omega, Barcelona 1983 Sección 8.2

arenas arcillosas y 142 para arenas puras.

d_E es el diámetro equivalente tal que solo el 10% de los granos son de tamaño menor.

- Fórmula de Slichter:

$$K = c (d_{10})^2 m^n$$

donde m es la porosidad total y n otra constante que vale aproximadamente 3.3 .

d_x es el ancho de malla del tamiz que deja pasar el x %.

- Fórmula de Bakhmeteff

$$K = c d_E^2 m^{4/3}$$

para $c = 710$

- Fórmula de Kozeny y de Fair y Hatch

$$K = c (V/S)^2 (m^3/(1-m)^2)$$

siendo S/V la superficie total de poros del volumen V .

El cálculo de la permeabilidad en el campo suele dar valores más representativos del medio. Los datos de campo dan valores medios cuya validez se

limita al espesor ensayado.

Entre los distintos ensayos de campo se pueden enumerar:

- Método de trazadores, donde la velocidad del agua se calcula introduciendo en ella un colorante o sustancia trazadora y midiendo el tiempo que tarda en aparecer en un punto más abajo. Se obtienen mediciones directas de la velocidad real del agua subterránea.

- Ensayo de descensos en piezómetros(8). La extracción o introducción repentina de un caudal conocido, y la medición de la variación de niveles en el tiempo, permite conocer la velocidad del agua y por ende la permeabilidad.

- Ensayos de Bombeo. Es el método más empleado y el que da valores mucho más aceptables de la realidad. Consiste en bombear un pozo (extraer un caudal conocido) durante un tiempo determinado, obteniendo valores del descenso de niveles piezométricos.

La explicación más detallada de estos ensayos se

(8) Piezómetro: Perforación de pequeño diámetro, realizado con la finalidad de obtener datos del acuífero como nivel piezométrico, calidad y realizar posibles ensayos en él.

darà más adelante, en este mismo capítulo.

2.3. Coeficiente de Almacenamiento.

Antiguamente no se pensaba que los acuíferos pudieran tener otras propiedades de almacenamiento que las debidas a su porosidad propia. En 1925, estudiando el balance hídrico de un acuífero del cual obtenían un determinado caudal, se observò que solamente $1/6$ de dicho caudal podría haber sido transmitido desde el àrea de recarga y los restantes procedían del almacenamiento (9).

El agua almacenada en acuíferos cautivos, al ser extraída desde la superficie se dilata por descompresión proporcionando una cantidad de líquido. Igualmente la presión intersticial en el terreno disminuye lo cual permite la expulsión de más agua.

La propiedad de almacenar agua que poseen los acuíferos confinados fue cuantificada por primera vez por Theis. Definiò al coeficiente de almacenamiento como el volumen de agua, por unidad de superficie del acuífero, que se extrae o almacena en èl al producirse un cambio unitario de nivel piezométrico. Se representa, usualmente como "S" y no tiene dimensiones.

(9) LOHMAN ; "Hidráulica Subterránea".

Según esta definición, en los acuíferos libres, este coeficiente es igual a la porosidad.

En la mayoría de los acuíferos confinados los valores de S están dentro de estos límites:

$$0.00005 \leq S \leq 0.005$$

2.3.1. Método de cálculo.

El método más usado, por ser el óptimo, es el ensayo de bombeo. Otros métodos dan valores muy poco aproximativos y el cálculo en laboratorio casi no se usa por ser un factor muy característico del medio físico y geológico.

2.4. Tipos de Ensayos.

Se ha visto que la mejor manera de obtener valores aproximados de las características de un acuífero son los ensayos de campo. El mejor de todos es el ensayo de bombeo, por su fácil interpretación y realización.

En este capítulo hablaremos del ensayo de bombeo y otras pruebas de campo.

2.4.1. Ensayo de Bombeo.

2.4.1.1. Objetivos.

Puede servir para dos objetivos principales:
determinar las características hidráulicas del

acuifero y proporcionar informaci3n sobre rendimiento y el descenso del nivel de agua en el pozo. Al primero se le suele llamar test de acuifero, ya que lo estudiado, m3s que la bomba o el pozo, es el acuifero en si mismo. Cuando se planifica correctamente puede proporcionar informaci3n muy valiosa para el estudio del comportamiento del embalse subterr3neo. Al segundo se le llama test de pozo ya que al estudiar la capacidad especifica o relaci3n descarga-descenso del pozo, podemos determinar el tipo de bomba y el coste de bombeo.

2.4.1.2.Descripci3n.

El ensayo es bastante simple. Se puede realizar con solamente un pozo operativo, que tiene una zona del acuifero perforada. Se bombea agua durante un cierto tiempo y con un cierto caudal y se van anotando los descensos ocurridos dentro del pozo a lo largo del bombeo. Un estudio mucho m3s completo seria poseer piez3metros situados en las cercanias del pozo para observar el efecto que se produce en ellos.

2.4.1.3.Elecci3n del lugar del ensayo.

La elecci3n es muy relativa, porque a veces el lugar est3 predestinado y no hay posibilidad de

ensayos de 12 a 24 horas suelen ser suficientes, mientras que en acuíferos libres pueden llegar hasta 72 para conseguir buenos resultados.

La parte más importante del ensayo es la medición de niveles. Esto debe realizarse en intervalos de tiempos que marquen una escala logarítmica (por su posterior interpretación). Un buen ensayo requiere de la siguiente secuencia de mediciones:

t (min) 0; 1/2; 1; 1.5; 2; 3; 4; 6; 8; 10; 15; 20; 30; 40; 60

t (hrs) 1.5; 2; 3; 4; 5; 8; 10; 12; 15; 20; 24 (11)

Las mediciones deben hacerse con la mayor precisión posible.

Si se poseen piezómetros cercanos al pozo ensayado, la siguiente tabla muestra los intervalos entre dos lecturas a lo largo del ensayo(12).

(11) CUSTODIO - LLAMAS ; "Hidrología Subterránea"
Ed. Omega, Barcelona 1983 Sección 9.20

(12) "Análisis y evaluación de los datos de ensayo por bombeo", Boletín 11s
Holanda 1975 Capítulo 3

SERIE DE INTERVALOS DE TIEMPO ENTRE MEDIDAS
DEL NIVEL DE AGUA EN LOS PIEZOMETROS

tpo desde comienzo del bombeo			intervalos de tiempo
0 - 2	min.	aprox.	10 seg.
2 - 5	min.		30 seg.
5 - 15	min.		1 min.
15 - 50	min.		5 min.
50 - 100	min.		10 min.
100 - 5	hrs.		30 min.
5 - 48	hrs.		60 min.

Las medidas del caudal se realizan en cualquier instante, comprobando si fuera posible varias veces durante el ensayo.

Despuès del cierre de la bomba los niveles empezarán a subir. A la medición de este ascenso se le llama ensayo de recuperación. Los valores obtenidos de este tipo de ensayos son muy confiables, incluso más que los recogidos durante el bombeo, para los casos en que no se tenga la certeza que el rendimiento de la bomba sea constante. De todas formas, pueden ser usados para comprobar los anteriores.

2.4.1.5. Métodos de cálculo.

El análisis de los datos obtenidos y la determinación de los parámetros se pueden conseguir por cálculos directos. El análisis matemático de tales fórmulas no se ha tocado en la presente

tesis. Nos limitaremos a citar las más usadas. Para cualquier profundización en el tema se puede consultar la bibliografía mencionada.

THIEM propuso la fórmula básica para el cálculo de los descensos en un pozo para un acuífero cautivo en régimen permanente. Es la siguiente:

$$s = 0.366 (Q/T) \log(R/r)$$

s es el descenso en el pozo

Q es el caudal bombeado

T es la transmisividad del acuífero

R radio de influencia del bombeo (13)

r radio del pozo

THEIS analizó y propuso una fórmula para régimen no permanente:

$$S = Q/(4\pi T) \cdot W(u) = 0.08 Q/T \cdot W(u)$$

$$u = r^2 S / 4Tt$$

donde W(u) es una función conocida.

El análisis de los datos se realiza por el método de coincidencia y se utilizan con la curva $\log W(u) - \log(1/u)$.

(13) Radio de Influencia: Distancia a partir de la cual se consideran nulos los descensos producidos por el bombeo del pozo.

Cuando se dispone de un único punto de observación, la representación obligada de los datos es de la forma $\log(s) - \log(t)$.

Los datos obtenidos y graficados de la forma antes mencionada se hacen coincidir con las gráficas $\log W(u) - \log(1/u)$ prefabricadas. El punto de ajuste en la coincidencia de las dos curvas, proporciona los valores de s , W , $1/u$, t de modo que:

$$(s) = (Q/4\pi T) \cdot (W) \quad ; \quad T = 0.08 (W)Q/(s)$$

y una vez hallado T

$$(1/u) = 4T(t)/r^2 S \quad ; \quad S = 4T(t)/r^2 (1/u)$$

Para JACOB la fórmula básica de los descensos en un pozo es:

$$s = 0.183 Q/T \log(2.25Tt/r^2 S)$$

Los datos obtenidos del ensayo se representan semilogarítmicamente, descensos - log (tiempo). Una vez encontrada la curva, se traza una recta que ajuste a los puntos marcados. La pendiente de esta recta será:

$$m = (\Delta s)_{10} = 0.183 Q/T$$

$$T = 0.183 Q / (\Delta s)_{10}$$

$(\Delta s)_{10}$ es la variación del descenso por ciclo logarítmico de tiempo

Q es el caudal bombeado

T transmisividad del acuífero

Una vez hallado T se puede hallar el coeficiente de almacenamiento S :

$$S = 2.25Tt_0/r^2$$

t_0 es la prolongación de la línea recta de ajuste, al cortar el eje de tiempos $s=0$

r radio del pozo

Siempre hay que verificar la condición necesaria para aplicar el método de Jacob :

$$r^2S/4Tt < 0.01$$

2.4.2 Otros Ensayos.

2.4.2.1. Ensayos de bombeo a caudal variable.

Son mucho menos frecuentes y difíciles de interpretar, pero estas variaciones pueden ser intencionales para adecuar el caudal a las necesidades del consumo, o pueden ser incontroladas a causa de las variaciones en las condiciones de funcionamiento del sistema de bombeo, variación del

nivel de agua en el pozo, etc.

2.4.2.2. Trazadores.

Este método es muy utilizado sobre todo con trazadores radioactivos, puesto que no interaccionan con el medio y son fácilmente detectables. Para su ejecución es necesario, al menos, dos puntos de observación y medición. Uno para la inyección y por lo menos uno más para la medición.

Para su realización hay que tener un conocimiento previo del supuesto flujo del acuífero, así como una aproximación del tiempo de permanencia en el subsuelo. Lo primero para no perder el trazador y lo segundo para emplear un elemento de vida media óptimo para el caso a estudiar.

Este método se puede realizar inyectando el trazador en un piezómetro a una cierta distancia de un pozo en funcionamiento, y calcular el tiempo de llegada al mismo para un caudal determinado.

El siguiente capítulo es un resumen de los datos sobre la explotación que viene sufriendo desde hace muchos años el acuífero profundo de la zona de Piura.

CAPITULO III

ACUIFERO PROFUNDO DEL AREA DE PIURA : DATOS DE SU EXPLOTACION

En la Ciudad de Piura, toda el agua potable y agua para usos industriales proviene del subsuelo. Es obtenida a más de 100 metros de profundidad. Este capítulo detalla las características y datos de explotación de tal acuífero.

3.1. Geología.

La ciudad de Piura se encuentra situada sobre una capa de arenas de origen eólico, de un espesor que puede llegar a diez metros. Esta primera capa se

apoya sobre la formación zapallal, muy próxima al lindero de la formación chira. La formación zapallal es un sedimento de origen cuaternario con setenta metros de potencia y comprende principalmente intercalaciones de lutitas, areniscas y arcillas. En general todo este sistema contiene agua freática de muy alta salinidad con su nivel piezométrico muy cercano a la superficie, e inclusive, en algunos puntos por encima de ella. La recarga de este acuífero superficial se realiza por medio de las precipitaciones de la zona que en años muy lluviosos recargan gran parte de este sistema(1).

Por debajo de la formación zapallal existe una capa muy compacta de arcillas. Su espesor varía entre 30 y 40 metros. Las arcillas que se encuentran son básicamente lutitas. Existen también, pequeños niveles de areniscas compactadas.

Aproximadamente, a los noventa metros de profundidad existe una formación de origen sedimentario de arena gruesa y cantos rodados con intercalaciones arcillosas de muy poco espesor. Esta última formación conforma el acuífero profundo del área de Piura. La capa arcillosa que existe por encima lo convierte en

(1) CENDRET : Universidad agraria " La Molina " "La Napa freática en la ciudad de Piura", Lima 1967.

un acuífero confinado. El espesor del mismo es todavía motivo de estudio, ya que en su explotación se ha llegado a 280 metros de profundidad, sin haber alcanzado, aún, una capa límite inferior(2).

Las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 muestran tres perfiles estratigráficos de tres pozos pertenecientes a SEDAPIURA donde se puede observar las distintas estructuras que conforman el suelo piurano.

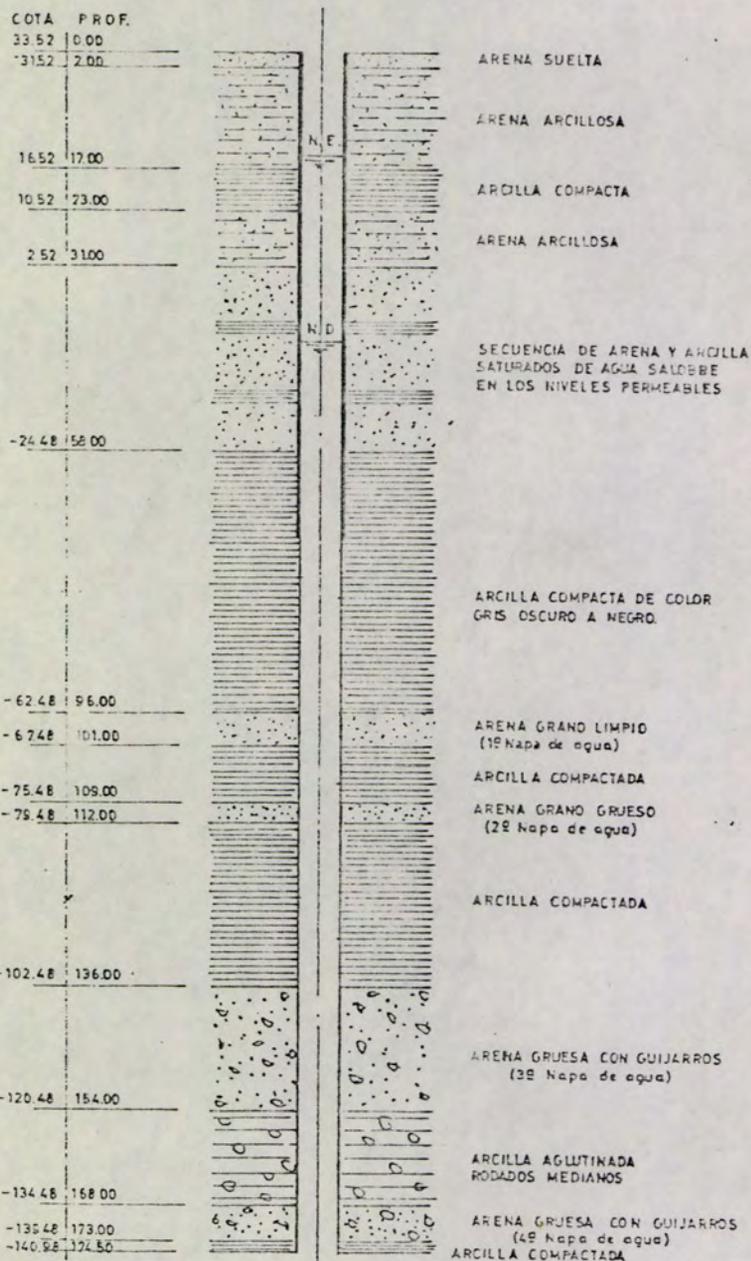
3.2. Datos de su explotación.

