

HECTOR ROLANDO MORA GALVEZ



GUATEMALA, AGOSTO DE 1970

BIBLIOTECA CENTRAL-USAC
DEPOSITO LEGAL
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, Centro América

ESTUDIO HIDROLOGICO DEL SUBSUELO DE
LA CIUDAD UNIVERSITARIA

TESIS

Presentada a la Junta Directiva
de la
Facultad de Ingeniería
de la

Universidad de San Carlos de Guatemala
por

HECTOR ROLANDO MORA GALVEZ

Al conferirsele el título de

INGENIERO CIVIL

Guatemala, Agosto de 1970

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
08
T(100)C

JUNTA DIRECTIVA
DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Decano:	Ing. Amando Vides Tobar
Vocal Primero:	Ing. Marco Antonio Cuevas
Vocal Segundo:	Ing. Rodolfo González M.
Vocal Tercero:	Ing. Adolfo Behrens
Vocal Cuarto:	Br. Alfredo Bonatti
Vocal Quinto:	Br. Eliseo Osorio R.
Secretario:	Ing. Héctor A. Centeno B.

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
GENERAL PRIVADO

Decano:	Ing. Jorge Erdmenger P.
Vocal Segundo:	Ing. Ernesto Rosales F.
Examinador:	Ing. Enrique Azmitia C.
Examinador:	Ing. Alfonso Campins
Secretario:	Ing. Samuel Franco

DEDICO ESTA TESIS

A la memoria de mi padre:

Antonio Mora P.

A mi madre:

Delia G. v. de Mora

A mi esposa:

Ana María Bruni de Mora

A mis hijos:

**Anabella
María Eugenia
Antonio
y Carolina**

A mis hermanas:

**Edna
Olga**

A la Facultad de Ingeniería

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con lo establecido por la Ley Universitaria presento ante vosotros, mi trabajo de tesis titulado:

**ESTUDIO HIDROLOGICO DEL SUBSUELO DE
LA CIUDAD UNIVERSITARIA**

tema que me fue asignado por la Junta Directiva de la

Facultad de Ingeniería

C O N T E N I D O

I.- GENERALIDADES

- I.a. Hidrología
- I.b. Agua subterránea
- I.c. Hidráulica de pozos. Teoría y fórmulas

II.- TRABAJOS PRELIMINARES PARA EL PARA EL ESTUDIO HIDROLOGICO DE UNA ZONA

- II.a. Perforación de los pozos
- II.b. Perfiles geológicos obtenidos en la perforación
- II.c. Requisitos para efectuar la prueba

III.- PRUEBA DE LOS POZOS DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA

- III.a. Localización de los pozos, datos de los mismos y método de aforo
- III.b. Tabulaciones y gráficos
- III.c. Análisis de los datos obtenidos

IV.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

I.- GENERALIDADES

1.a Hidrología. Es la ciencia de la distribución y el movimiento del agua en la tierra. En un sentido amplio, es el estudio del agua en todas sus fases, incluyendo hidráulica, física y química del agua, meteorología, geología y biología de la misma. En un sentido más limitado, es la hidrología el estudio del ciclo en el cual el agua subiendo por evaporación y transpiración, forma nubes, precipitándose para formar ríos, lagos y corrientes subterráneas que, por la formación topográfica y geológica fluye generalmente hacia el mar.

La hidrología en Ingeniería estudia con más énfasis las fases de escorrentía y su mayor objetivo se refiere a dos cosas: 1) El estudio de las zonas donde precipita y su frecuencia. 2) Qué cantidad e intensidad ocurre en cada lugar.

La primera sirve para estudiar las zonas en que se proyecta hacer drenajes, presas, riego, navegación pluvial, etc., y la segunda para diseño de las obras de acuerdo a las cantidades que se precipita en la zona.

El ciclo hidrológico, consta de tres fases principales que son: evaporación y transpiración; precipitación y escorrentía.

Como se ve, la hidrología sirve como base para el estudio de navegación, ingeniería sanitaria, estu-

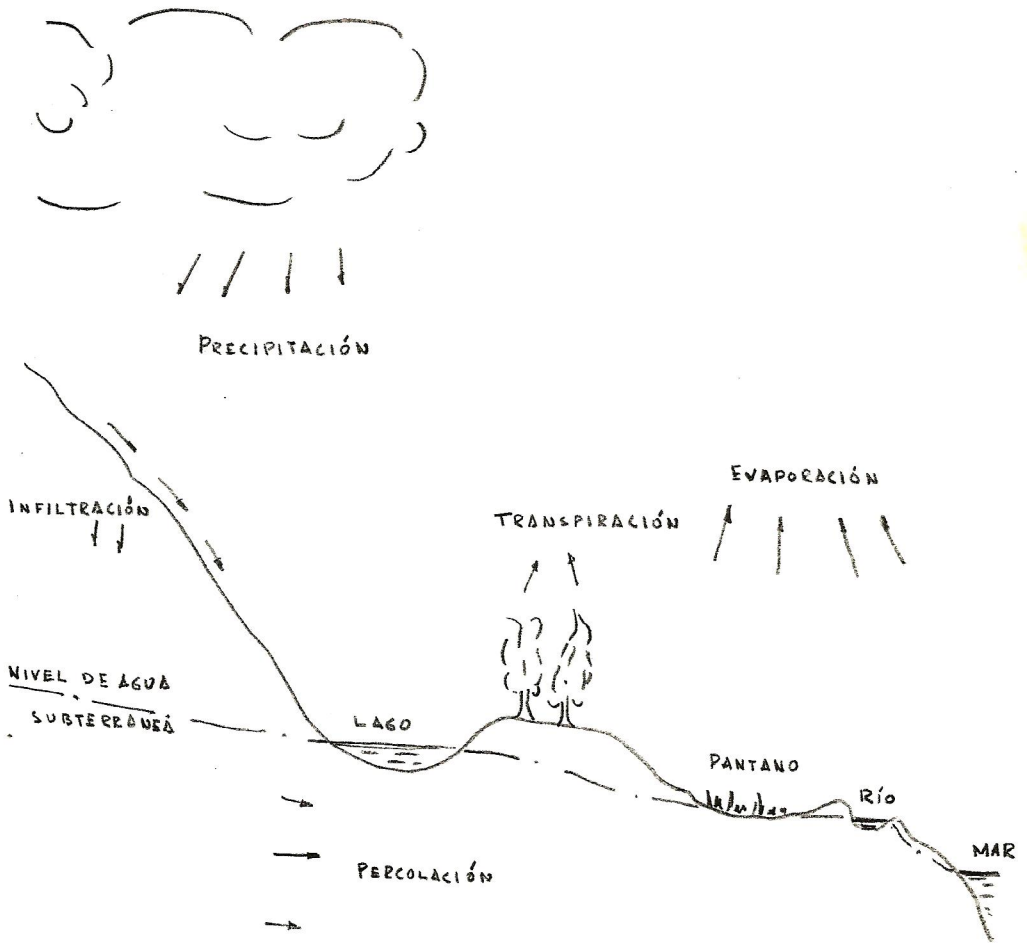
dios hidroeléctricos, riego e irrigación.

La hidrología en Ingeniería se estudia en tres fases importantes: a) estudio del agua en la atmósfera, b) estudio del agua en la superficie de la tierra y c) estudio del agua subterránea o del subsuelo.

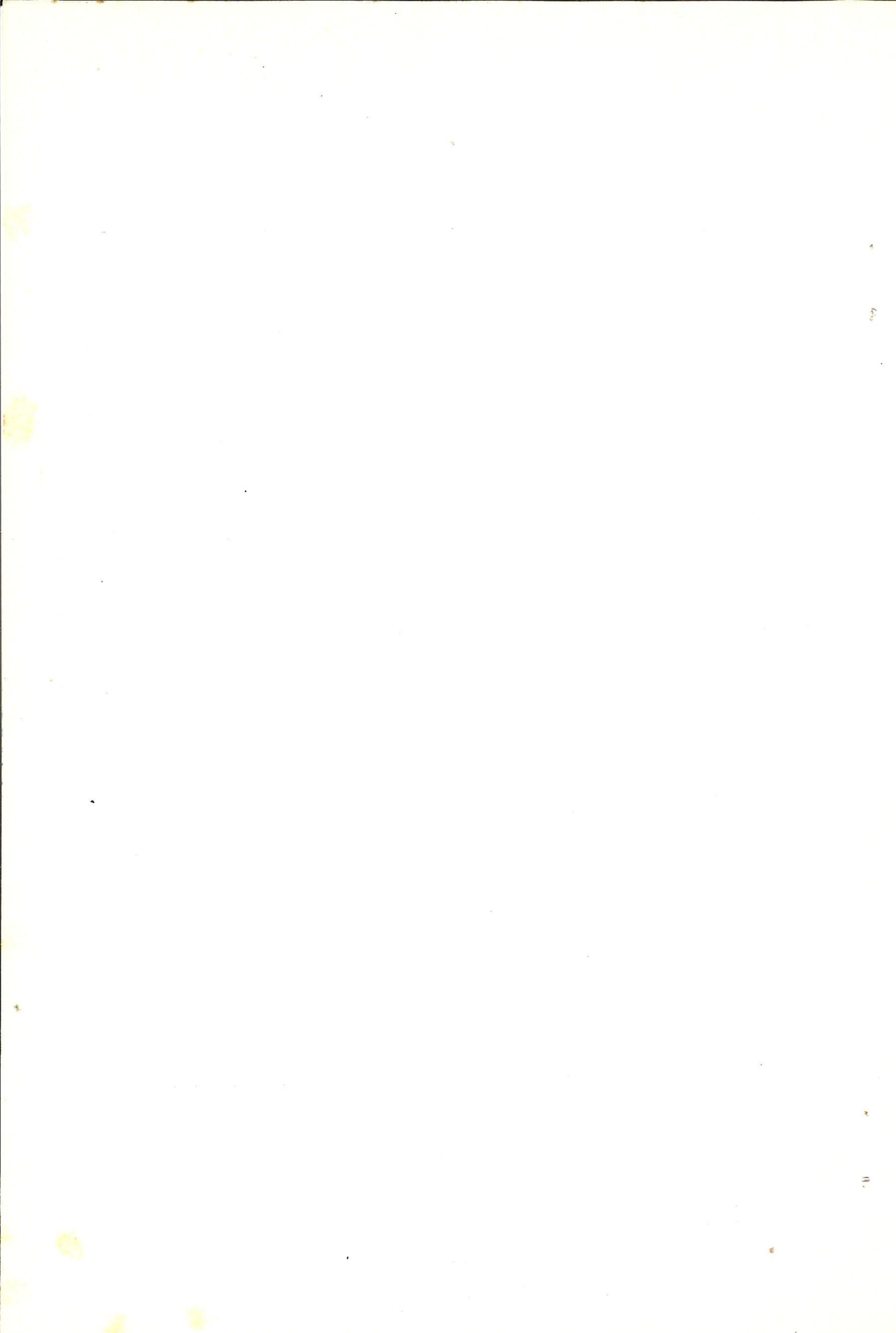
El agua en la atmósfera es considerada hidrológicamente en lo que concierne a evaporación, trans-piración, y precipitación con el respectivo estudio de su zonificación e intensidad.