En 1938 se dió inicio a la explotación del acuífero profundo en la zona de Piura, con la perforación del pozo "El Chipe" cerca a la margen derecha del río Piura. Este primer pozo alcanzó 95 metros de profundidad, longitud suficiente para atravesar la gran capa arcillosa impermeable y obtener el caudal requerido en la época.

La capacidad de abastecer a la población con este único pozo se mantuvo durante diez años. En 1948 fue perforado un segundo pozo de ciento cincuenta (150) metros de profundidad: el pozo Pachitea.

La demanda crecía y las "bondades" del acuífero no

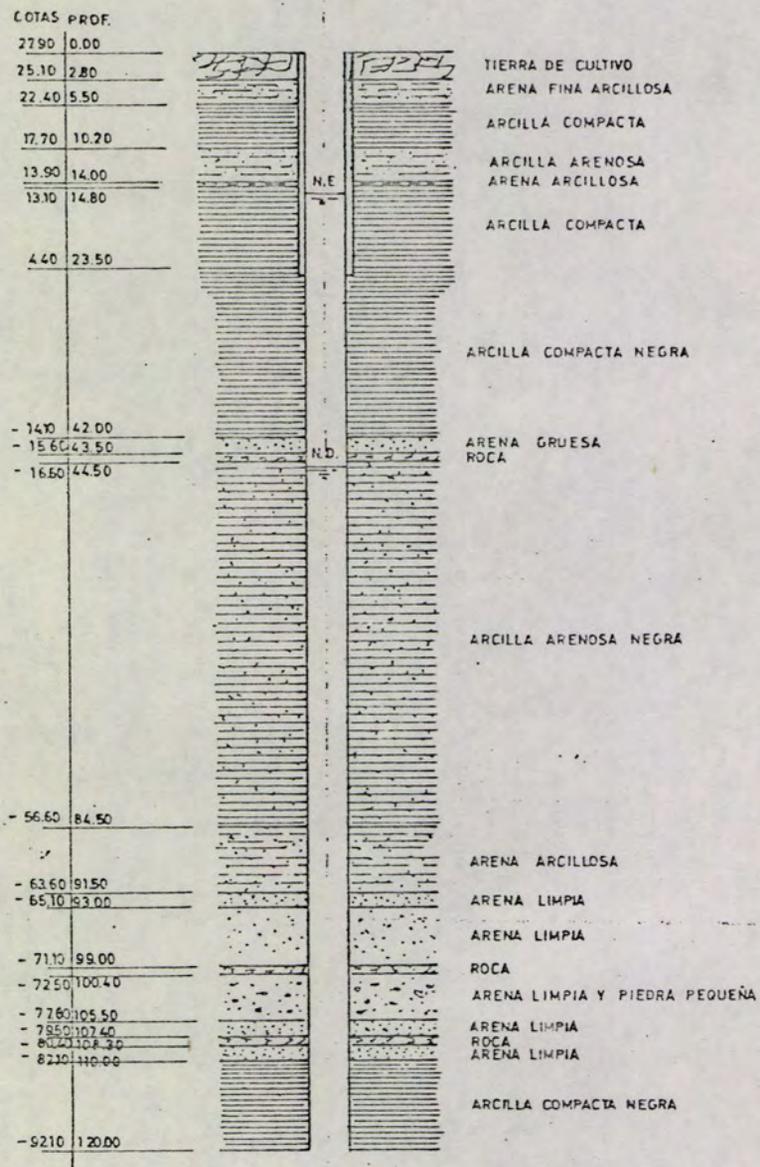
(2) Datos recogidos de conversaciones con el Ing. W. Rzewuski (perforador de pozos) y con el Ing. Wilfredo Castillo (geólogo).



AÑO DE PERFORACION 1962
 ALTURA DE PROTECCION 70m.
 Q=80 l.p.s DEPRESION 27M.
 ANALISIS QUIMICOS
 CLORUROS 400 p.p.m.
 DUREZA 90
 ALCALINIDAD 25

MINISTERIO DE FOMENTO Y O.P. SUB DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS	
COMISION DE ESTUDIOS INTEGRALES DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE PIURA	
GRAFICO N°733-1-E	PERFIL ESTRATIGRAFICO POZON°8 I.N.V.I.

FIGURA 3.1



AÑO DE PERFORACION 1961
 ALTURA DE PROTECCION 24.20 M.
 Q = 80 l.p.s. DEPRESION = 30 M.
 ANALISIS QUIMICOS
 CLORUROS 270 p.p.m.
 DUREZA 90
 ALCALINIDAD 45

MINISTERIO DE FOMENTO Y O.P. SUB-DIRECCION DE OBRAS SANITARIAS	
COMISION DE ESTUDIOS INTEGRALES DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE PIURA	
GRAFICO N°733-1-G	PERFIL ESTRATIGRAFICO POZO N°9 PARQUE INFANTIL

FIGURA 3.2

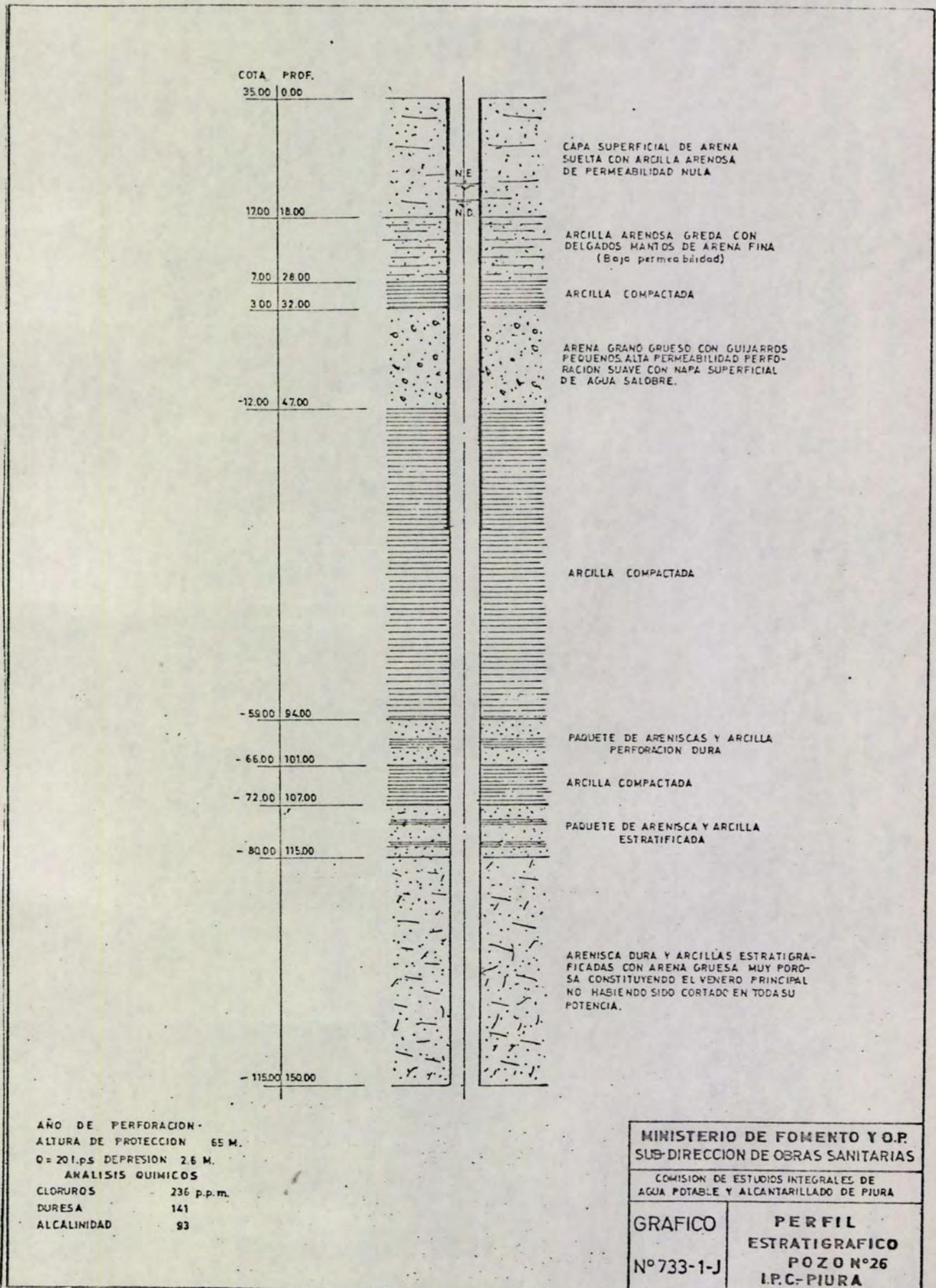


FIGURA 3.3

cesaban. Las operaciones con estos dos primeros pozos se mantenían tan bien, que se pensó en una mayor explotación tanto para uso industrial y agrícola como para servicio de agua potable.

La explotación continuó y en 1952 se perforó el pozo Vicús, como los dos anteriores, a menos de quinientos metros de la margen derecha del río Piura.

El año de 1956 se pusieron en operación tres nuevos pozos: Buenos Aires, Parque Infantil y Grau-Castilla. Este último en la zona de Castilla y con 190 metros de profundidad (3).

Ya en 1975 existían 22 pozos en continua explotación del acuífero, de los cuales diez pertenecían al abastecimiento de agua potable de la ciudad, tres eran de uso industrial, seis usados en agricultura y el resto en usos domésticos (particulares). Además de éstos, 5 estaban abandonados y 1 en reparación, los cuales habrían estado en actividad anteriormente(4).

El cuadro 1 muestra la información básica de los

-
- (3) MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS; "Constitución e implementación de la empresa de servicios de agua potable y alcantarillado / Filial de SENAPA ". Piura 1981 Sección 2.1-2.3
- (4) DIRECCION DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS; "Estudio hidrológico para el abastecimiento de agua a 'Industrial Textil S.A.'", Lima 1975

RESUMEN DE POZOS INVENTARIADOS, ENERO DE 1975

N° I.R.H.S.	NOMBRE DEL POZO	Tipo	Profundidad (m)	Año de Puesta en marcha	Cota del nivel (metros)	NIVEL PIEZOMÉTRICO				Nivel Dinámico (m)	Elevación (m)	Caudal (l/s)	Ende. Piezométrica (l/m) + 25°C	C.E.	EXPLOTACION					
						FECHA	P.R./m²	Profundidad de agua	COA (metros)						Estado del pozo	USO	Fuente	Explotación	Producción (m³/d)	
20/5/11-1	DISTRITO PIURA G.U.E. Alipuzi Cruz	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-		
2	Urb. Cruz - SAP - 9	T	120	1961	27.65	26-01-75	.00	34.15	- 6.50	42.00	7.85	103	12.40	1.4	Utilizado	Doméstico	19	7	10	107,40
3	Urb. E. Alvar SAP - 4	T	151	1952	32.61	27-01-75	.00	45.07	- 12.46	55.67	10.55	93	8.50	1.37	Utilizado	Doméstico	20	7	12	265,10
4	Urb. Puro - SAP - 8	T	174	1952	33.52	31-01-75	.11	40.82	- 7.19	57.71	17	22	1.3	1.25	Utilizado	Doméstico	18	7	12	40,50
5	Pueblo Joven Santa Rosa	T	200	1963	33.34	30-01-75	.00	38.19	- 2.85	52.54	12.35	42	5.00	1.8	Utilizado	Doméstico	13	7	12	118,70
6	Petro Perú	T	150	-	34.63	01-02-75	.00	30.76	3.87	-	-	-	-	1.7	Utilizado	Industrial	18	7	12	22,00
7	Examinadora Puro	T	144	1958	36.71	24-01-75	.00	35.67	0.64	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-	
8	UTISA	T	128	1963	34.50	24-01-75	.00	35.61	- 1.01	-	-	-	-	-	Utilizado	Industrial	2	6	12	-
9	M. de Vivero SAP - 7	T	230	1971	32.78	29-01-75	.10	36.53	- 3.65	52.30	16.77	86	5.2	2.35	Utilizado	Doméstico	12	7	12	150,00
10	La Fabril	T	110	-	31.66	25-01-75	.00	34.22	- 2.56	35.48	1.26	6	4.80	1.4	Utilizado	Industrial	6	1	4	2,10
11	Santa Bárbara	T	60	1959	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Enterrado	-	-	-	-	
12	Pueblo Joven Pacheco SAP-6	T	153	1968	30.39	27-01-75	.00	36.61	- 6.22	-	-	80	-	-	Torcido	Sin Uso	-	-	-	552,70
13	Univ. Particular Puro	T	140	1974	35.19	27-01-75	.40	29.40	6.16	-	-	-	-	-	Nuevo	Sin Uso	-	-	-	-
14	Urb. San Eduardo SAP-12	T	156	1965	44.09	-	.20	-	-	-	-	20	-	-	Utilizado	Doméstico	7	7	12	14,00
15	Funco Chica A	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Enterrado	-	-	-	-	
16	Funco Chica 1	T	156	1963	31.70	27-01-75	.00	24.37	7.33	26.60	2.23	20	9.00	1.66	Utilizado	Agrícola	8	6	12	16,00
17	Funco Chica 2	TA	8	-	-	27-01-75	.90	7.13	-	-	-	-	-	0.60	Abandonado	-	-	-	-	
18	Funco Chica SAP - 1	T	160	1956	-	27-01-75	.00	22.81	-	27.85	15.04	25	1.7	2.02	Utilizado	Doméstico	11	7	12	54,00
19	Funco Chica B	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Enterrado	-	-	-	-	
20/5/11-8	DISTRITO CASTILLA Coop. César Vallejo	T	149	1964	33.47	-	-	-	-	-	80	-	2.0	Utilizado	Agrícola	2	3	5	37,60	
9	Coop. César Vallejo	T	172	1964	33.95	26-01-75	.00	22.00	11.95	-	40	-	-	-	Utilizado	Agrícola	2	3	5	13,20
10	Univ. Técnico Puro	T	170	1969	32.04	28-01-75	.16	29.95	2.25	-	70	-	1.7	Utilizado	Doméstico	2	7	12	124,00	
11	Colegio San Ignacio de Loyola	T	136	1960	36.63	27-01-75	.00	19.13	17.50	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-	
12	Urb. Miraflores	T	280	1968	37.51	-	.24	33.75	- 1.00	-	65	-	2.86	Utilizado	Doméstico	16	7	12	1156,60	
13	La Granja SAP S.A.	T	180	1971	29.91	27-01-75	.12	24.31	5.72	38.16	13.85	28	5.60	1.23	Utilizado	Doméstico	13	7	12	327,00
14	Fuerza Aérea SAP S	T	173	1955	-	28-01-75	.08	25.16	-	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-	
15	SAP Av. Cruz	T	190	1964	27.93	28-01-75	.00	32.98	- 5.05	37.55	4.57	30	6.50	-	Utilizado	Doméstico	6	7	12	166,00
16	A. de Vivero-El Cortijo	T	180	1971	-	28-01-75	.11	33.22	-	-	-	-	-	-	Reparación	Doméstico	-	-	-	-
17	Funco Nazarenas	T	175	1964	27.19	-	-	-	-	20.70	-	90	-	0.87	Utilizado	Agrícola	24	7	2	472,00
18	Instituto Agrario	T	140	1964	28.30	27-01-75	.30	25.64	- 1.04	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-	
19	Hacienda El Ahogado	T	47	-	34.89	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
20	Sánchez	T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	En reserva	Sin Uso	-	-	-	-
21	Hospital Solón	T	72	1956	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Abandonado	-	-	-	-	
22/5/11-1	DISTRITO CATACAOS San Cuajilvan	T	150	1965	-	24-01-75	.00	34.74	-	-	-	-	1.23	Utilizado	Agrícola	-	-	-	-	
2	La Laguna	T	204	1972	-	29-01-75	.48	34.41	-	-	20	-	3.90	Utilizado	Doméstico	5	7	12	120,00	
3	San Miguel de Hurequeque	T	-	-	24.27	29-01-75	.00	30.10	- 6.03	-	70	-	1.68	Utilizado	Agrícola	4	7	6	11,30	
4	San Miguel - Potosí	T	174	1966	24.42	-	.00	31.70	-	-	-	-	-	-	Utilizable	-	-	-	-	

CUADRO 1

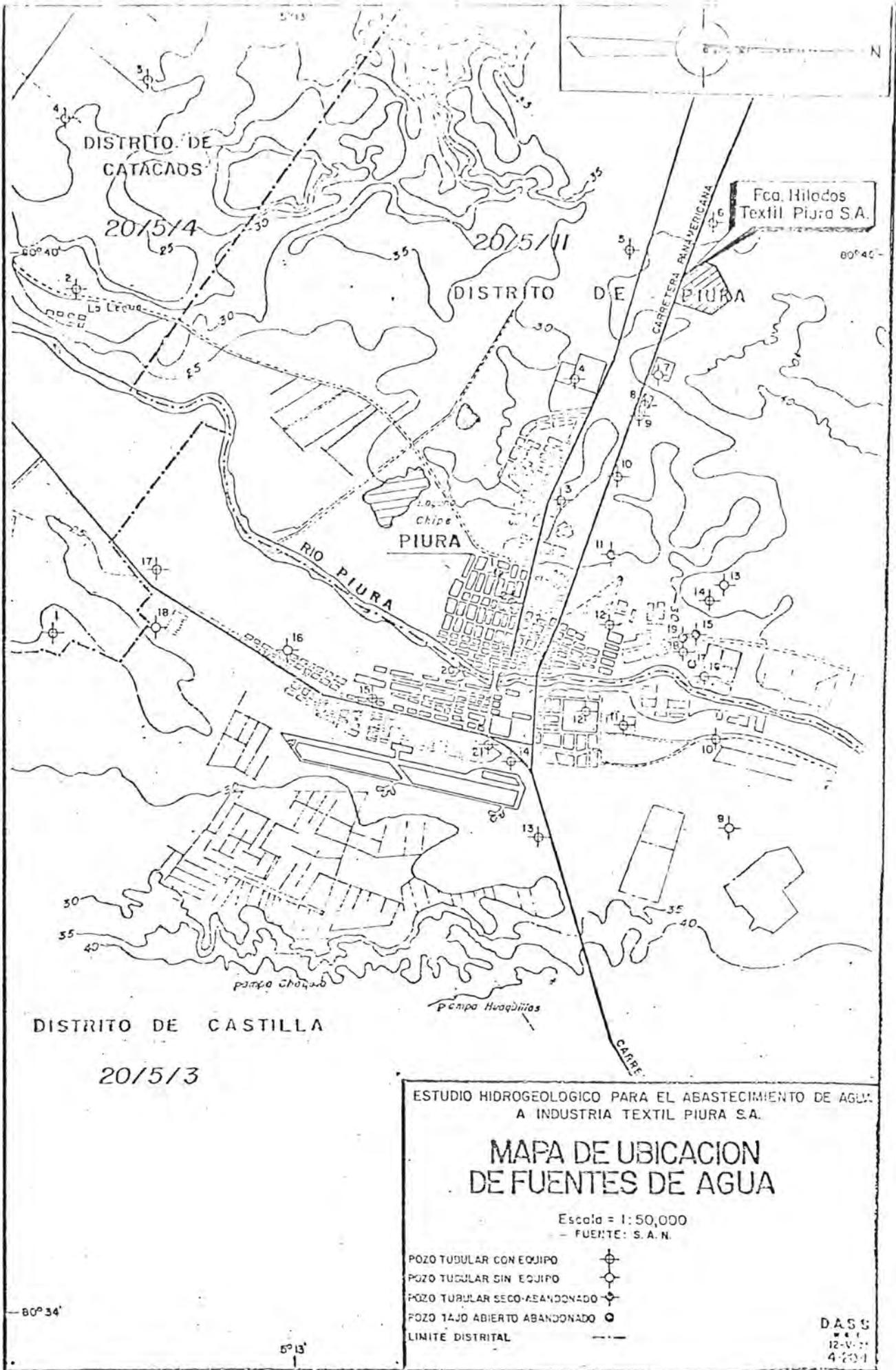
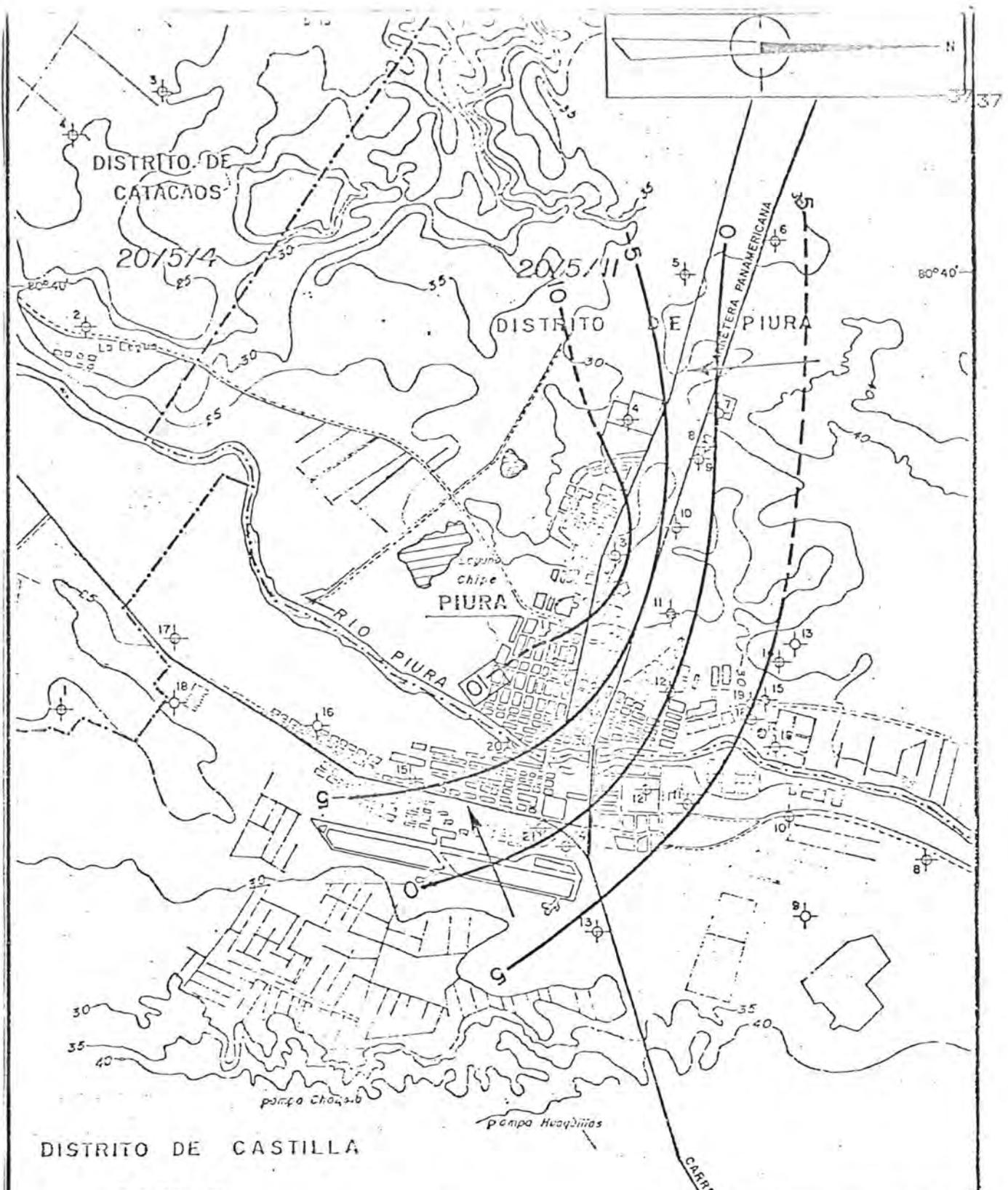


FIGURA 3.4



DISTRITO DE CASTILLA

2015/3

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO PARA EL ABASTECIMIENTO DE AGUA
A INDUSTRIA TEXTIL PIURA S.A.

CARTA DE HIDROISOHIPSAS

ENERO 1,975

Escala = 1:50,000

FUENTE: S.A.N.

- POZO TUBULAR CON EQUIPO 
- POZO TUBULAR SIN EQUIPO 
- POZO TUBULAR SECO ABANDONADO 
- POZO TAJADO ABIERTO ABANDONADO 
- LIMITE DISTRITAL 
- CURVA DE HIDROISOHIPSA 
- SENTIDO DEL FLUJO 
-  5 m.s.n.m.

FIGURA ... 3.5

D.A.S.S.

pozos inventariados en un estudio hidrogeológico del año 1975 en una área de 72 Km² abarcando los distritos de Piura, Castilla y Catacaos. Habría que recalcar, que este estudio abarcó, también, perforaciones que no llegaban al acuífero inferior, específicamente cuatro. La figura 3.4 da la ubicación de estos pozos.

De tal información se puede obtener el plano de hidroisohipsas(5), en base a la cota (m.s.n.m.) del nivel de agua y de la boca del pozo, ver figura 3.5.

El cuadro 2 muestra información obtenida de los archivos de SEDAPIURA (6), donde se observa la evolución en el tiempo de la profundidad del nivel piezométrico estático y dinámico de los pozos pertenecientes a esa entidad. Ver figuras 3.6 , 3.7 y 3.8 .

La explicación de la falta de información en algunos pozos se debe a que han sido construidos después del año 75 , otros, como el Santa Rosa y el Grau-Castilla tuvieron años de paralización por fallas mecánicas y técnicas. El pozo Pachitea dejó de trabajar hace 20 años por fallas constructivas.

(5) isohipsas: planos en los que se representa mediante curvas de nivel cada una de las superficies límites.

Hidroisohipsas: Curvas de igual nivel piezométrico.

(6) Datos proporcionados por Edulivio Vilela Guzmán: funcionario de SEDAPIURA.

CUADRO 2

NIVELES PIEZOMETRICOS : POZOS DE SEDAPIURA

Nombre del pozo	1975		1978		1981		1983		1985		1988	
	N.E.	N.D.	N.E.	N.D.	N.E.	N.D.	N.E.	N.D.	N.E.	N.D.	N.E.	N.D.
Bs. Aires	33	45	33	48	38	52	44	60	46	62	49	65
Urb. Piura	34	48	34	51	36	51	38	52	39	54	49	60
Nva. Esperanza	-	-	-	-	-	-	38	50	39	52	42	53
Vicós	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	41
Sn. Eduardo	32	39	31	43	34	49	38	52	-	-	45	62
Sta. Julia	-	-	-	-	35	52	45	56	45	57	46	62
Sta. Rosa	32	45	31	44	-	-	-	-	-	-	47	67
Bancarios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	68
El Chipe	29	40	28	43	33	50	32	50	34	50	35	54
San Martín	-	-	-	-	-	-	40	56	44	60	48	67
UCISA	-	-	35	50	38	52	42	57	44	59	45	62
Pque Infantil	32	48	33	52	36	55	38	56	33	56	39	58
El cortijo	-	-	-	-	-	-	42	58	44	58	46	60
Grau Castilla	28	40	33	48	-	-	-	-	-	-	39	52
Miraflores	30	45	33	50	35	51	38	54	38	55	40	60
La Granja	-	-	-	-	36	54	44	58	45	60	46	62
Pachitea	Paralizado											