En la superficie de la tierra, la hidrología estudia la escorrentía y su abundancia de flujos, escorrentías en tiempo normal y seco, puntos de embalse, lagos y reservorios, características físicas de los sistemas de ríos, origen y conducta del agua superficial en general.

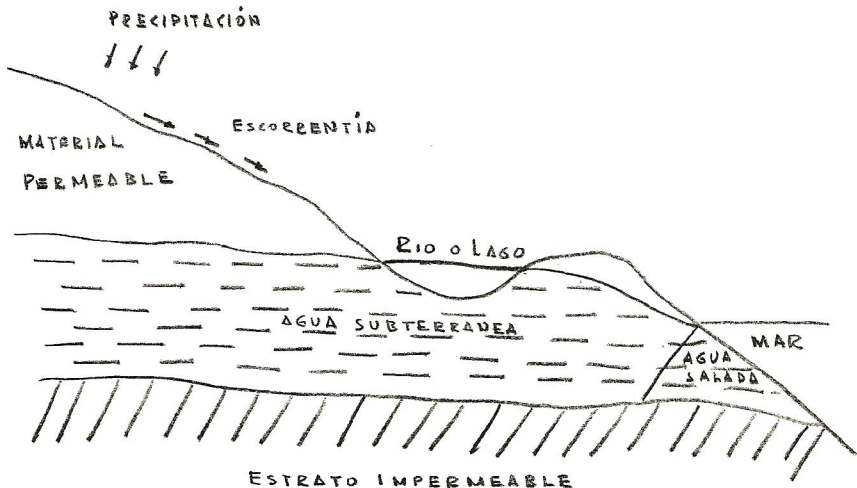
En el subsuelo, analiza el comportamiento del agua, considerando su origen, naturaleza, infiltración del agua de las capas superiores, percolación o sea su paso a través de las capas de terreno y forma en que reaparece en la superficie.



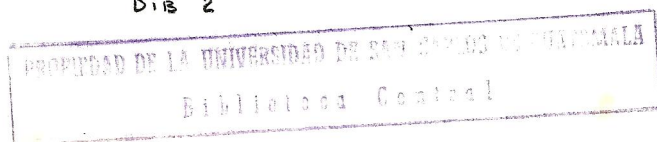
DIB 1

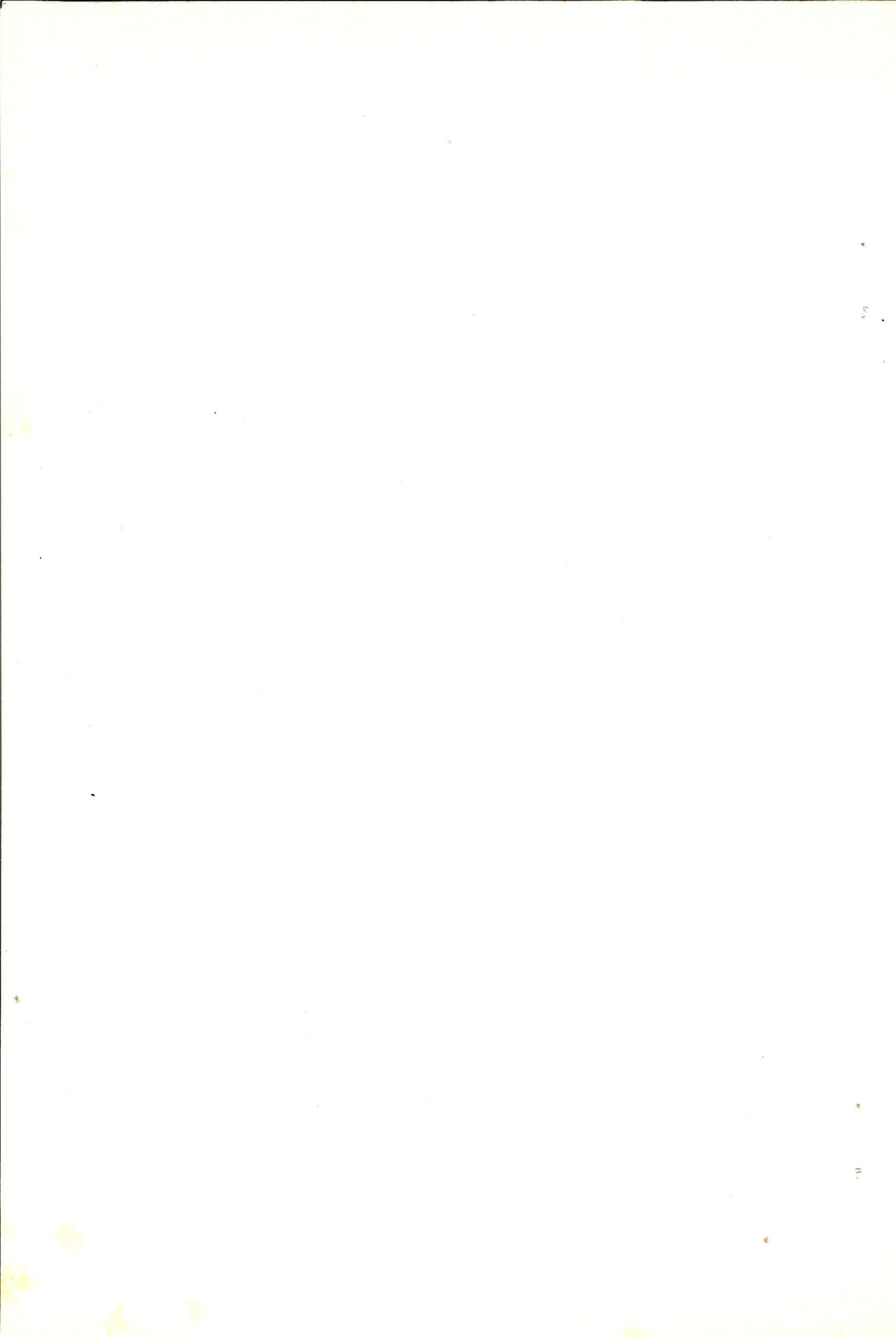


- 1.b **Agua subterránea.** Esta tiene su origen en el ciclo hidrológico, ya que tanto el agua que se precipita, como la de escorrentía, puede infiltrarse en el subsuelo. La infiltración puede efectuarse en cantidades muy variables; éstas cantidades dependen de la formación tanto geológica como topográfica. Las distintas formaciones geológicas, pueden proporcionar materiales muy permeables que dejen infiltrar cantidades grandes de agua, o materiales poco permeables o totalmente impermeables que, en ciertas zonas, pueden impedir totalmente la infiltración del agua superficial hacia el subsuelo. Las diferentes formaciones topográficas, también pueden influir en la cantidad de agua que se infiltre hacia el subsuelo, pues terrenos con pendientes muy pronunciadas, pueden provocar velocidades muy altas en el agua de escorrentía, impidiendo esto una buena condición para la infiltración del agua hacia el subsuelo.