N.E. Nivel Estático

N.D. Nivel dinámico

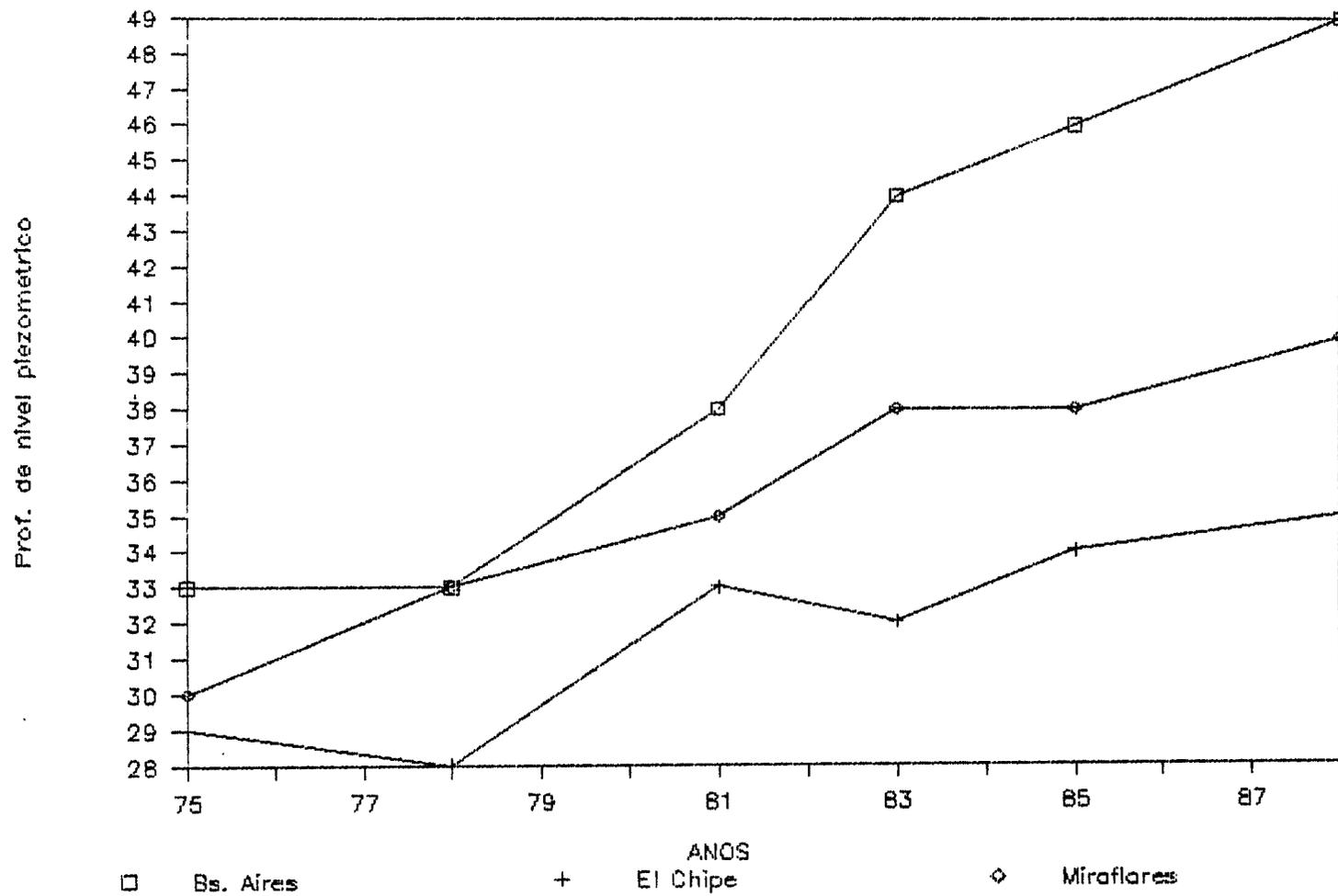


FIGURA 3.7 EVOLUCION DE NIVELES PIEZOMETRICOS 1975-1988
POZOS DE SEDAPIURA.

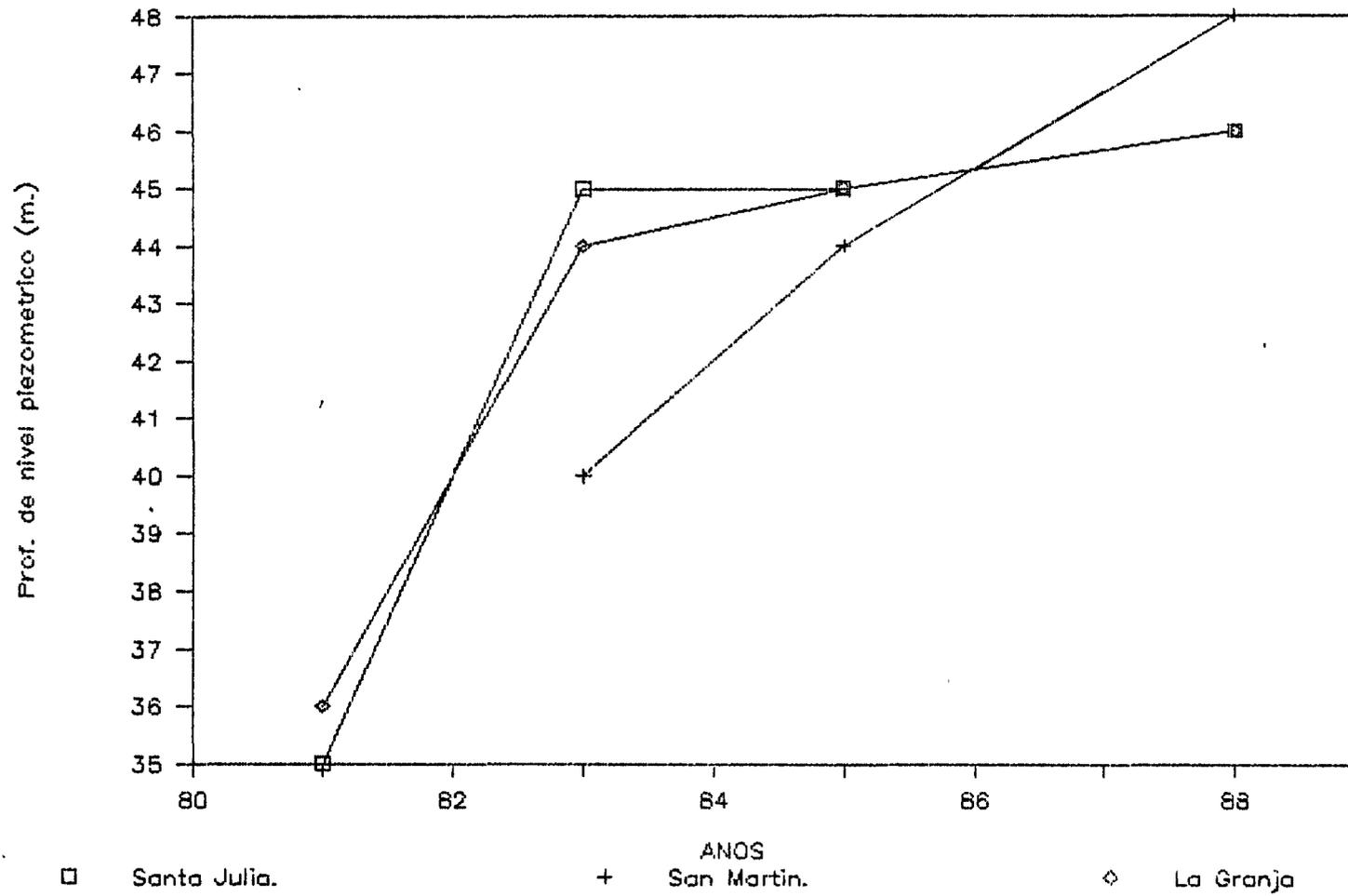
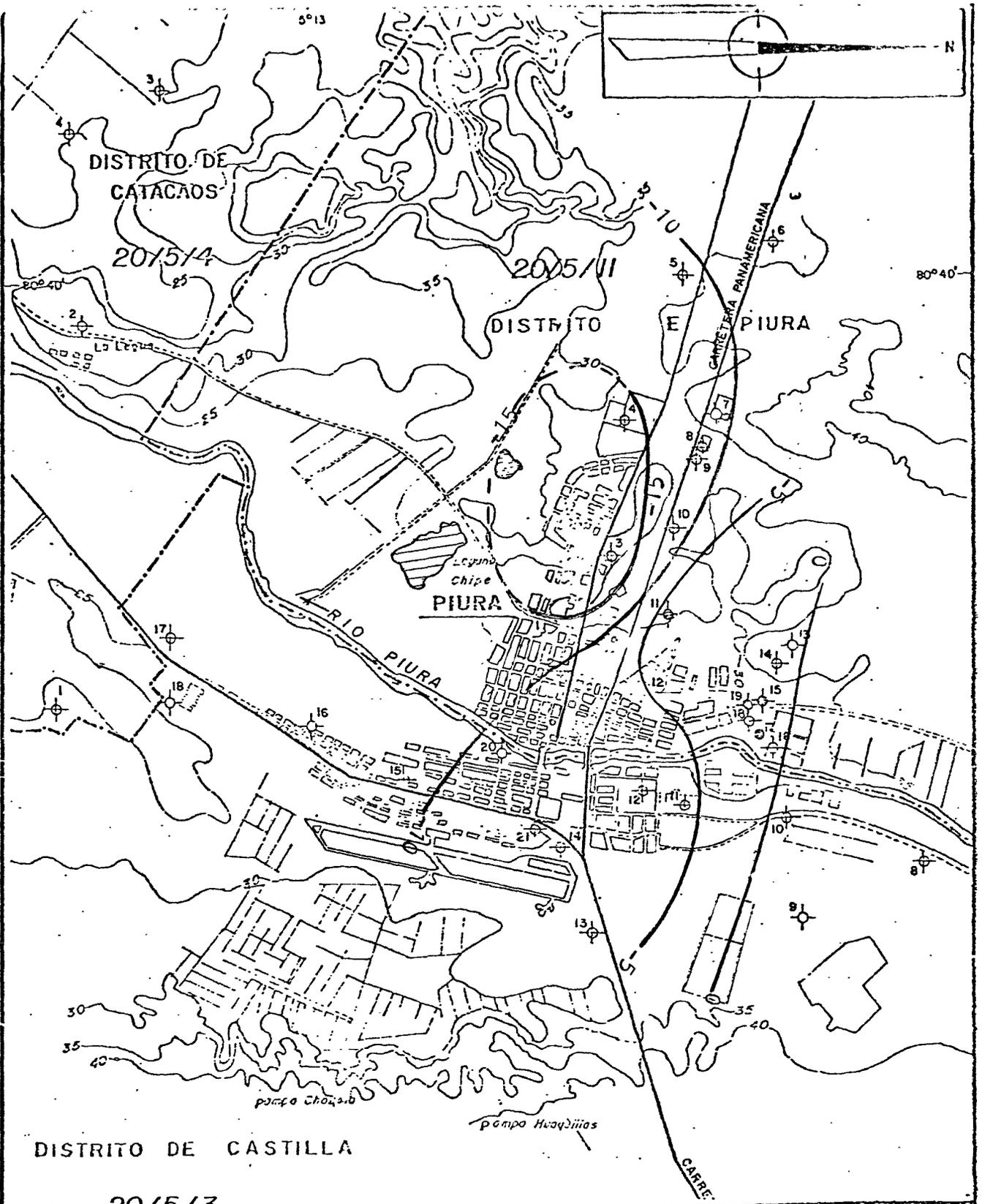


FIGURA 3.8 EVOLUCION DE NIVELES PIEZOMETRICOS 1981-1988
POZOS DE SEDAPIURA.

Hay que hacer incapiè en la confiabilidad de los datos mostrados. Por un lado el primer cuadro pertenece a un estudio hecho a una empresa privada y el segundo al archivo de una entidad estatal. Ambos no son muy coincidentes , por lo que se ha optado por descartar aquellos datos que no sigan un curso normal de evolución. El primer cuadro muestra datos puntuales, en una fecha determinada, el error en una medida no se podría detectar nunca. El archivo de SEDAPIURA brinda unas medidas a lo largo del tiempo: el error en una de ellas se notaría estudiando su evolución en el tiempo.

En base a esta información se ha confeccionado una segunda carta de hidroisohipsas del año 1988, ver figura 3.9. El cambio es muy notorio en los trece años de separación. El nivel piezométrico del embalse subterráneo a decaído más de cinco metros en toda el área. La mayor depresión se sitúa en la zona correspondiente a San Martín- Santa Rosa. La razón de este mayor cono de descensos puede deberse a que corresponde a un bombeo continuo y rodeado por una red de pozos en operación que no permite la recarga oportuna. Cabe resaltar que en dicha área se encuentran en operación los pozos de SEDAPIURA: Ucisa, Bancarios, Urb. Piura, Santa Rosa, Nueva Esperanza y Santa Julia, rodeados por los pozos de la fábrica Ucisa, Textil y la Fabril, en un radio no mayor a



DISTRITO DE CASTILLA

2015/3

CARTA DE HIDROISOHIPSAS

1988

Escala = 1:50,000

FUENTE: S. A. N.

- POZO TUBULAR CON EQUIPO
- POZO TUBULAR SIN EQUIPO
- POZO TUBULAR SECO-ABANDONADO
- POZO TAJO ABIERTO ABANDONADO
- LIMITE DISTRITAL
- CURVA DE HIDROISOHIPSA
- SENTIDO DEL FLUJO
- 5 msnm

FIGURA 3.9

80°34'

8°13'

2000 metros. Sin embargo la zona de El Chipe también tiene gran densidad de perforaciones, pero el supuesto flujo de la recarga(7) no está cortado, dando pase a un restablecimiento de niveles más rápido que en el caso anterior.

Sin embargo es clara la sobreexplotación. Cuando se pierde el equilibrio natural del acuífero se inducen cambios en el sistema.

Una explotación de un embalse subterráneo deprime el nivel piezométrico y esto induce a un mayor flujo hacia tal depresión. La capacidad del acuífero para transmitir agua de un punto a otro, permite que se pueda alcanzar un punto de equilibrio entre la explotación y la recarga. Sin embargo, si el caudal extraído es excesivo y sobrepasa esta capacidad natural de recarga del acuífero, el nivel piezométrico desciende.

La extracción de agua del acuífero profundo del área de Piura es excesiva. Repercute directamente en una baja sistemática de niveles piezométricos en cada uno de los pozos. Esto, sumado a una falta de control en los niveles, puede llevar a grandes sorpresas, como el cese repentino de bombeos por su escasa capacidad

(7) El análisis de las hidroisohipsas dan muestras que el escurrimiento sigue la dirección N -> S

de absorción, o simplemente a una reducción obligada de caudales.

3.3. Zona de recarga.

Hasta la fecha no existen estudios sobre la determinación exacta de la zona de recarga del acuífero citado. Es presumible que se encuentre en la cota 150-200 en los principios de la sierra piurana (zona cercana a Morropón), ya que la posibilidad de una recarga vertical es imposible por varias razones: existe una gran capa arcillosa prácticamente impermeable la cual es muy difícil que se comporte como una acuitardo, la calidad del agua del acuífero superior libre es muy mala, y su mezcla con el profundo se considera contaminación, y por último la recarga por precipitación no justifica un embalse de tales dimensiones.

En el siguiente capítulo se realizará un cálculo grosero (ya que no se tiene certeza en los datos) del tiempo promedio que tardaría la recarga en llegar a la zona de explotación.

La reacción del acuífero en la zona de Piura a un fenómeno de alta recarga "puntual", como fueron las lluvias del 83, puede tardar muchos años, incluso décadas. Así el frente de avance de una fuerte recarga se disiparía y no podría ser percibido con

claridad.

Las pruebas realizadas en campo para estudiar las características del acuífero serán tratadas en el siguiente capítulo. Estas, junto a los datos de estudios anteriores dan una visión aproximada de su comportamiento.

CAPITULO IV

REALIZACION DE PRUEBAS. RESULTADO DE ENSAYOS.

4.1. Elección del tipo de prueba.

Dentro de las distintas pruebas posibles para determinar las características físicas del acuífero se hizo un estudio de las perforaciones, tanto en sus características constructivas, como por su accesibilidad. Se realizó un ensayo de bombeo con mediciones de nivel en el propio pozo por distintas razones:

- El análisis de los datos de un ensayo de bombeo permite obtener valores muy cercanos a la realidad.

- En la ciudad de Piura no existen piezómetros que

lleguen al acuífero profundo. Es verdad que hay pozos que han estado trabajando con este acuífero y han sido paralizados por fallas técnicas y se podrían utilizar como piezómetros o pozos de observación, pero estas fallas impiden la introducción fácil de la sonda de medición de niveles.

- Se contó con un pozo para el estudio, el cual trabajaba más de 24 horas continuas, tiempo suficiente para realizar el ensayo.

- No se tuvo en cuenta la posibilidad de utilizar trazadores ya que es la única agua que se utiliza para el abastecimiento de la población, y la inyección de alguna sustancia extraña podría entrañar molestias para la población.

- Existen estudios anteriores en los que se han realizado ensayos de bombeo. La obtención de los parámetros por el mismo método permitiría establecer comparaciones o reconfirmar los resultados.

4.2. Elección del lugar de estudio.

La elección del lugar de realización de las pruebas se limitaba a escoger uno de los pozos perforados.

Las empresas privadas propietarias de pozos, no te-

nian manera de medir niveles, ni poseen la sonda de medición(1).

Se eligió uno de los pozos de SEDAPIURA , comprometiéndose esta misma empresa a prestar la sonda de medición. Entre los 17 pozos pertenecientes a esta entidad se escogió el pozo " El Cortijo" , ubicado en la margen izquierda del río Piura, con 180 metros de profundidad y un diámetro de 16 pulgadas. Bombea 75 litros/seg.

Uno de los motivos de la elección de este pozo se debe a que posee una bomba tubular. Es decir, el motor está en la superficie y los rodetes se activan mediante extensiones de metal, no existiendo cables de alimentación a lo largo del pozo, principal causa de atascamiento de sondas(2).

Otro factor de preferencia era la presencia de un pozo cercano (el pozo Grau-Castilla) donde se podrían realizar mediciones de nivel para comprobar el radio de influencia del bombeo. Este pozo está inactivo y

(1) La Sonda de medición es un dispositivo que se basa en la lectura de intensidad de corriente , donde un polo está conectado a la carcasa metálica del pozo y el otro cierra el circuito al contacto con el agua.

(2) Antes del ensayo se perdieron dos sondas con más de 60 metros de cable en intentos realizados con el jefe de pozos y cámaras de SEDAPIURA, Sr. Prieto.

sin equipo de bombeo. El resultado del ensayo en el propio pozo de bombeo exigiria realizar mediciones en este otro.

4.3.Preparación del Ensayo.

Para la correcta realización del ensayo es preciso tener en cuenta lo siguiente:

- Verificar que el caudal bombeado no regrese al acuífero. Tema en que no hubo problemas ya que el agua es utilizada para su instalación en la red de agua potable de la ciudad.

- Comprobar que el nivel no se modifique por causas ajenas al bombeo. En este sentido se debe anotar lo siguiente:

El pozo el cortijo bombea 72 litros/seg. durante 44 horas seguidas (empieza a las 4 a.m. y termina a las 12 p.m. del día siguiente). La recuperación del pozo podría no ser total, entonces las mediciones estarían afectadas siempre por el bombeo anterior. Los datos del nivel estático no serían correctos. Para comprobar su comportamiento se realizaron dos medidas con intervalos de tiempo de 15 minutos antes del ensayo. El nivel permaneció sin cambios.

- La duración de la prueba, por tratarse de un acuí-

fero confinado, se prolongaría hasta 24 horas o hasta que el nivel se mantuviera constante por un cierto tiempo.

- Para la toma de niveles se confeccionó una ficha de bombeo donde se anotaron los datos obtenidos. Ver cuadro 3.

- Los datos se pasarían a graficar de la forma:
- $s\text{-log}(t)$ para luego ser interpretados.

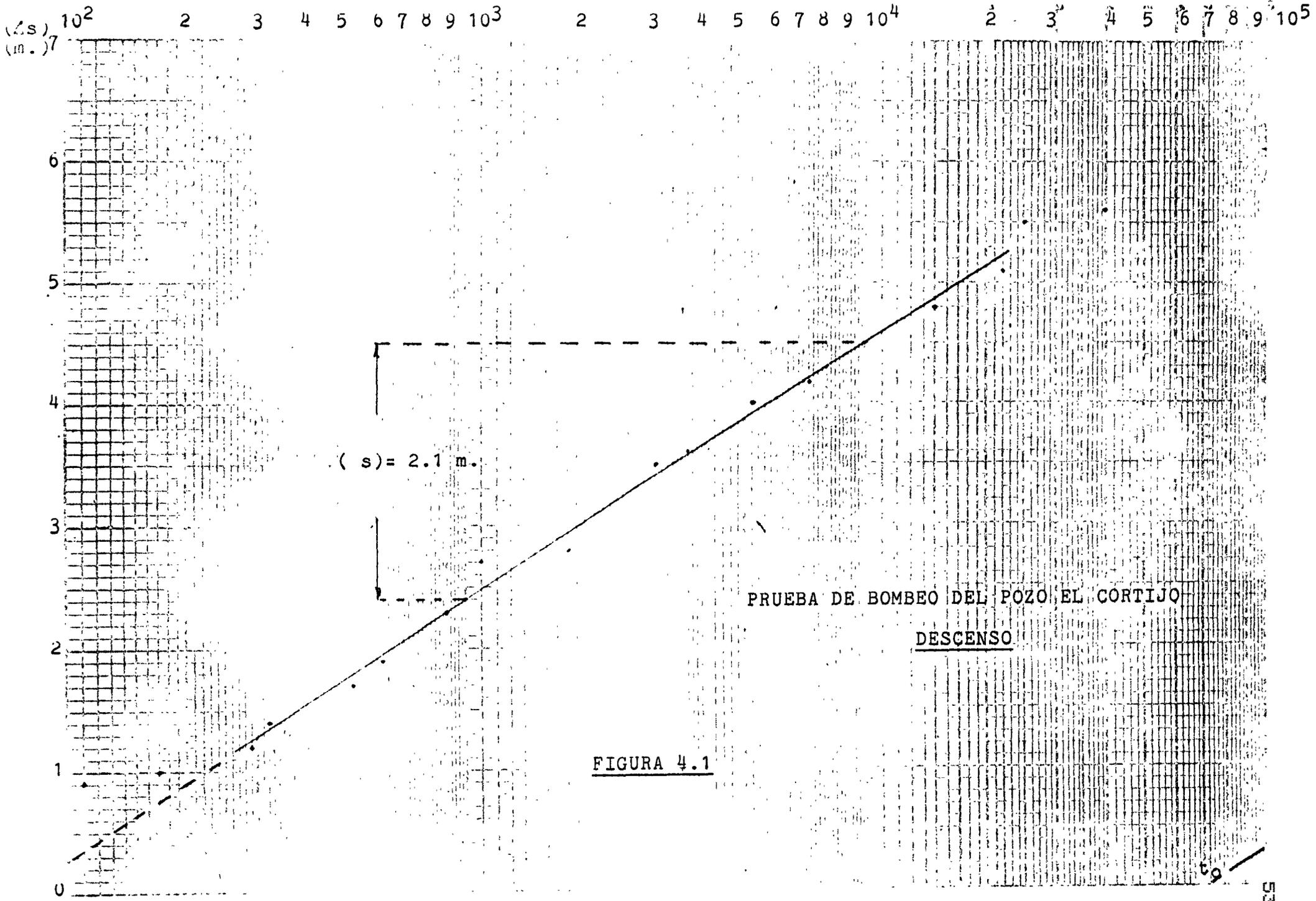
4.4. Ejecución y toma de datos.

Los datos obtenidos se muestran en la figura 4.1, graficados los descensos en el eje de las ordenadas y el tiempo, en escala logarítmica, en el eje de las abscisas.

4.5. Información complementaria.

Se han recogido datos sobre otros ensayos de bombeo realizados en 1975 para un estudio hidrogeológico en la zona. Se adjuntan a manera de comparación y evolución de las características del acuífero. Se añaden también algunos comentarios a los determinados en ese estudio.

La figura 4.2 muestra la curva de descensos/caudal - $\log(\text{tiempo})$ de un ensayo de bombeo realizado en el pozo S.A.P.7 del M. de vivienda para uso industrial.

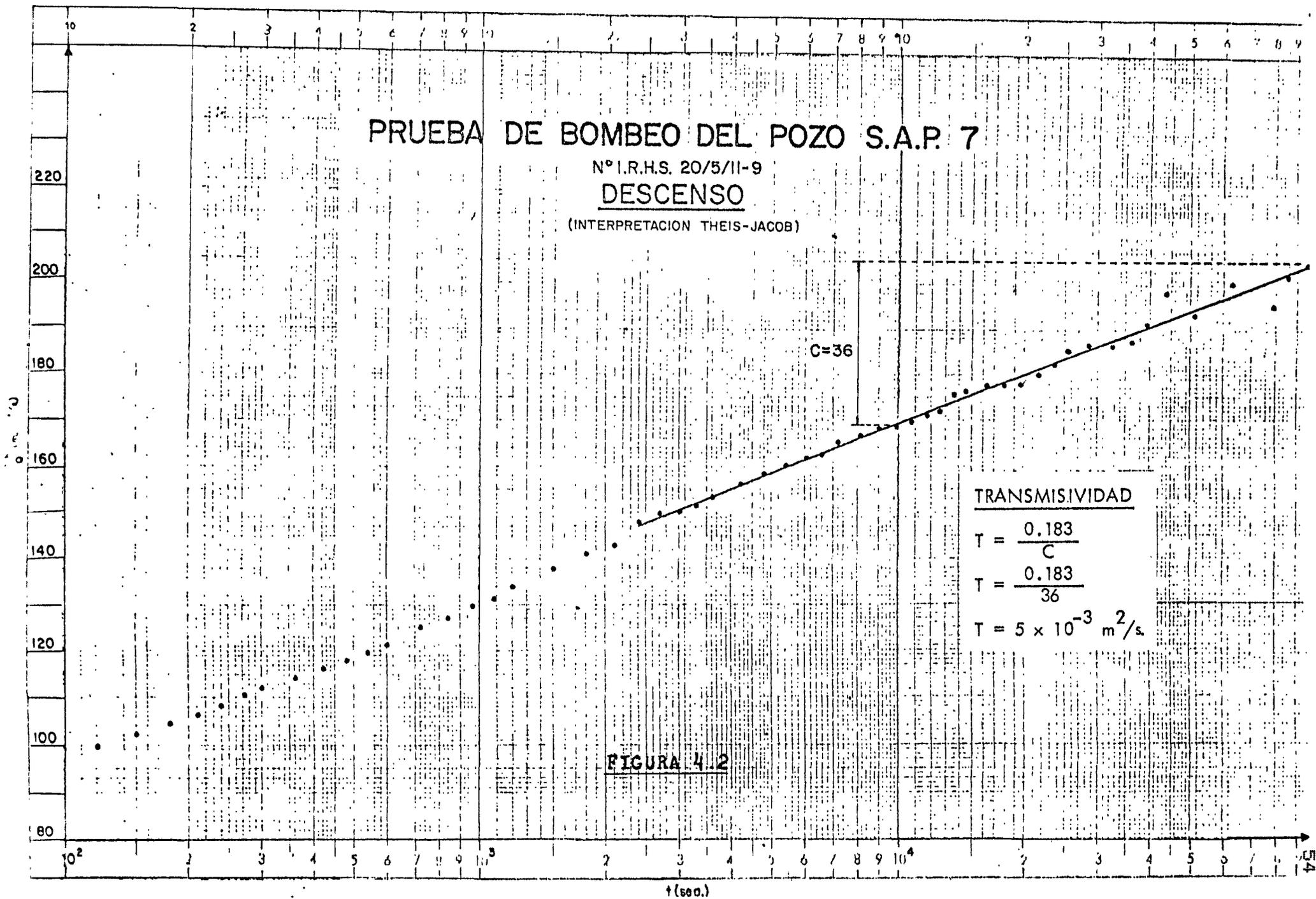


PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO S.A.P. 7

Nº I.R.H.S. 20/5/II-9

DESCENSO

(INTERPRETACION THEIS-JACOB)



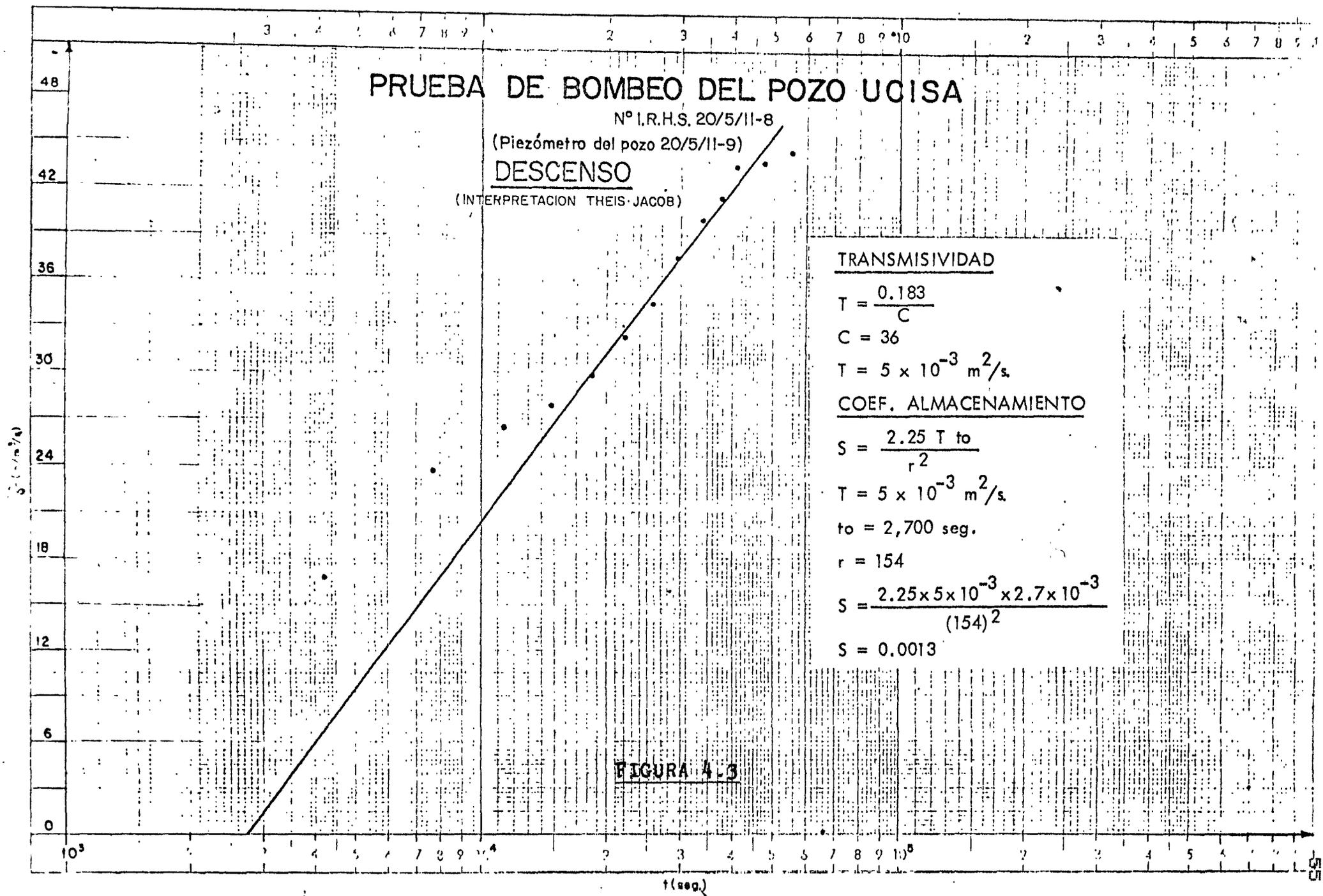
PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO UCISA