DIB 2





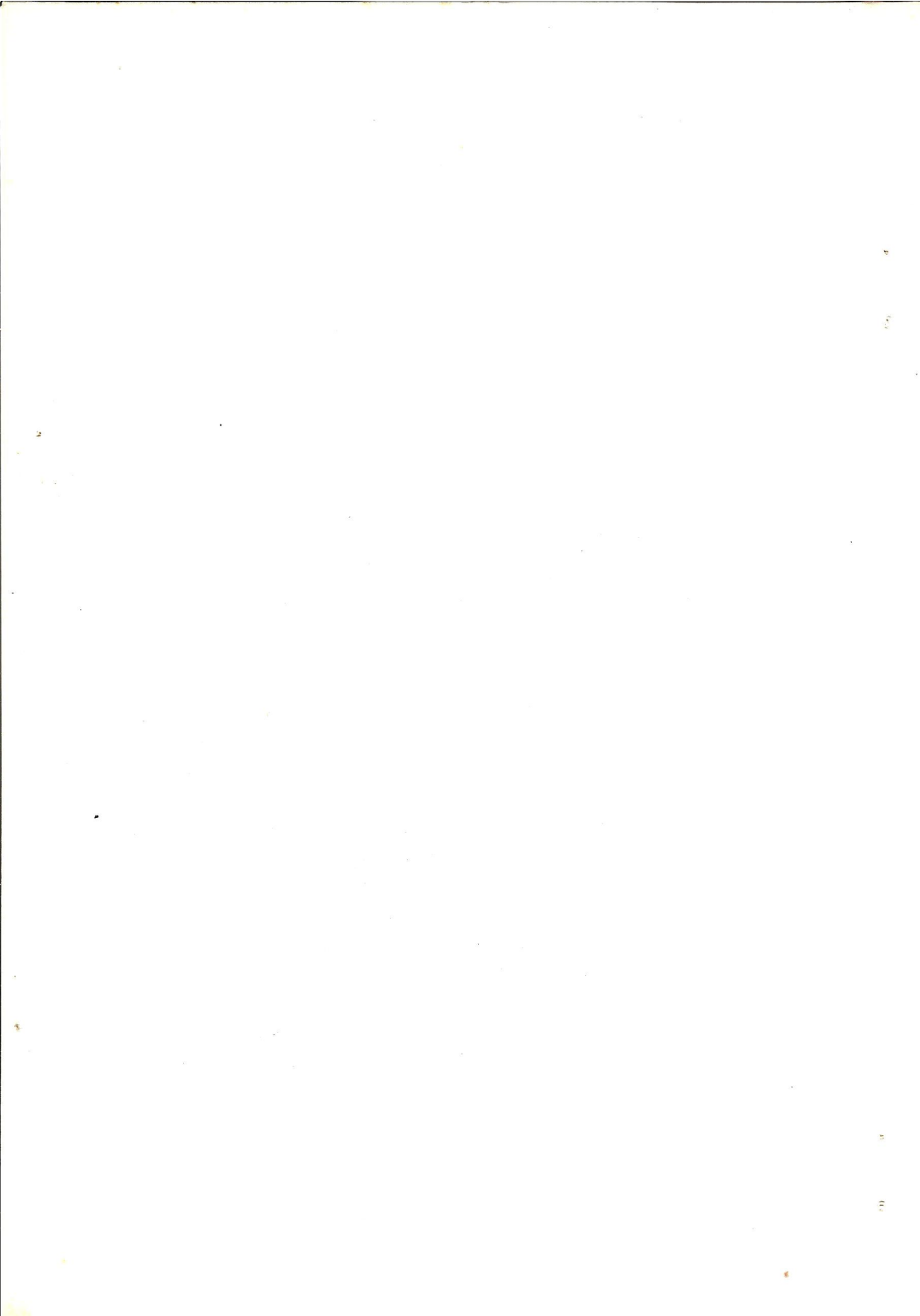
El agua infiltrada en las condiciones ya apuntadas, forma en el subsuelo, variados tipos y tamaños de almacenamiento de agua subterránea.

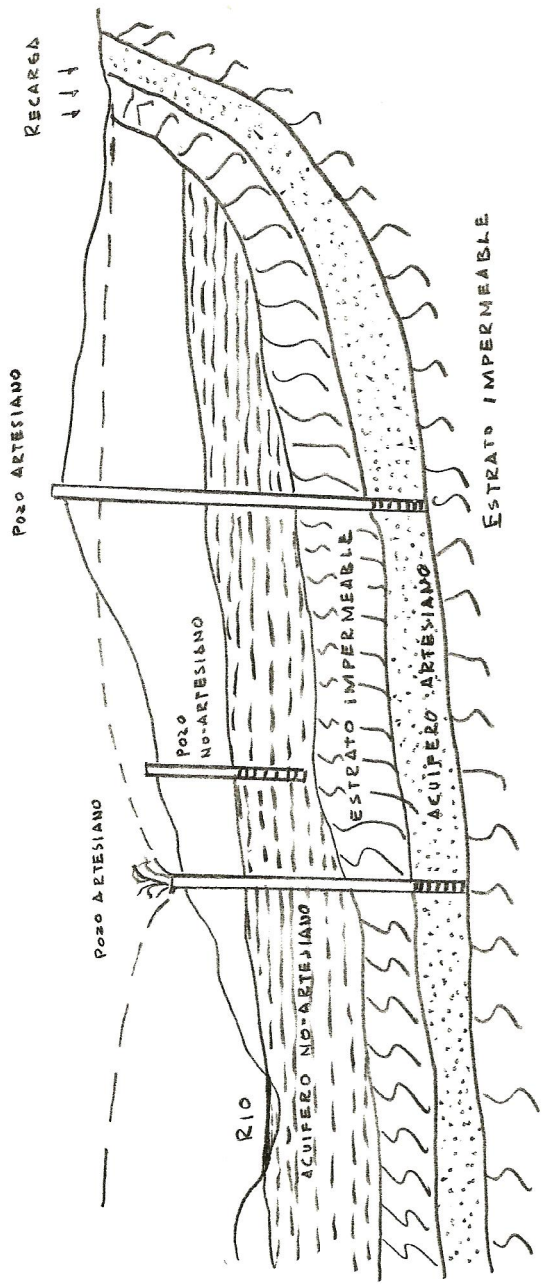
Para el estudio, tanto de la recarga de estos almacenamientos, como de su tamaño y lugar en que se encuentren, es necesario recurrir a procedimientos muy complejos y de difícil forma de medida. Para estos estudios se requiere, información estadística, para poder establecer las cantidades de precipitación que existen en la zona; amplia información de la naturaleza geológica de la región y de preferencia también contar con un geólogo que dé suficiente información sobre el subsuelo que se desee estudiar y por último, un estudio hidrológico del área.

Los dos primeros estudios nos pueden indicar los lugares y tamaños de almacenamientos y el tercero ó sea el hidráulico, nos indica las distintas formas en que se pueden aprovechar estos almacenamientos.

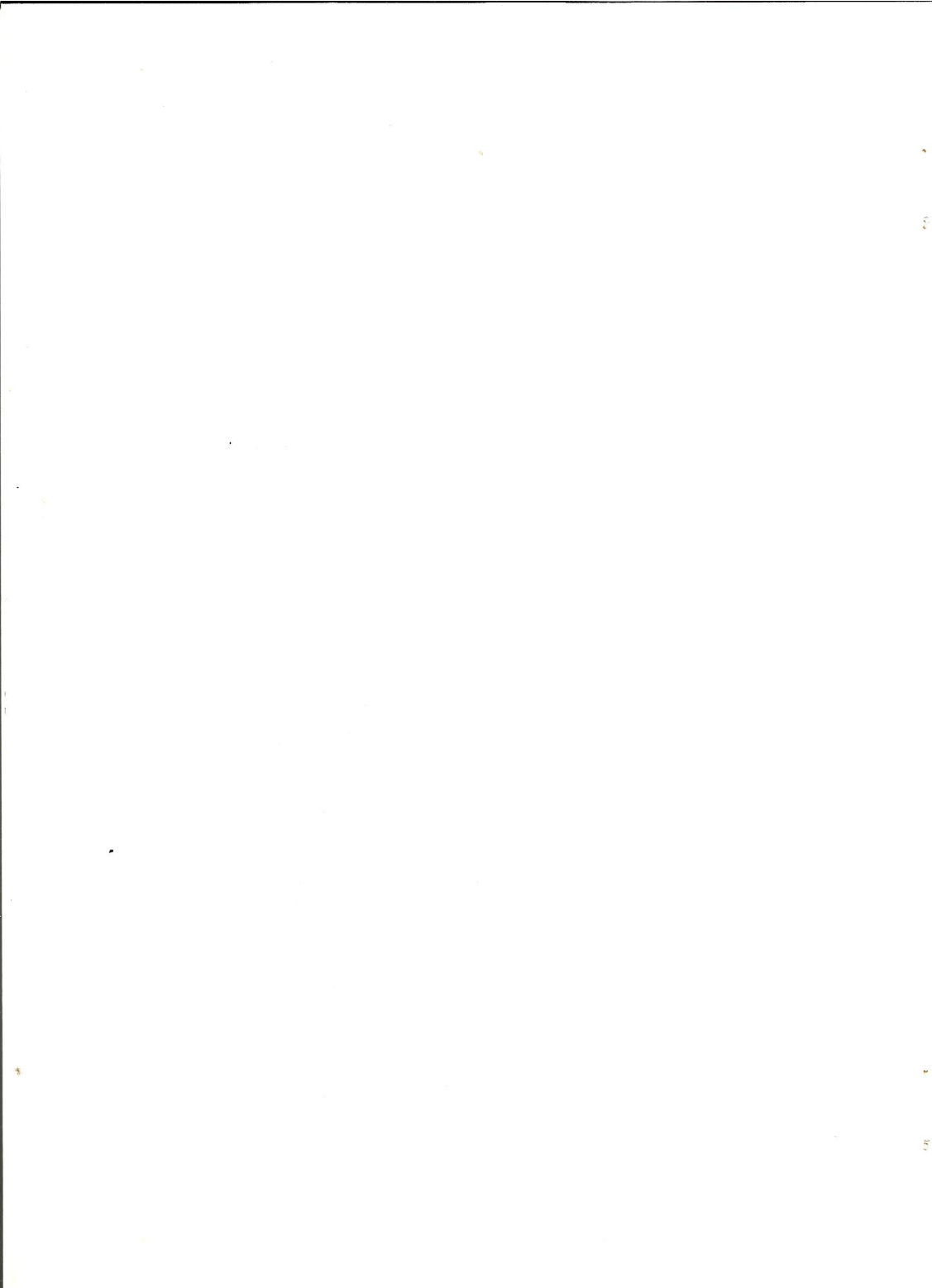
Los almacenamientos en sí, pueden ser de formas muy variadas, pero fundamentalmente son dos: a) como lagos subterráneos, ó b) como ríos que corren por el subsuelo; éstos aunque de anchos muy variados, llegan en varias zonas a ser de dimensiones inmensamente grandes.

Los acuíferos pueden ser de dos tipos, los artesianos ó confinados y los no artesianos o de mesa de agua.





DIB 3



1.0 **Hidráulica de pozos. Teoría y fórmulas.** Un pozo es una estructura de Ingeniería que se diseña y se construye con el objeto de extraer en una forma económica, el agua de un acuífero.

Para lograr la finalidad de que el pozo sea eficiente, es necesario que tanto el personal que perfora el pozo como el que lo diseña, sean personas que conozcan del trabajo.

La hidráulica de pozos es una ciencia que estudia la forma en que fluye el agua subterránea hacia un pozo de agua bombeado y los descensos del nivel en el agua de éste y en las zonas aledañas al mismo.

El tema de la hidráulica de los pozos, es relativamente nuevo y es por esto que hay pocos Ingenieros que lo han dominado en todas sus fases. Sin embargo, dominarlo completamente no es necesario para la mayoría de los Ingenieros, ya que los principios básicos pueden muy bien ser entendidos fácilmente, capacitándolos así a resolver la mayoría de problemas que se presenten en el diseño de los pozos.

Pasaré pues a dar breves indicaciones sobre hidráulica de pozos.

Es un hecho conocido que al extraerse agua de un pozo, los pozos vecinos tienen un decrecimiento de nivel, siendo éste más pequeño conforme aumenta la distancia al pozo bombeado.

Si se observa cuidadosamente se notará que, conforme se aleja del pozo bombeado, se llega un punto en el cual el nivel ya no se altera. Este punto es distinto para cada pozo y para un mismo pozo varía de

acuerdo al tiempo de bombeo ó a la tasa de bombeo del mismo.

Las diferencias de nivel se deben a que, por ser el nivel del agua en el pozo que se bombea más bajo que en el resto, esto provoca que el agua en los alrededores se mueva hacia el pozo bombeado desde las formaciones cercanas, con el fin de reemplazar el agua extraída en el bombeo. La fuerza o presión que impulsa el agua hacia el pozo, es la diferencia de carga entre el nivel del agua dentro del pozo y el nivel del agua en la formación

El agua en la formación, se mueve hacia el punto donde se bombea el pozo, convergiendo en todas direcciones hacia ese punto, ó sea en una forma radial. Al suceder esto se observa lo siguiente: analizando el área radial de un punto a cierta distancia del pozo y la de otro al doble de la distancia por ejemplo, se ve que las áreas cilíndricas por las que pasa el agua, tanto en uno como en otro no son iguales, ya que, conforme se aproxima el agua hacia el pozo, las áreas van decreciendo provocando esto un aumento en su velocidad.

Observando estos fenómenos, un Ingeniero francés escribió sobre sus investigaciones del flujo de agua en medios porosos. Encontró que el volumen de flujo en estos medios, es directamente proporcional a la pérdida de carga è inversamente proporcional a la longitud de la trayectoria. Esto es lo que se define como Ley de Darcy.

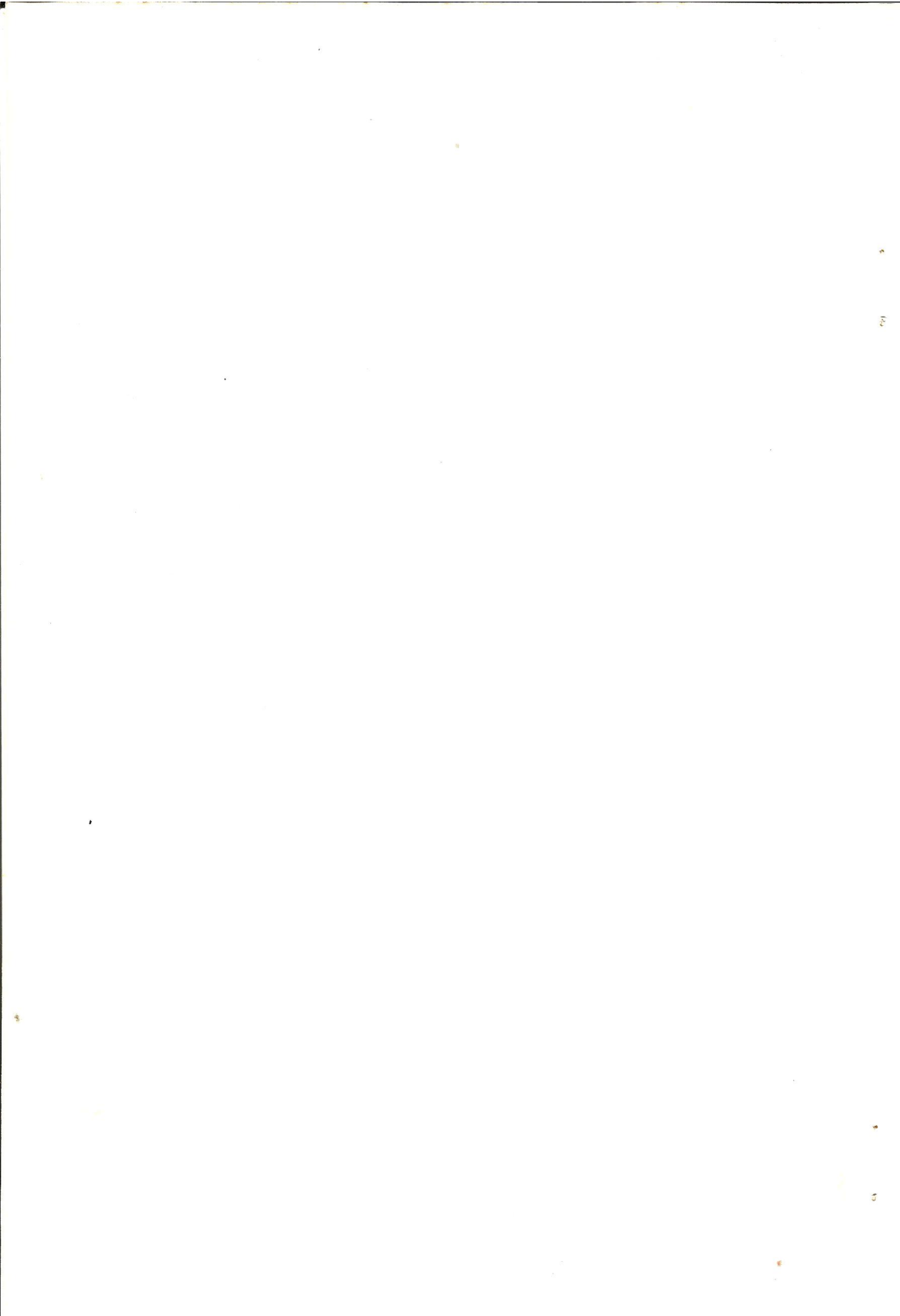
Es por esto que la pendiente hidráulica varia directamente con la velocidad, siendo esta la razón por la cual a medida que el agua se acerca a un po-

zo bombeado, la pendiente hidráulica aumenta y de que el nivel se encuentre más bajo conforme nos aproximemos al pozo.

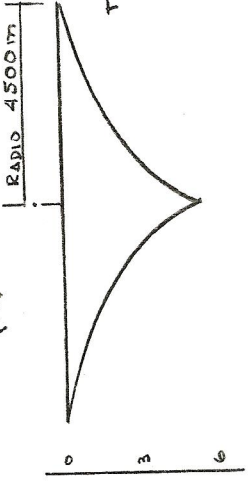
El conjunto de estas pérdidas de carga o forma de pendientes hidráulicas nos da una figura de cono, llamándose a esto cono de depresión.

El tamaño del cono de depresión en pozos distintos es muy variable, ya que depende de una serie de factores como son: volumen de bombeo, período del bombeo, características de la formación etc.

Los diferentes tipos de formaciones, nos dan transmisibilidades distintas, término este último que nos sirve para expresar una propiedad de los acuíferos. El coeficiente de transmisibilidad es una medida de la capacidad de un acuífero para transmitir agua. Se define como el volumen de agua en metros cúbicos por día que pasa a través de una franja vertical del acuífero de 1 m. de ancho y que se extiende por todo el espesor saturado bajo la pendiente hidráulica de 100% a la temperatura de 20°C.