Nº I.R.H.S. 20/5/11-8

(Piezómetro del pozo 20/5/11-9)

DESCENSO

(INTERPRETACION THEIS-JACOB)



TRANSMISIVIDAD

$$T = \frac{0.183}{C}$$

$$C = 36$$

$$T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

COEF. ALMACENAMIENTO

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r^2}$$

$$T = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$$

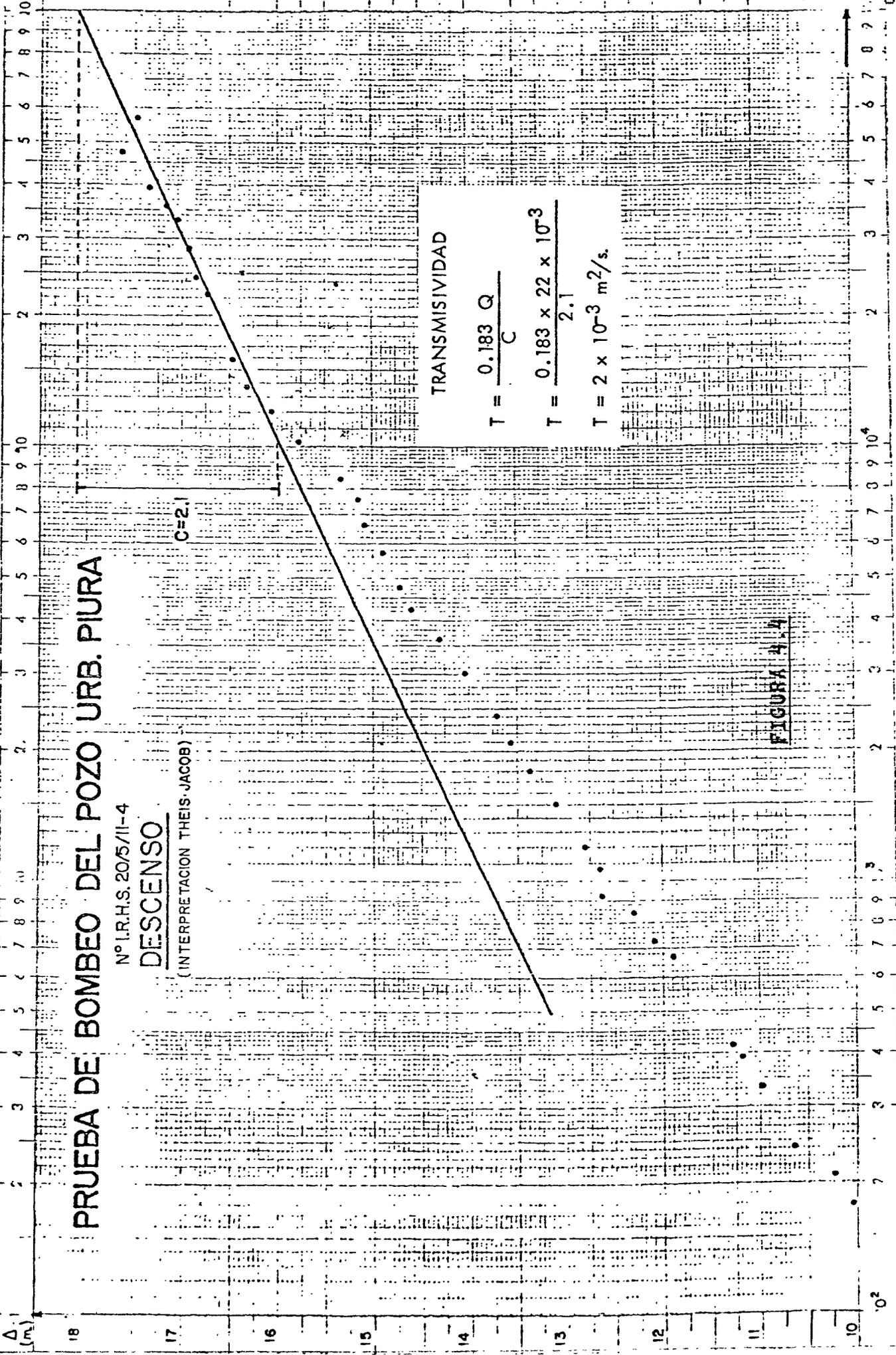
$$t_0 = 2,700 \text{ seg.}$$

$$r = 154$$

$$S = \frac{2.25 \times 5 \times 10^{-3} \times 2.7 \times 10^{-3}}{(154)^2}$$

$$S = 0.0013$$

FIGURA 4.3



PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO URB. PIURA

Nº I.R.H.S. 20/5/11-4

DESCENSO

(INTERPRETACION THEIS-JACOB)

C=2.1

TRANSMISIVIDAD

$$T = \frac{0.183 Q}{C}$$

$$T = \frac{0.183 \times 22 \times 10^3}{2.1}$$

$$T = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$$

FIGURA 4.4

t (seg.)

10²

10⁴

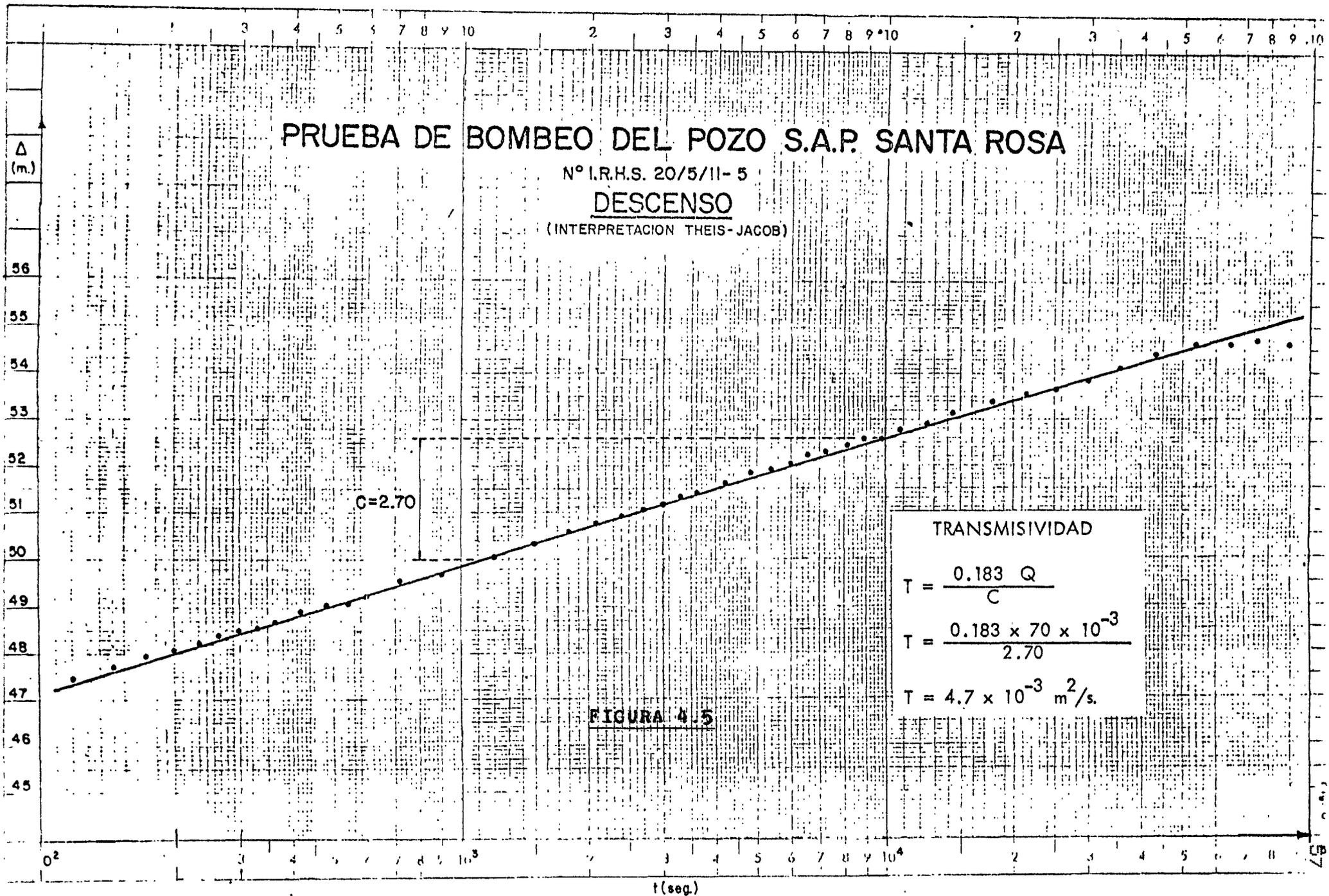
10⁵

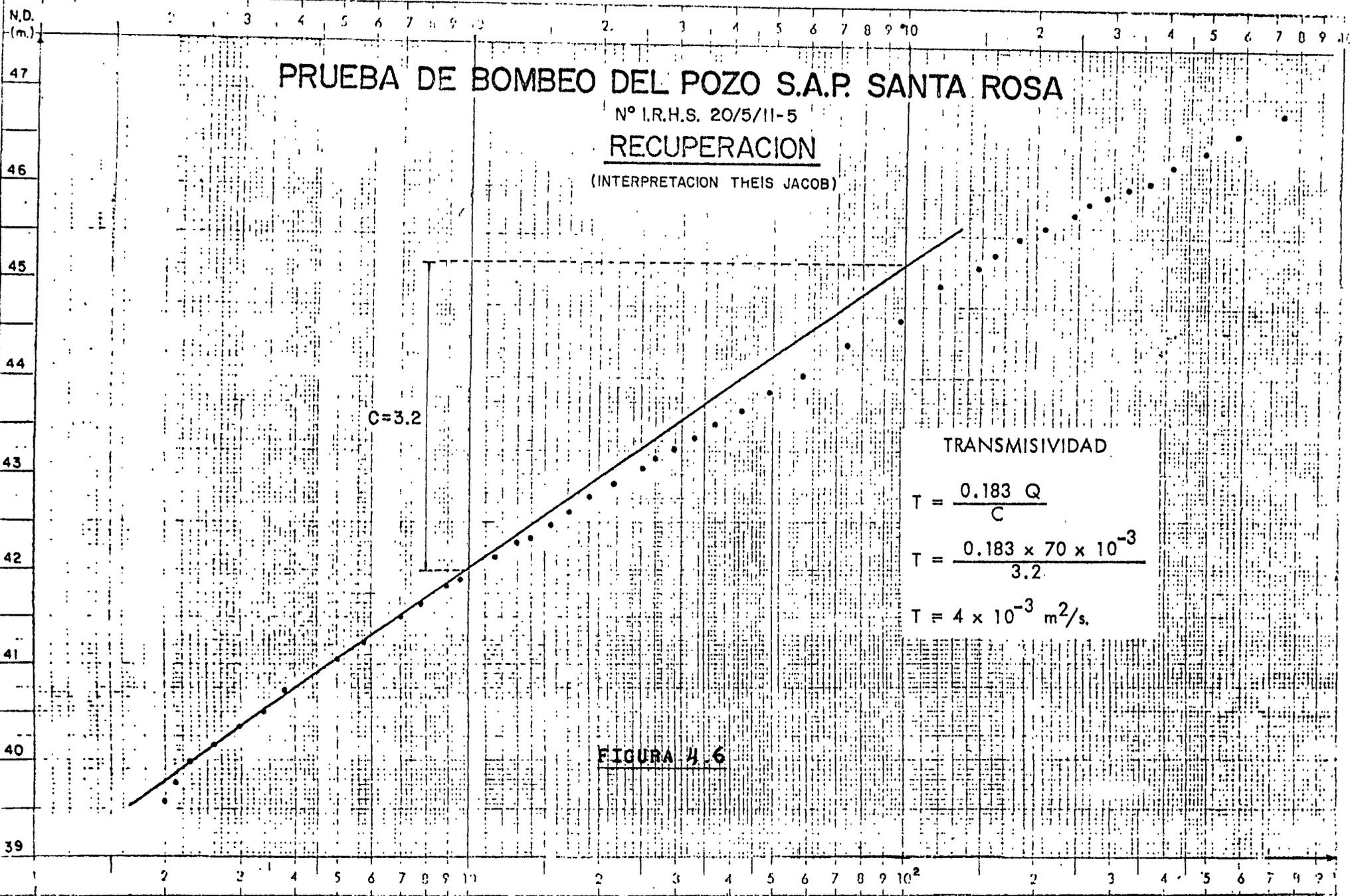
PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO S.A.P. SANTA ROSA

Nº I.R.H.S. 20/5/11-5

DESCENSO

(INTERPRETACION THEIS-JACOB)





PRUEBA DE BOMBEO DEL POZO S.A.P. SANTA ROSA

N° I.R.H.S. 20/5/11-5

RECUPERACION

(INTERPRETACION THEIS JACOB)

C=3.2

TRANSMISIVIDAD

$$T = \frac{0.183 Q}{C}$$

$$T = \frac{0.183 \times 70 \times 10^{-3}}{3.2}$$

$$T = 4 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s.}$$

FIGURA 4.6

$\frac{t_0}{t_1} + 1$

La figura 4.3 nos da los resultados del ensayo de bombeo en el pozo UCISA .

La figura 4.4 la curva de descenso para el pozo Urb. Piura.

Las figuras 4.5 y 4.6 nos dan los ensayos de bombeo y de recuperación para el pozo de Santa Rosa(3).

El análisis y la discusión de éstos datos se hará en el último capítulo de este trabajo.

(3) DIRECCION DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS;
" Estudio Hidrológico para el abastecimiento de
agua a 'Industrial Textil S.A.'", lima 1975.

CAPITULO V

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS

OBTENCION DE PARAMETROS. DISCUSION

5.1. Análisis de los ensayos anteriores.

En el presente apartado se analizarán los datos proporcionados por estudios anteriores. Estos tienen su propia interpretación y resultados, que se estudiarán nuevamente en este trabajo para comparar resultados.