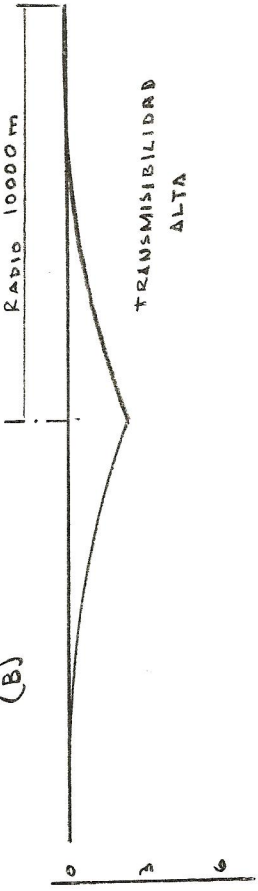


(A)



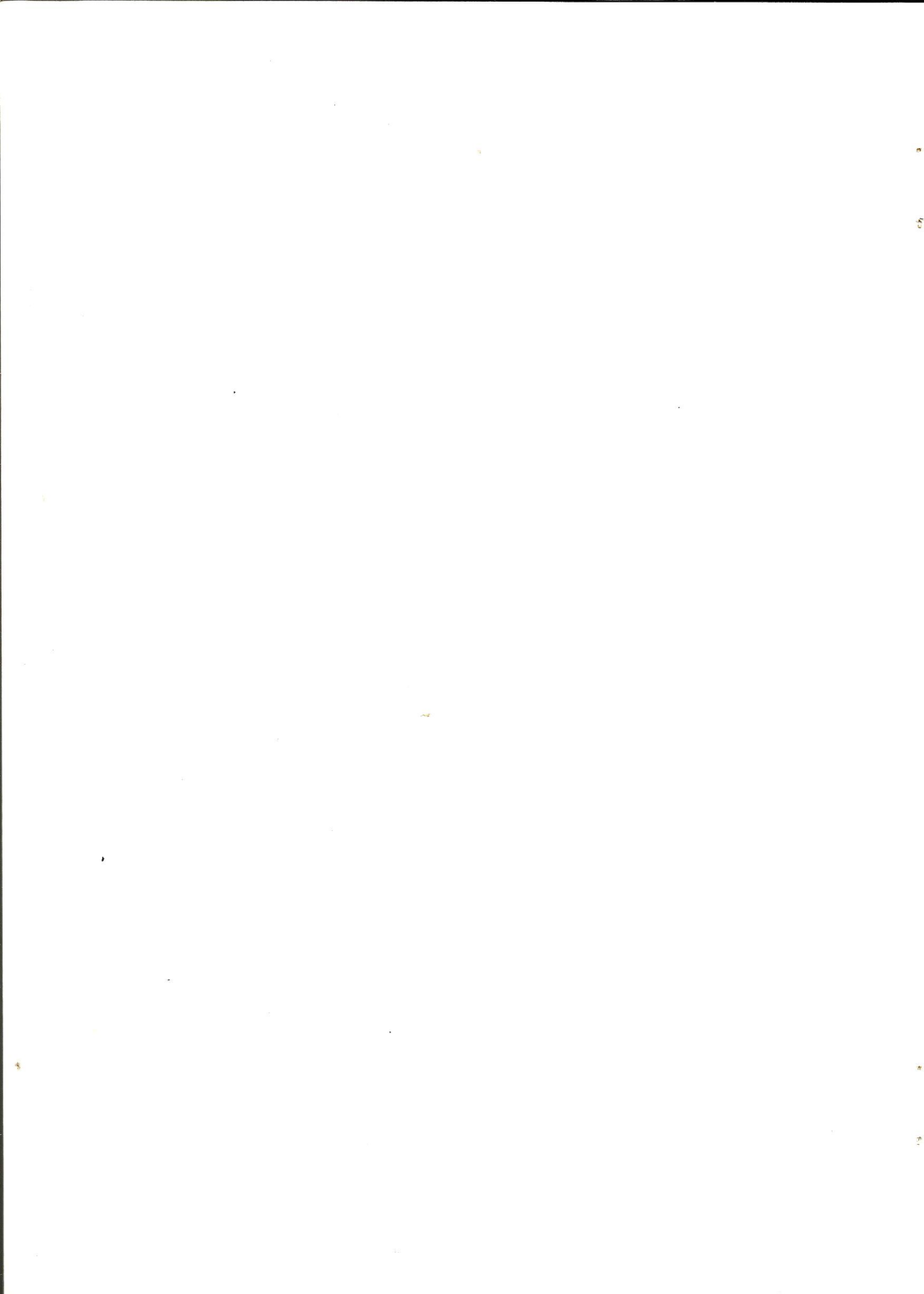
TRANSMISIBILIDAD BAJA

(B)

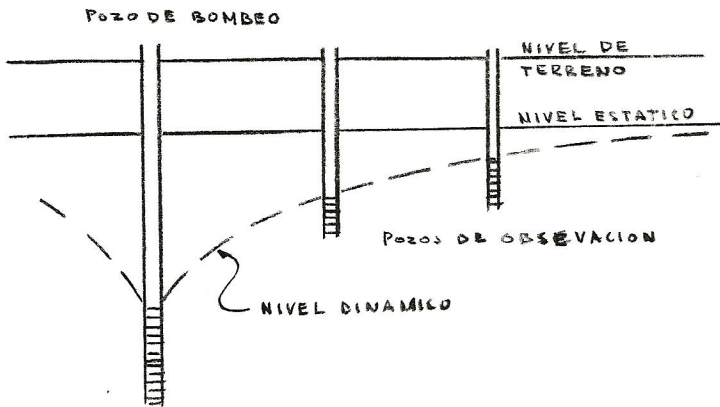


TRANSMISIBILIDAD ALTA

DIB 4



Si observamos la figura, vemos dos conos de depresión que corresponden a pozos con transmisibilidades diferentes, bombeados a un caudal igual. El pozo A que corresponde a un terreno de baja transmisibilidad, tiene un radio de influencia menor que el pozo B, pero su altura de cono ó abatimiento es más grande. Por el contrario, el pozo B tiene un gran radio de influencia y su abatimiento o profundidad de cono es muy pequeña, lo que nos indica que el terreno donde se encuentra el segundo pozo, es de una calidad hidráulica muy superior a la primera.



DIB 5

Si observamos ahora el dibujo de arriba, vemos aquí la razón por la cual los abatimientos entre los distintos pozos cambian al variar la distancia con el pozo bombeado, pudiéndose observar la línea de nivel de bombeo o curva de abatimiento.

La curva de abatimiento muestra el nivel al cual se eleva el agua en cada uno de los pozos de obser-

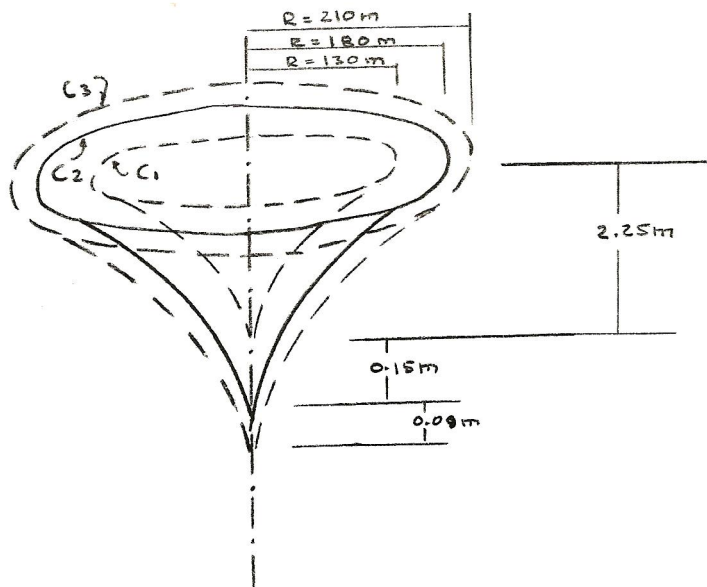
vación al efectuarse el bombeo.

La línea curva de bombeo, nos indica las diferentes pérdidas de carga que sufre el agua al irse acercando al pozo bombeado.

Supongamos por ejemplo que, el pozo se bombea a un caudal de 15 litros por segundo. A una distancia de 10 m. del pozo, el abatimiento es de 2 m. Esto indica que, se requiere una carga de 2 m. para forzar los 15 lts/seg. para pasar a través de la formación desde el límite externo del cono de depresión, hasta los 10 m. de distancia del pozo.

Cuando un pozo se bombea, inicialmente se obtiene el agua del acuífero inmediato al pozo; pero al continuarse el tiempo de bombeo, es necesario ir obteniendo agua de zonas más alejadas del pozo. Es por esta razón que, el radio de influencia se expande conforme aumenta el tiempo de bombeo. A medida que esto sucede, el cono de depresión se agranda, no sólo en su radio sino en su altura, ya que es necesario conforme se expande el cono, ir teniendo mayores alturas de depresión para obtener así, la altura de carga requerida para forzar el agua desde distancias más lejanas.

La medida en la que crece el cono de depresión, no sigue el mismo ritmo del tiempo de bombeo, pues conforme se agranda el radio de influencia, se obtienen mayores cantidades de agua por cada anillo del cono, puesto que estos tienen una mayor área.