5.1.1. Prueba de bombeo en el pozo S.A.P. 7.

El ensayo se realizó con un caudal de 86 l/seg (1).

(1) Véase cuadro 1

La interpretación de la curva se hizo según el método de Jacob, ver figura 5.1.

$$(\Delta s)_{10} = 3.23 \text{ m.}$$

$$Q = 0.086 \text{ m}^3.$$

$$T = 0.183 \cdot Q / (\Delta s)_{10}$$

$$T = 4.8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 432 \text{ m}^2/\text{día}$$

El espesor del acuífero afectado por el bombeo se calculó sobre la porción del pozo dentro del mismo más una distancia aproximada afectada por la succión.

Ancho del acuífero perforado = 16 metros (2)

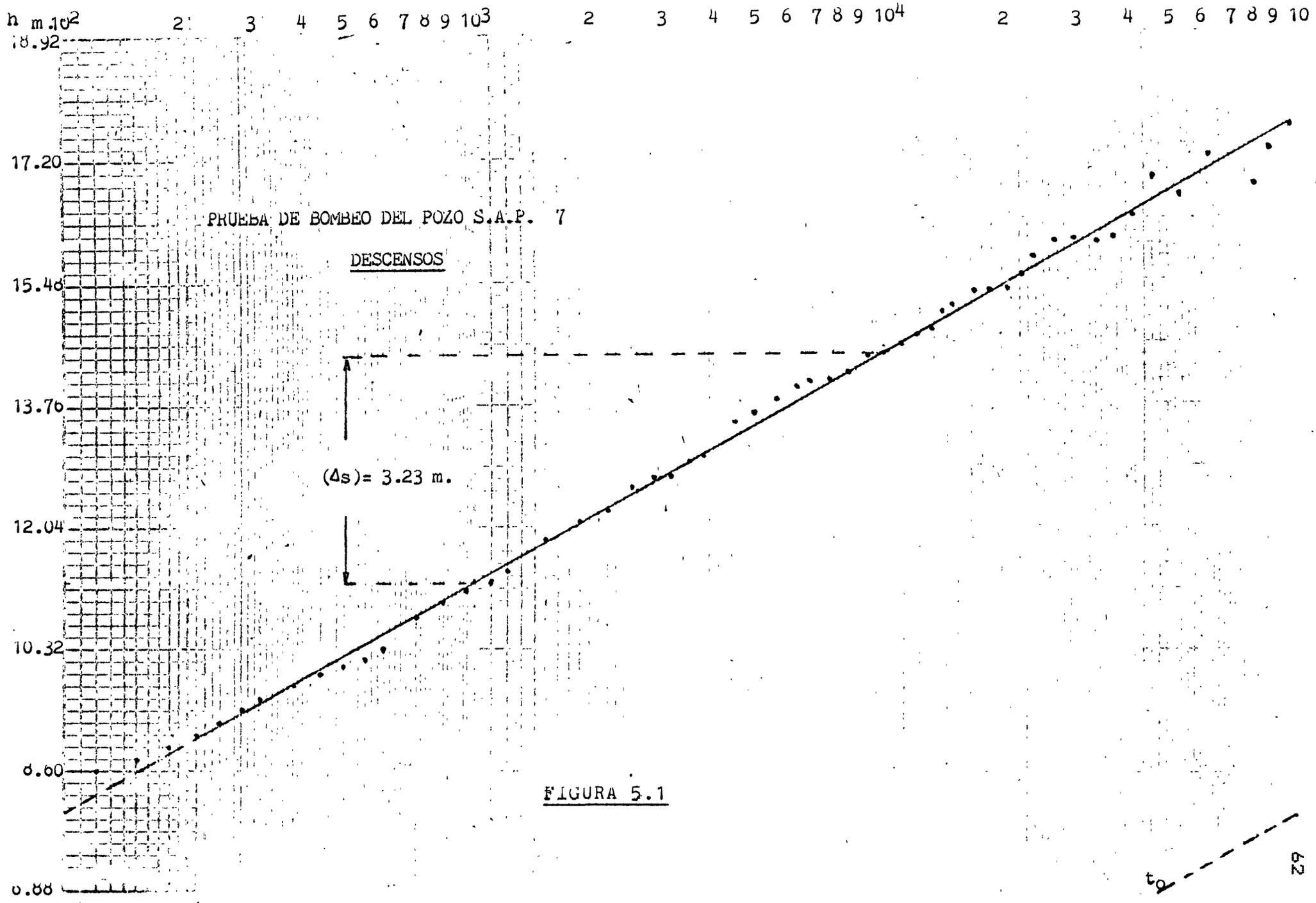
Distancia afectada por el bombeo = 10 metros

$$b = 26 \text{ metros}$$

$$K = T/b = 432/26 = 16.61 \text{ m/día.}$$

El valor del coeficiente de almacenamiento, para este caso, es imposible de encontrar ya que existen condiciones restrictivas tales como que el radio del pozo se pueda considerar pequeño en relación

(2) Datos obtenidos de los archivos de SEDAPIURA.



con la extensión del acuífero afectado por el cono de descensos y no tenga efecto de almacenamiento en el pozo.

Si se supone un coeficiente $S = 10^{-3}$, valor característico de los acuíferos cautivos, encontramos un radio de influencia :

$$R = \sqrt{2.25 \cdot T \cdot t / S} \quad (3)$$

para un bombeo de 30 horas:

$$R = 341.52 \text{ metros}$$

5.1.2. Prueba de bombeo en el pozo UCISA.

Analizado por el método de Jacob, ver figura 5.2.

Las mediciones de nivel piezométrico se realizaron en el pozo S.A.P. 7 situado a 154 metros de distancia.

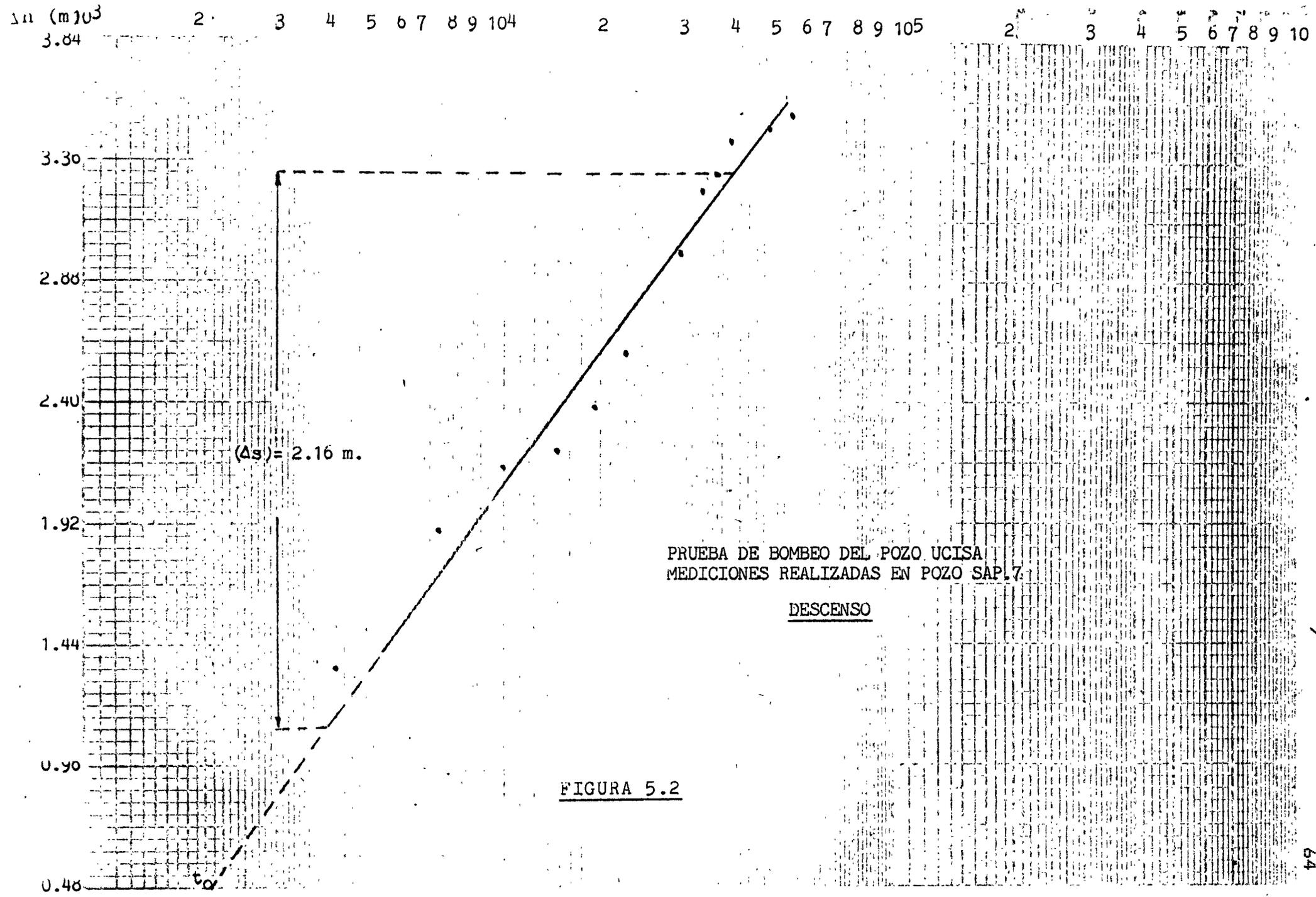
$$Q = 0.080 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$(\Delta s)_{10} = 2.16 \text{ m.}$$

$$T = 6.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 578.88 \text{ m}^2/\text{día}$$

(3) Variación del radio de influencia en un régimen no estacionario. CUSTODIO - LLAMAS; Hidrología Subterránea, Sección 9



para un $b = 25$ metros

$$K = 578.88/25 = 23.15 \text{ m/día}$$

El coeficiente de almacenamiento saldría:

$$S = 2.25 \cdot T \cdot t_0 / r^2$$

donde:

$$t_0 = 2050 \text{ segundos.}$$

$$S = 1.3 \times 10^{-3}$$

Valor característico de los acuíferos cautivos, muy cercano al valor asumido anteriormente. Con estos valores, el radio de influencia sería:

$$R = 354 \text{ metros}$$

para 30 horas de bombeo continuas.

5.1.3. Prueba de bombeo en el pozo Urb. Piura.

Siguiendo el mismo análisis, Ver figura 5.3.

$$T = 1.33 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 114 \text{ m}^2 / \text{día}$$

para un $b = 36$ metros:

$$K = 3.19 \text{ m./día}$$

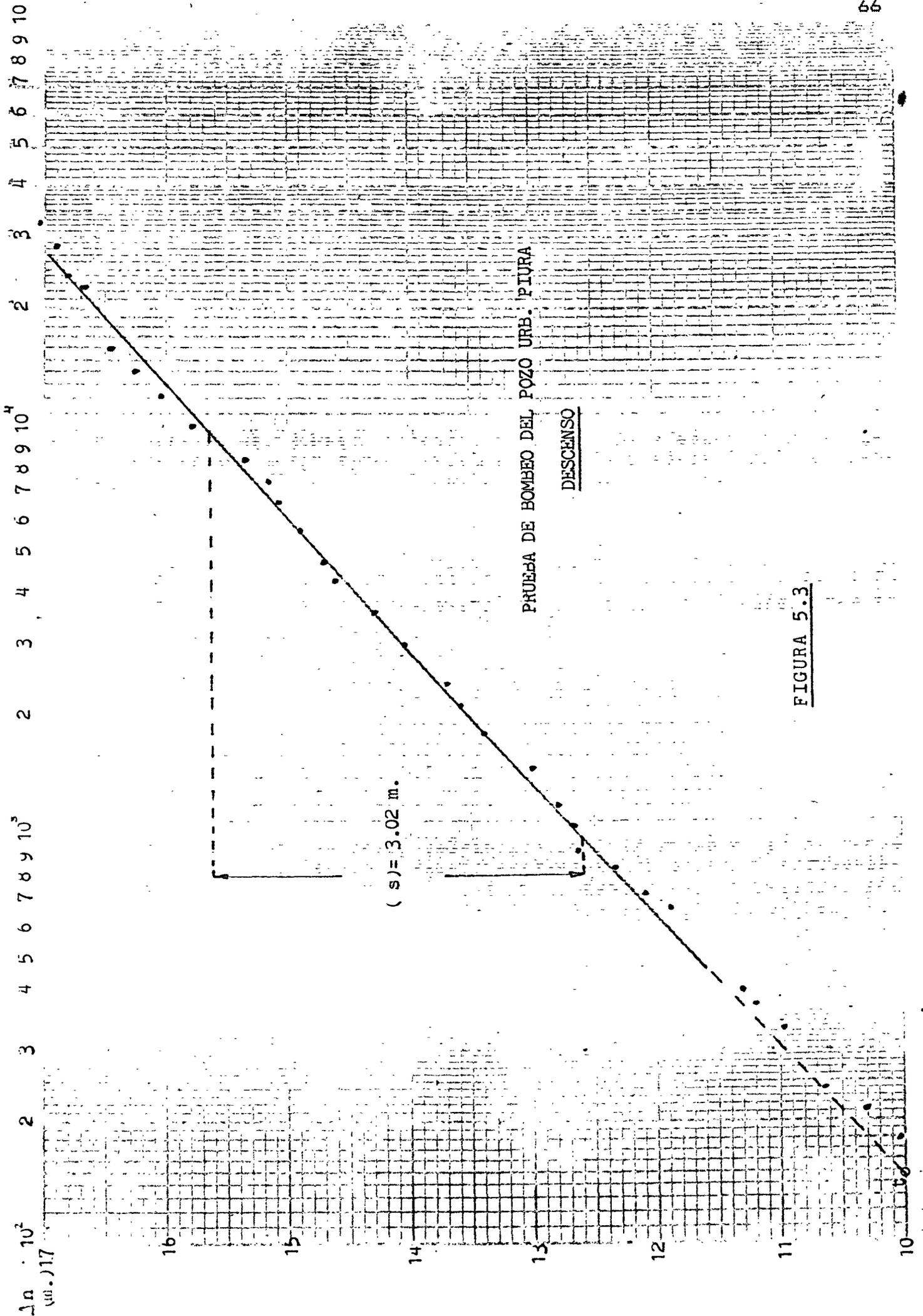


FIGURA 5.3

para un coeficiente de almacenamiento de 0.001

$$R = 179 \text{ metros}$$

en 30 horas de bombeo.