DIB 6

La figura del dibujo 6 nos ayuda a explicar cómo el cono de depresión se expande durante intervalos iguales de tiempo. Por ejemplo, al bombearse una hora, el cono se expande a un radio de influencia de supongamos 130 m. y se produce un abatimiento dentro del pozo bombeado de 2.25 m. En la segunda hora de bombeo, se amplía el cono a un radio de influencia de 180 m. y se produce un abatimiento adicional de 15 cm. En la tercera hora de bombeo, se produce un nuevo crecimiento del radio de influencia, pero este solamente se vuelve de 210 m. y el nuevo abatimiento producido es de 9 cm. adicionales. Como se observa, tanto el crecimiento del ra-

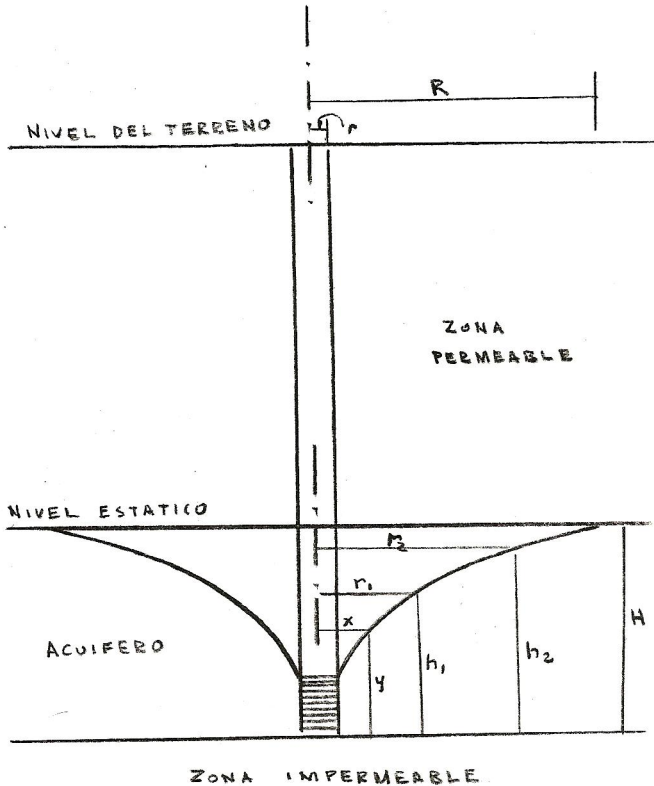
dio de influencia, como el crecimiento del abatimiento van disminuyendo. Si nosotros calculamos el volumen de cada cono formado, observamos que el cono C₂ es alrededor de dos veces el volumen del cono C₁ y el cono C₃ es más ó menos tres veces el cono C₁. Todo esto ocurre debido a que, durante intervalos iguales de tiempo de bombeo, volúmenes iguales deben ser desplazados hacia la bomba, con el objeto que ésta pueda sacar cantidades iguales de agua en tiempos iguales. Si seguimos observando períodos de bombeo por largo tiempo, llegamos a un momento en que, aparentemente el radio de influencia y el abatimiento se estabilizan. Esto no es cierto; lo que pasa es que los crecimientos que siguen se van haciendo demasiado pequeños paulatinamente.

La única condición bajo la cual el radio de influencia y el abatimiento se estabilicen, es cuando ocurre cualquiera de los siguientes casos: a) el cono se expande hasta encontrar una fuente superficial (lago o río) que abastece, el agua al acuífero en suficiente cantidad, siendo esta igual a la de bombeo. b) si el cono logra interceptar suficiente cantidad de agua en cierta área del acuífero, para que esta sea igual a la cantidad bombeada. c) Otra condición puede ser que el área que abarca el cono de bombeo, sea suficientemente grande para obtener una recarga vertical por precipitación igual al volumen del agua bombeada.

De acuerdo a lo explicado, puede haber pozos que lleguen a lograr una condición de equilibrio a cierto período de tiempo de bombeo, pero puede haber otros que no lleguen a esta condición aun a través de períodos de bombeo de años.

Las fórmulas para pozos en condiciones de equilibrio fueron derivadas hace varios años por distintos investigadores, obteniendo dos fórmulas básicas. Estas son las de acuíferos artesianos y las de acuíferos no artesianos.

Para un acuífero no artésiano tenemos:



$$I = \frac{dy}{dx}$$

$$A = 2 \pi xy$$

$$Q = P \frac{dy}{dx} 2 \pi xy$$

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dx}{x} = P 2 \pi \int_{h_1}^{h_2} y dy$$

$$Q = \left[\log_e x \right]_{r_1}^{r_2} = 2 \pi P \left[\frac{y^2}{2} \right]_{h_1}^{h_2}$$

$$Q = \log_e \frac{r_2}{r_1} = 2 \pi P \frac{1}{2} (h_2^2 - h_1^2)$$

$$P = \frac{Q \log_e \frac{r_2}{r_1}}{(h_2^2 - h_1^2)}$$

$$P = \frac{2.3 Q \log \frac{r_2}{r_1}}{\pi (h_2^2 - h_1^2)}$$

$$Q = \frac{P \pi (h_2^2 - h_1^2)}{2.3 \log \frac{r_2}{r_1}}$$

$$Q = \frac{P \pi (H^2 - h^2)}{2.3 \log \frac{R}{r}}$$

Los términos usados son los siguientes:

Q = Volumen de bombeo en metros cúbicos por día

P = Permeabilidad del acuífero en $m^3 \times \text{día} \times m^2$

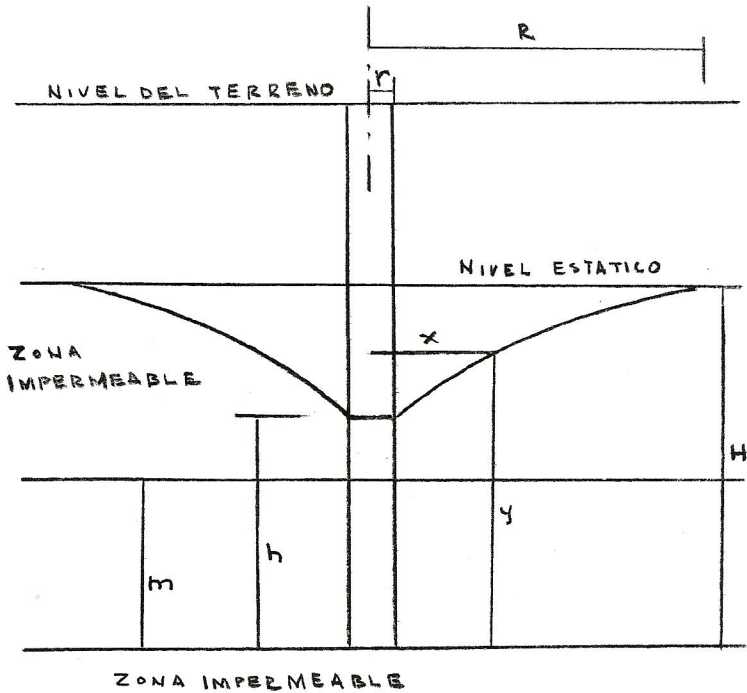
R = Radio de influencia en m.

r = Radio del pozo en m.

H = Espesor del acuífero en m, antes de iniciarse el bombeo

h = Profundidad del nivel de bombeo o sea espesor del acuífero H, menos abatimiento, en m.

De igual forma tenemos el desarrollo de la fórmula para un pozo artesiano y es:



$$l = \frac{dy}{dx}$$

$$A = 2\pi m$$

$$Q = P \frac{dy}{dx} 2\pi m$$

$$P = \frac{Q \log_e \frac{r_2}{r_1}}{2\pi m (h_2 - h_1)}$$

$$= \frac{2.3 Q \log \frac{r_2}{r_1}}{2\pi m (h_2 - h_1)}$$

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dx}{x} = 2\pi P m \int_{h_1}^{h_2} dy$$

$$Q = \log_e \frac{r_2}{r_1} = 2\pi P m (h_2 - h_1)$$

$$Q = \frac{2\pi m P (h_2 - h_1)}{2.3 \log \frac{r_2}{r_1}}$$

r_1 , r_2 , h_1 y h_2 se obtienen de pozos de observación

$$Q = \frac{2\pi m P (H - h)}{2.3 \log \frac{R}{r}}$$

Donde:

Q = Volumen de bombeo en $m^3 \times \text{día}$

P = Permeabilidad del acuífero en $m^3 \times \text{día} \times m^2$

M = Espesor del acuífero en metros

H = Altura de presión estática en el acuífero en m.

h = Profundidad del agua en el pozo al efectuarse el bombeo, en m.

$H-h$ = Abatimiento

R = Radio de influencia del pozo, en m.

r = Radio del pozo en m.

Con el objeto de hacer las derivaciones de las fórmulas, hemos hecho las siguientes suposiciones:

- 1.- El material del acuífero es igual en toda la extensión del cono de depresión.
- 2.- El acuífero no está estratificado.
- 3.- El acuífero tiene un espesor constante.
- 4.- El pozo que se bombea tiene una eficiencia de

100%.

- 5.- El pozo en el cual instalamos la bomba, penetra en su totalidad al acuífero.
- 6.- El nivel estático es completamente horizontal.
- 7.- El flujo en todo el cono de depresión es totalmente laminar.
- 8.- Tanto el radio de influencia como el abatimiento se han llegado a estabilizar, por lo que son constantes a diferentes tiempos de bombeo.

Como se ve las suposiciones antes expresadas no pueden ser reales; sin embargo, éstas no llegan a limitar seriamente el uso de las fórmulas pues el requisito de que la permeabilidad sea constante no llega a suceder, pero la permeabilidad promedio es prácticamente la que nos interesa en un pozo. La suposición de que el acuífero no sea estratificado es de pequeña importancia en pozos artesianos, en los cuales la mayor cantidad del estrato acuífero está atravesado por el pozo. Ahora bien en pozos no artesianos la estratificación si es importante, especialmente cuando el abatimiento llega a ser una porción considerable en la dimensión del espesor del acuífero. Sin embargo, conociendo la estratificación, esto puede corregirse con un buen diseño del pozo para superar esta dificultad. Respecto a los cambios de espesor del acuífero, generalmente son tan pequeños que en la extensión del cono de influencia no llegan a ser considerables. Esto último se puede descubrir ampliamente en el uso de las fórmulas de no-equilibrio que se describirán posteriormente.

La suposición del 100% de eficiencia, puede ser de consideración si el pozo no es diseñado adecuadamente ó si no se llega a construir en buena forma.

Un nivel estático horizontal, es otra de las condiciones que generalmente no se obtienen, ya que normalmente los acuíferos llevan agua de un punto de recarga a otro de descarga, tiene por consiguiente el acuífero una pendiente hidráulica para poder obtener un flujo adecuado. Esta pendiente es, sin embargo, generalmente muy pequeña por lo que para el uso de las fórmulas no llega a darnos errores apreciables.

Pasamos ahora a ver las fórmulas de no equilibrio. Estas fueron desarrolladas por Theis en el año de 1,935.

Con ello se dió un paso de gran avance en el campo de la hidráulica del agua subterránea, porque se toma en cuenta el tiempo transcurrido desde el comienzo del bombeo, o el tiempo de recuperación del pozo al terminar el bombeo.

Con estas fórmulas se puede perfectamente predecir el abatimiento a cualquier momento que se quiera después de iniciado el bombeo del mismo. No es necesario además, tener que esperar que llegue el tiempo para que se estabilice más o menos el cono de influencia del pozo, pues sin necesidad de ésto, se puede llegar a encontrar la transmisibilidad o permeabilidad del acuífero en estudio.

Otro requisito importante es que, así como en las fórmulas de equilibrio se requieren por lo menos dos pozos de observación, en cambio con las fórmu-

las de Theis, se pueden usar perforando solamente un pozo de observación.

La fórmula desarrollada por Theis se expresa simplemente así:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu)$$

Donde:

S = Al abatimiento del pozo en m., siempre que el bombeo se haga a un gasto constante.

Q = Es el gasto del pozo bombeado en $m^3/\text{día}$.

T = Coeficiente de transmisibilidad del acuífero en metros cúbicos por día por metro.

m = Espesor del acuífero en mts.

También tenemos que, $T = P \times m$. ó sea que la transmisibilidad es igual a la permeabilidad por el espesor del acuífero.

$W(\mu)$ = A función del pozo se obtiene calculando primero μ y después usando la tabla. (Esta se puede ver en la pag. 289 del libro Water Supply and Waste Water Disposal de Fair & Geyer, edición de 1,954).

$$\mu = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

Donde:

r = Distancia del pozo observado al centro del pozo bombeado, en m.

S = Coeficiente de almacenamiento (sin dimensión)

T = Coeficiente de transmisibilidad

t = Tiempo desde el comienzo o terminación del bombeo en días.

En forma similar a la que fue necesaria en el desarrollo de las fórmulas de equilibrio, en estas que acabamos de ver, también fue necesario hacer una serie de suposiciones que son:

- 1.- El acuífero es de una formación y permeabilidad constantes.
- 2.- El acuífero es de un espesor constante.
- 3.- La formación o acuífero no recibe recarga de ninguna fuente.
- 4.- La formación tiene una dimensión infinita.
- 5.- El pozo bombeado penetra en su totalidad la formación del acuífero.

Como se ve en general, estas suposiciones son las mismas que las hechas para el desarrollo de las fórmulas de equilibrio, con excepción de que en éstas últimas no se requiere que se establezca el cono de influencia.

Posterior a las fórmulas de no-equilibrio, se desarrollaron las fórmulas de no-equilibrio modificadas.

Para la obtención de los coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento, se encuentran estos valores en forma similar a la fórmula de Theis.

Las variantes en ésta nueva fórmula se deben a l

investigador Jacob, que en 1,946 notó que μ viene a ser cada vez más pequeño cuando el tiempo de bombeo aumenta.

De manera que para valores de μ menores que 0.05, Jacob describe la fórmula de Theis modificada de la siguiente forma:

$$s = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \left(\log \frac{2.25 Tt}{r^2 S} \right)$$

Los símbolos de ésta fórmula son iguales a los usados anteriormente.

Al observar esta fórmula, podemos sacar conclusiones muy importantes para la hidráulica de pozos y son:

- 1.- En un acuífero estudiado, r es constante por lo tanto el abatimiento S es proporcional al logaritmo del tiempo t .
- 2.- En un acuífero determinado y después de un tiempo t (ó sea que t se vuelve constante) el abatimiento S es proporcional al logaritmo del recíproco del cuadrado de la distancia.

Para la aplicación de las fórmulas anteriores, se dibujan los datos obtenidos en papel semilogarítmico.

Al poner los datos de un pozo en este papel se ve que da una línea recta, si se pone en la escala logarítmica el tiempo y en la escala normal el abatimiento.

Observamos además que en los primeros 10 minu

tos de bombeo la recta pierde su tendencia. Esto se debe a que, como ya indicamos anteriormente, los valores en esta zona corresponden al rango donde μ es mayor que 0.05 y por lo tanto la fórmula modificada no es aplicable.

Las fórmulas aplicadas a los gráficos son las siguientes:

$$T = \frac{2.3 Q}{4 \pi} \log \frac{t_2}{t_1}$$

ó

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

Donde:

Δ_s = A la pendiente de la recta en el gráfico y se expresa como el cambio de valor en el abatimiento en un ciclo logarítmico.

El coeficiente de almacenamiento se obtiene al poner, en el gráfico tiempo-abatimiento, el punto donde la prolongación de la recta cruza el abatimiento "cero" y la fórmula es:

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

II.- TRABAJOS PRELIMINARES PARA EL ESTUDIO HIDROLOGICO DE UNA ZONA

II.a Perforación de los pozos

Todas las fórmulas que han sido desarrolladas hasta el presente para el estudio hidrológico de una región, están basadas en datos que se obtienen exclusivamente a través de un pozo, ó varios pozos perforados en la zona a estudiarse.

Se ve de lo dicho anteriormente que, la perforación de pozos es imprescindible, y además de gran importancia que se haga con todo el detenimiento y técnica necesarios.

Este aspecto es de una extensión bastante grande, razón por la cual nos limitaremos a darle más importancia a ciertas recomendaciones para lograr que un pozo perforado, sea de utilidad para un estudio hidrológico.

Los métodos de perforación de un pozo pueden ser variados, pero en general todos los diferentes equipos se reducen en principio a dos tipos: rotativos o de percusión.

La perforación con equipo rotativo, consiste fundamentalmente de un barreno que gira, extrayéndose el material perforado por una corriente de barro, mezclada con agua aire o solamente agua en determinados casos.

La perforación con equipo de percusión, es hecho esencialmente con una barra de peso que golpea el fondo del agujero, moliendo de esta forma el material, el cual se extrae con una cubeta.

El uso de los diferentes equipos de perforación, se debe escoger de acuerdo con la eficiencia que se consiga al perforar la zona o terreno que se trabaje.

La selección del método particular de perforar requiere la consideración de varios factores. Los principales son, el diámetro y la profundidad del pozo y las formaciones geológicas que sea necesario penetrar. La perforación de pozos para agua presenta problemas de operación completamente distintos de los que se presentan en perforaciones sismográficas o para propósitos estructurales. La técnica de perforación puede ser fundamentalmente la misma, pero el reconocimiento y localización de los acuíferos, el cuidado con que se recogen las muestras, la exactitud en el apunte de los datos, las formaciones que se penetra y el tiempo que se emplea en las pruebas, son todos peculiares de la perforación de pozos para agua.

Si el perforador está familiarizado con la geología de la zona que se está desarrollando y sabe de antemano donde se encuentra el acuífero, la perforación puede llevarse a cabo de acuerdo con un plan preparado de antemano. El agujero puede perforarse rápidamente hasta el acuífero, el revestimiento colocado y conectado, y el pozo puesto en producción. Si el área es desconocida, se puede obtener información a veces examinando pozos vecinos.

El método rotativo es preferible al de percusión

en formaciones sedimentarias. Con este método es difícil obtener muestras representativas de los materiales penetrados, en particular en formaciones de arena y grava. La obtención de buenas muestras de estos materiales por el método de percusión es relativamente fácil.

Se prefiere el método de percusión cuando se perfora roca en cavernas o alguna otra formación permeable. La mayoría o todo el fluido empleado en la perforación rotativa puede desaparecer en este tipo de formación, resultando en pérdida de flujo de retorno ó de circulación. En los casos en que la formación cavernosa es delgada, hay recursos para vencer la pérdida de la circulación.

Hay un número de operaciones que es muy necesario hacer después de terminada la perforación de un pozo y que son indispensables para dejar el pozo en buenas condiciones de funcionamiento. Estos elementos incluyen, la instalación de la rejilla o coladera en una formación arenosa o de grava, el desarrollo del acuífero, el entubado y el sellado del pozo. El propósito de estos trabajos es el de obtener del pozo la máxima capacidad y proporcionarle la protección sanitaria necesaria.

Los pozos se recubren con tubería para impedir el derrumbamiento de las paredes; además se evita en esta forma que el agua superficial se meta dentro del pozo. El entubado debe extenderse por lo menos unos 0.30 m. sobre la superficie del suelo para evitar lo anteriormente explicado.

La selección de la coladera que se instale en un pozo, comprende la escogencia del diámetro, longi-

tud y tamaño de las aberturas y material del cual debe estar hecha.

El diámetro se escogerá de acuerdo a la bomba que se use y a la velocidad del agua que pase por el tubo.

La longitud adecuada de la coladera, depende principalmente del espesor del acuífero. Para un acuífero de espesor pequeño se instala coladera en todo el espesor, pero para un acuífero de espesor grande se instala generalmente solo un 50% del tamaño, colocando ésta en tramos alternos para conseguir la mejor eficiencia del pozo.