5.1.4. Prueba de bombeo en pozo S.A.P. Santa Rosa.

Con el mismo análisis para ambos casos:

5.1.4.1. Descenso.

Ver figura 5.4

$$T = 4.757 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 395 \text{ m}^2/\text{día}$$

para un ancho afectado de 62 metros:

$$K = 6.37 \text{ m/día}$$

y 30 horas de bombeo:

$$R = 333 \text{ metros}$$

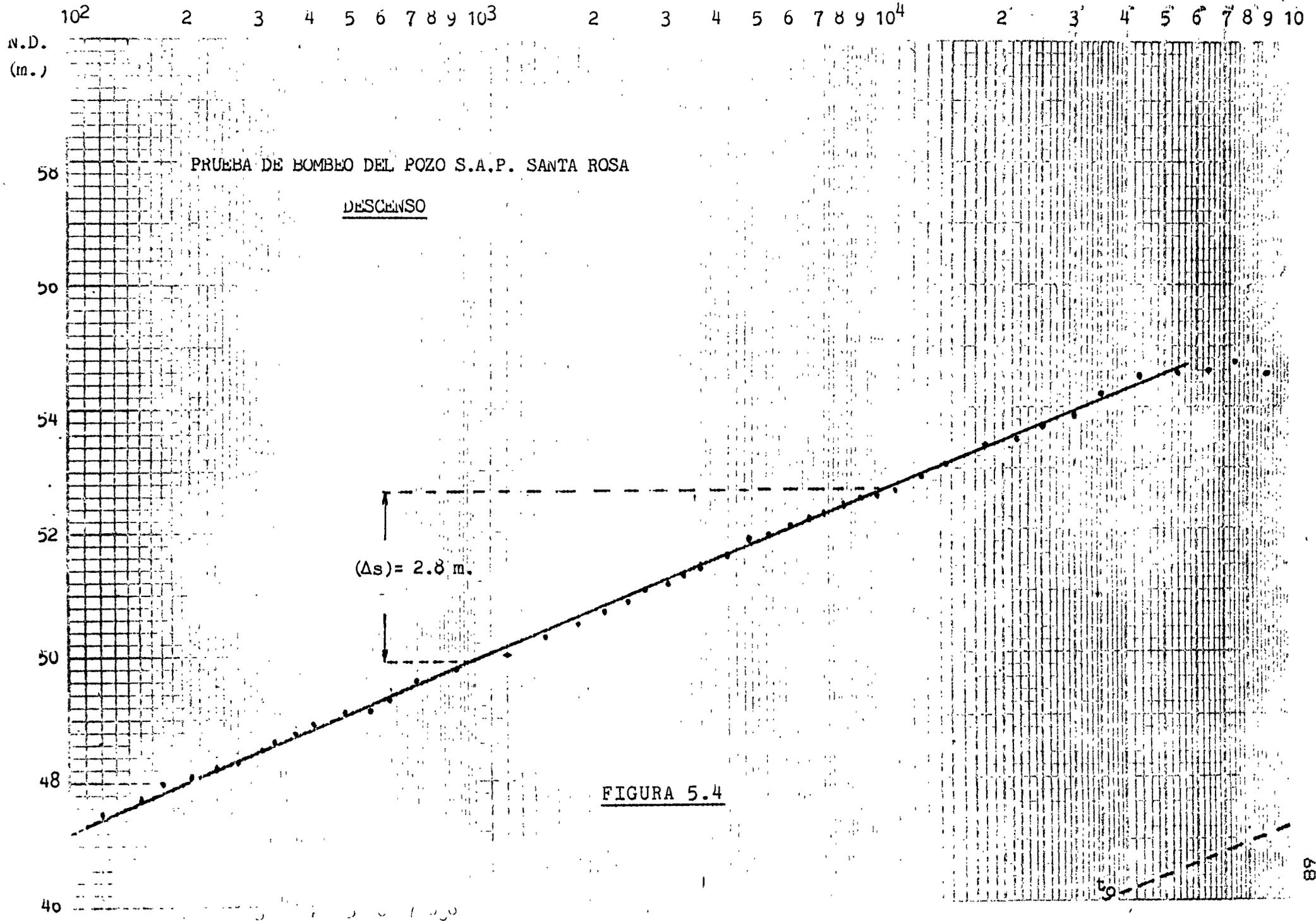
5.1.4.2. Recuperación.

Ver figura 5.5

$$T = 5.04 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 435.7 \text{ m}^2/\text{día}$$

$$K = 7.028 \text{ m/día}$$



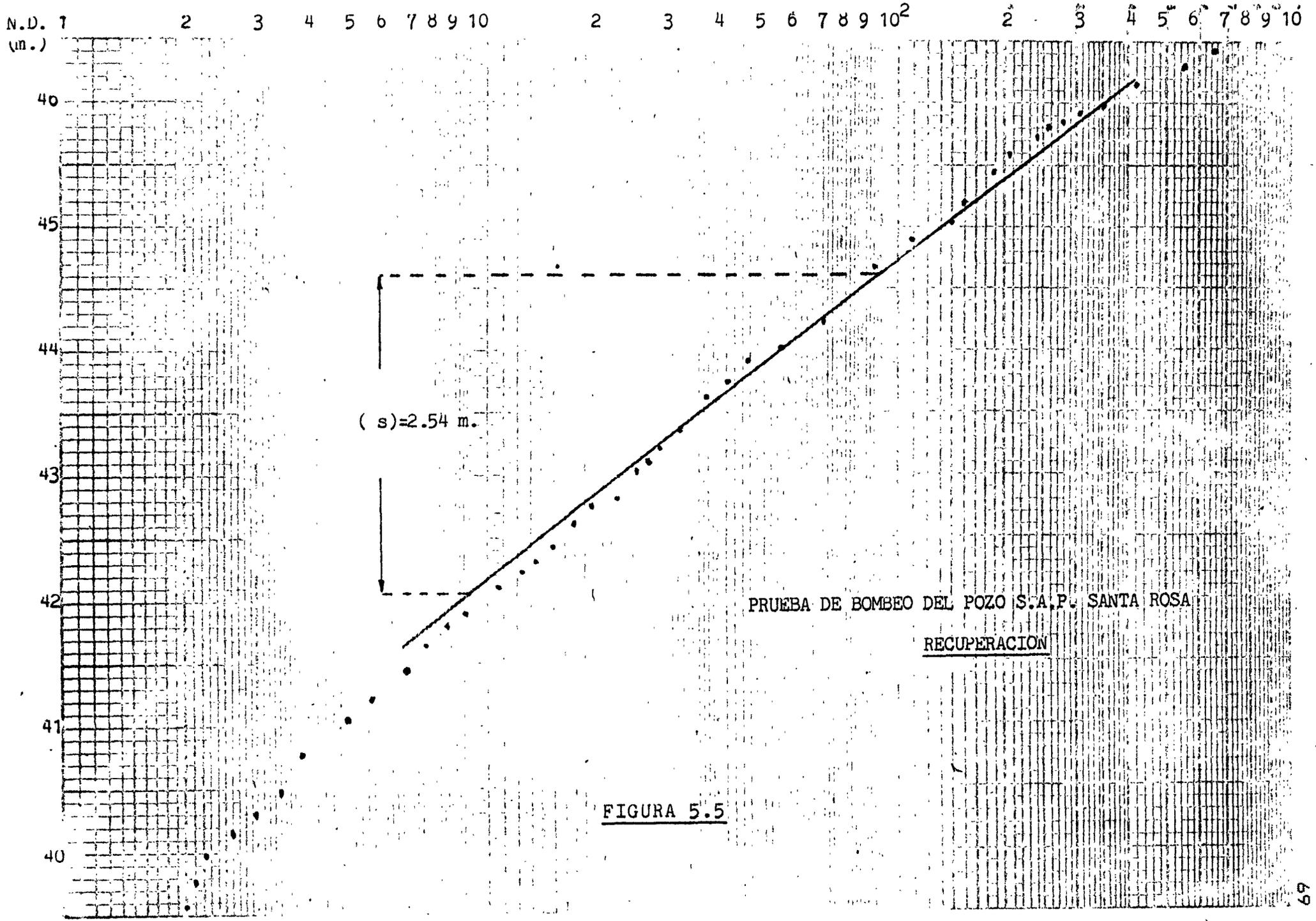


FIGURA 5.5

$$R = 350 \text{ metros}$$

5.2. Prueba de bombeo en pozo El Cortijo.

Analizado según el método de Jacob, véase figura 4.1.

$$(\Delta s)_{10} = 2.1 \text{ m.}$$

$$Q = 0.075 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$T = 6.53 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = 564 \text{ m}^2/\text{día}$$

para una profundidad de 180 metros y una longitud de rejilla de 36 metros:

$$b = 32 \text{ m.}$$

$$K = 17.6 \text{ m/día}$$

$$y \quad R = 398 \text{ metros}$$

para $S = 0.001$ y 30 horas de bombeo continuo.

Todos los cálculos anteriores cumplen con el método de Jacob, para, prácticamente, todo el tiempo del ensayo ($t > r^2 - S/4 - T - 0.01$)

5.3. Cálculo de la velocidad de recarga.

Se realizó un cálculo grosero del tiempo que tardaría una partícula de agua desde el punto de recarga hasta

la zona de explotación. Los valores de permeabilidad se han extendido a lo largo de todo el sistema.

cota de recarga	200 (m.s.n.m.)
cota de explotación	-10 (m.s.n.m.)
Depresión	210 metros
Distancia recorrida	60000 metros
$i = \text{gradiente hidráulico} = 210/60000 = 0.0035$	
$K \text{ (promedio)} \approx 20 \text{ m/día}$	
$v = K \cdot i = 0.07 \text{ m/día}$	
$t = 60000/0.07 = 857142 \text{ días} = 2348 \text{ años}$	

5.4. Discusión.

El cuadro 4 muestra el resumen de las características del acuífero.

La permeabilidad se encuentra entre valores de 1.5 a 23 m/día, los cuales califican al acuífero como bueno. Se trata de un sistema permeable.

El coeficiente de almacenamiento representa valores t picos de los acuíferos confinados.

Los valores del radio de influencia del pozo, para bombeos de 48 horas muestran distancias de 1,500 metros. Es decir, para que el trabajo de un pozo, a las características de los estudiados, no altere los

CUADRO 4

CARACTERISTICAS HIDRAULICAS DEL ACUIFERO DETERMINADAS A PARTIR DE LOS BOMBEO DE PRUEBA

Nombre del pozo	Permeabilidad (m/día)		Coeficiente de almacenamiento	Radio de Influencia para 48 hrs de bombeo
	Descenso	Recuperación		
S.A.P. 7	16.6	-	-	1390
UCISA	23.15	-	0.0013	1415
Urb. Piura	3.19	-	-	716
Santa Rosa	6.37	7.03	-	1400
El Cortijo	17.6	-	-	1593

niveles de otro, deben tener una distancia de no menos de 1.5 Km. El tiempo de 48 horas no es exagerado, ya que los actuales pozos trabajan a ese ritmo de bombeo.

Se debe hacer incapiè en que los valores obtenidos siempre son algo más altos que la realidad, lo cual no cumple las condiciones ideales de flujo con que se dedujeron tales fórmulas. Si embargo no están muy lejanas y dan una idea de la interferencia existente entre los pozos de explotación.

La distancia mínima recomendada, para que no sea muy notorio el efecto de otro pozo cercano, sería de 1000 metros, ya que esta distancia produciría un descenso máximo a 1 metro, para el caso más crítico.

La situación actual de la ciudad de Piura, presenta pozos a menos de 1000 metros de distancia entre ellos. Como se puede ver en las figuras 3.4 y 3.6 y uno de los más afectados es el pozo Urb. Piura ya que extrae gran caudal y su nivel depende también del bombeo de tres extracciones cercanas.

Un ensayo, con mediciones directas en los pozos supuestamente afectados por bombeos externos, confirmaría ésta hipótesis, pero fue imposible tal prueba ya que la distribución de tiempos de bombeos son

coincidentes en casi todos los investigados.

Hay que tener en cuenta el factor de interferencias de bombeo en el cálculo de caudal específico (caudal/metro de descenso) al estudiar un pozo, ya que podría traer graves consecuencias para el abastecimiento de la ciudad.

Este estudio no debe quedar en cálculos teóricos obtenidos de ensayos de bombeos, se debe conseguir un registro periódico de niveles piezométricos en toda la zona, para estudiar evoluciones de los descensos y preveer consecuencias a corto y largo plazo.

CONCLUSIONES

- La poquísima información con que se cuenta hace muy difícil un análisis más profundo de la situación. Cada entidad propietaria de un pozo debería llevar un registro periódico de niveles piezométricos y calidad de agua. Tales datos pueden servir de gran ayuda para la realización de un estudio más profundo y detallado del acuífero cautivo y traería beneficios a todos los usuarios.

- Los niveles piezométricos se deprimen con los años, acentuándose en la zona correspondiente a San Martín-Santa Rosa, en el distrito de Piura.

- La superposición de bombeos sí es una causa que está afectando al rendimiento específico de los pozos,

pero en mayor escala es la sobre-explotación la causante de tal depresión.

- La distancia mínima entre dos pozos de explotación deberá ser mayor a mil metros, para que los efectos en otros, no sean muy importantes.

- Si se continúa con la extracción como hasta la fecha, los efectos van a exigir mucha mayor energía. Se debe ir pensando en un recurso externo o en la recarga artificial del acuífero, en los meses de altas avenidas del río, para aliviar un poco el problema.

- Se espera que los estudios se profundicen mucho más, para conocer la capacidad de nuestro acuífero y poder preveer la explotación por mucho más tiempo.

BIBLIOGRAFIA

- CASTANY G.; "Tratado práctico de las aguas subterráneas", Ed. Omega , Barcelona 1971
- CASTANY G. ; "Prospección y explotación de las aguas subterráneas",Ed. Omega, Barcelona 1975. 1ª edición.
- CENDRET ; Universidad Agraria " La Molina " , "Estudio de reconocimiento. La Napa Freática en la ciudad de Piura." Lima 1967
- CUSTODIO E. - LLAMAS M.R. ; "Hidrología Subterránea", Ed. Omega, Barcelona 1983, 2ª Edición
- DIRECCION DE AGUAS SUPERFICIALES Y SUBTERRANEAS; "Estudio Hidrológico para el abastecimiento de agua a 'Industrial Textil S.A.' " , Lima 1975.
- GIBSON URIC ; "Manual de los pozos pequeños", Ed. Limusa
- GROUNDWATER HYDRAULICS OF EXTENSIVE AQUIFERS BULLETIN 13 / ILRI ; Holanda 1972 , 1ª Edición.
- INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND RECLAMATION AND IMPROVEMENT / ILRI ; "Análisis y evaluación de los datos de ensayo por bombeo", Boletín 11s , Holanda 1975

- KEITH DAVID ; "Hidrología (Agua Subterránea)", Ed. Paraninfo, Madrid 1973
- LACHAPELLE PAREDES MARIA ELENA ; "Obtención de la característica de un pozo a partir de ensayos de bombeo" Tesis de Título , Piura 1987.
- MINISTERIO DE FOMENTO Y OBRAS PUBLICAS; "Constitución e implementación de la empresa de servicios de agua potable y alcantarillado/ filial SENAPA", Piura 1981
- FIMIENJA JEAN ; "La Captación de aguas subterráneas", Editores Técnicos asociados S.A. Barcelona 1980.
- VILELA ZAPATA MIGUEL E. ; "Estado Actual de los pozos de abastecimiento de agua de la ciudad de Piura". Tesis de Grado, Piura 1988.