El tamaño de las aberturas se escogerá llenando dos requisitos básicos: 1) La abertura deberá ser de acuerdo a la granulometría del acuífero, de manera que por las aberturas puedan pasar cierto número de partículas finas y se retengan las partículas de cierto tamaño de gruesas. Las partículas pequeñas se dejarán pasar al efectuarse el desarrollo del pozo y el resto quedarán definitivamente ordenadas alrededor de la coladera y 2) La abertura también se diseñará de manera que el agua al penetrar por ella, no exceda de una velocidad de 0.1 pie por segundo.

Por último, el material del cual debe estar hecha se escogerá de acuerdo a los requisitos siguientes en su orden de importancia: 1) El contenido de minerales del agua subterránea. 2) La presencia de películas bacterianas y 3) La resistencia que requiera tenga la coladera.

Otro factor importante para conseguir un máximo de eficiencia del pozo, es el desarrollo del mis-

mo.

El desarrollo primordialmente se hace con dos fi
nalidades:

- 1) Remover el barro usado en la perforación.
- 2) Ordenar las partículas del material del acuífero.

Del cuidado que se ponga en llenar estas dos fi
nalidades, dependerá el éxito que se consiga para
obtener un pozo con el máximo de eficiencia.

El desarrollo de un pozo en roca abre las fi
ras, grietas y canales de la formación sacando las
partículas finas de arena y permitiendo que el agua
fluya libremente a través del acuífero.

Para desarrollar un pozo hay varios métodos, pe
ro los más recomendables son tres.

- 1) Método de pistoneo. Consiste en introducir un pis
tón que funcione similar al de una bomba, crean-
do con este movimiento corrientes de agua que
pasen a gran velocidad por las ranuras de la cola-
dera en uno y otro sentido.
- 2) Método de aire comprimido. Este método consiste
en el uso de un compresor para el bombeo de agua
en el pozo. La forma para lograr el desarrollo del
pozo, es que el bombeo se haga a pausas para pro
vocar corrientes de agua en ambos sentidos.
- 3) Método de chorro. Este método es el más eficien
te y consiste en lanzar agua a gran presión, por
una boquilla que la tire hacia las ranuras de la re
jilla.

Hay que hacer constar que, para conseguir un mejor desarrollo es conveniente se hagan los tres métodos en forma alterna y por varias veces y no se use solamente uno, pues aunque sea bueno, no se logrará obtener una máxima eficiencia.

II.b Perfiles geológicos obtenidos en la perforación

Para conseguir buenos resultados en gran parte de lo explicado anteriormente, ó sea la construcción de un buen pozo, es de suma importancia la obtención de perfiles geológicos.

Si el área donde se perfora el ó los pozos ya es conocida geológicamente, esto ayudará tanto a facilitar el trabajo como a conseguir mejores resultados del mismo.

Lamentablemente en nuestro medio casi no existen estos datos y es por esto muy deseable que toda persona que perfora un pozo haga el perfil geológico del mismo. Para conseguir un buen perfil geológico, se debe observar un gran cuidado en la obtención de las muestras extraídas en la perforación del pozo.

Al ir haciendo la perforación del pozo, es necesario que simultáneamente se extraigan muestras del terreno perforado. Conviene sacar estas muestras como mínimo cada tres metros o cada vez que cambie la formación del subsuelo.

El muestreo puede dar ciertos problemas de acuerdo con el equipo usado, ya que si se usa por ejemplo, equipo de percusión, se obtiene una muestra

más pura; en cambio con el método rotativo se pierde bastante la pureza del material, debido al barro de perforación que se mezcla con éste.

La forma y cuidado con la cual se hagan los perfiles geológicos, nos puede dar grandes beneficios para la construcción del pozo. En cambio, si por descuido en la obtención de las muestras se hace un perfil equivocado, esto nos dará un mal pozo.

Lo más importante de lo que hemos dicho es que el perfil geológico nos sirve para determinar el lugar donde deben estar las coladeras ó sea el lugar exacto del acuífero.

Existen métodos que nos pueden servir de gran ayuda para la obtención de datos más exactos. Por ejemplo, la obtención de perfiles geológicos por medio de registros eléctricos.

Los registros eléctricos, se pueden obtener principalmente por dos tipos de aparatos. En uno, la curva de resistividad se obtiene registrando el potencial y los cambios en la resistencia de un simple electrodo colocado en el pozo. En el otro tipo de registrador la resistividad aparente se mide con dos electrodos múltiples. Un electrodo múltiple da una curva normal de resistividad, y el otro da la curva de resistividad horizontal.

Para pozos de agua es más recomendable el uso del tipo de un electrodo.

Las medidas se hacen como sigue: el electrodo registrador se une al final de un cable aislado y se

baja en el pozo por medio de una polea. El otro extremo del cable se conecta a un instrumento registrador cuyo segundo electrodo va a tierra. El cable pasa sobre una polea calibrada que mueve una cinta de papel ó una película con un movimiento sincronizado con el del electrodo en el pozo y de esta manera la curva se registra automáticamente en el papel ó película en función de la profundidad.

Para la interpretación de estos registros, es necesario saber las diferentes resistividades de los materiales que se encuentran en el subsuelo.

Aparte de los métodos antes enumerados, es conveniente que al hacer la perforación de uno ó varios pozos, se obtenga toda la información posible del subsuelo.

II.c Requisitos para efectuar la prueba de bombeo

Para hacer una prueba de bombeo y obtener de ella datos para un estudio hidrológico, es necesario que tanto la obtención de estos datos, como la forma en que hayan sido hechos los pozos, estén garantizados por trabajos realizados adecuadamente.

Los requisitos necesarios para el buen desarrollo del estudio hidrológico, se pueden separar en dos fases distintas.

La primera de ellas es la concerniente a la hechura del pozo; por consiguiente enumeraremos algunos de los principales requisitos para esto.

a) El pozo que se bombea debe penetrar el acuífero

en toda su extensión.

- b) La coladera deberá haber sido diseñada y colocada bajo la supervisión de una persona competente.
- c) El desarrollo del pozo deberá ser hecho de la manera más adecuada, con el objeto de obtener el máximo de eficiencia posible.
- d) Los pozos ó pozo de observación que se construyan, deberán también penetrar el acuífero en estudio en toda su extensión, o por lo menos en las tres cuartas partes de la misma.

Algunos de estos requisitos ya fueron descritos en forma más amplia en los distintos aspectos tratados anteriormente.

Para la obtención de datos en la prueba de bombeo, ó sea la segunda fase, podemos mencionar los siguientes requisitos:

- a) El equipo a usar debe estar en buenas condiciones, ya que cualquier falla que tuviera en el período de la prueba nos impediría la realización de la misma.
- b) Es necesario conocer el rendimiento máximo que dá el equipo de bombeo, ya que se requiere que la prueba se haga a un caudal un poco menor que ese rendimiento, para compensar la baja del nivel del agua en el pozo con el rendimiento del equipo. Esto es básico ya que el volumen de agua que se bombea en la prueba deberá ser constante durante todo el período de la misma.

Otro aspecto es el de la medida del caudal bombeado, que puede hacerse por distintos métodos, siendo los más prácticos los siguientes:

- a) El método volumétrico o sea observar el tiempo en que se llene un volumen conocido.
- b) Usar un medidor de caudal de los muchos que se pueden obtener en el comercio.
- c) Usar un orificio en el extremo del tubo de descarga empleando tablas adecuadas al orificio mencionado.
- d) Usar un vertedero de tamaño adecuado al caudal que se bombee en la prueba.
- e) Usar métodos conocidos para medir el caudal de la salida del agua en tubos ya sea horizontales o verticales.

Otro requisito importante es la medida del nivel del agua en los pozos observados. Entre los métodos más usados para la obtención de estos datos, enumeraremos los siguientes:

- a) Usando el método de la cinta mojada, el cual consiste en introducir una cinta metálica en el pozo, poniéndole un peso en el extremo y cubriendo los dos ó tres primeros metros con yeso. Al introducir esta se dejará que llegue al nivel del agua y se colocará la parte que está en la boca del pozo en una lectura exacta, extrayéndola posteriormente para ver donde está la marca mojada en el extremo con yeso. Este método es el más exacto pero está limitado por la profundidad del

pozo.

- b) Método de uso de línea de aire. Aunque menos preciso, es bastante práctico y consiste en introducir en el pozo un tubo de aire abierto en el extremo inferior y en el otro extremo se coloca un inflador para dar presión dentro del tubo, observándose después en un manómetro lecturas que nos dan la presión de la línea sumergida.
- c) El método de la sonda eléctrica consiste en un cable graduado en metros. Dicho cable lleva en el extremo inferior un electrodo y en el otro extremo del cable un amperímetro operado por baterías. Al llegar el electrodo al agua, cierra el circuito observándose esto en el amperímetro y midiéndose en ese momento la longitud del cable en el pozo.

Habiendo descrito someramente los sistemas de medida del nivel, pasaremos ahora a hablar sobre el tiempo en que se tomen las mismas.

Antes de iniciar la prueba, se recomienda tomar por lo menos unas tres medidas del nivel estático. Posteriormente a esto se tomarán las medidas del nivel durante el bombeo, y se harán a los lapsos de tiempo que se enumeran a continuación:

Durante los primeros 5 minutos se harán lecturas cada medio minuto.

De 5 a 10 minutos	cada minuto
De 10 a 60 minutos	cada 5 minutos
De 60 a 120 minutos	cada 10 minutos
De 120 a 360 minutos	cada 30 minutos
De 360 hasta parar la bomba	cada 60 minutos

Para la obtención de datos en el período de recuperación del pozo que se inicia en el momento de parar el bombeo, se recomienda tomar los mismos en intervalos de tiempo iguales a los indicados anteriormente.

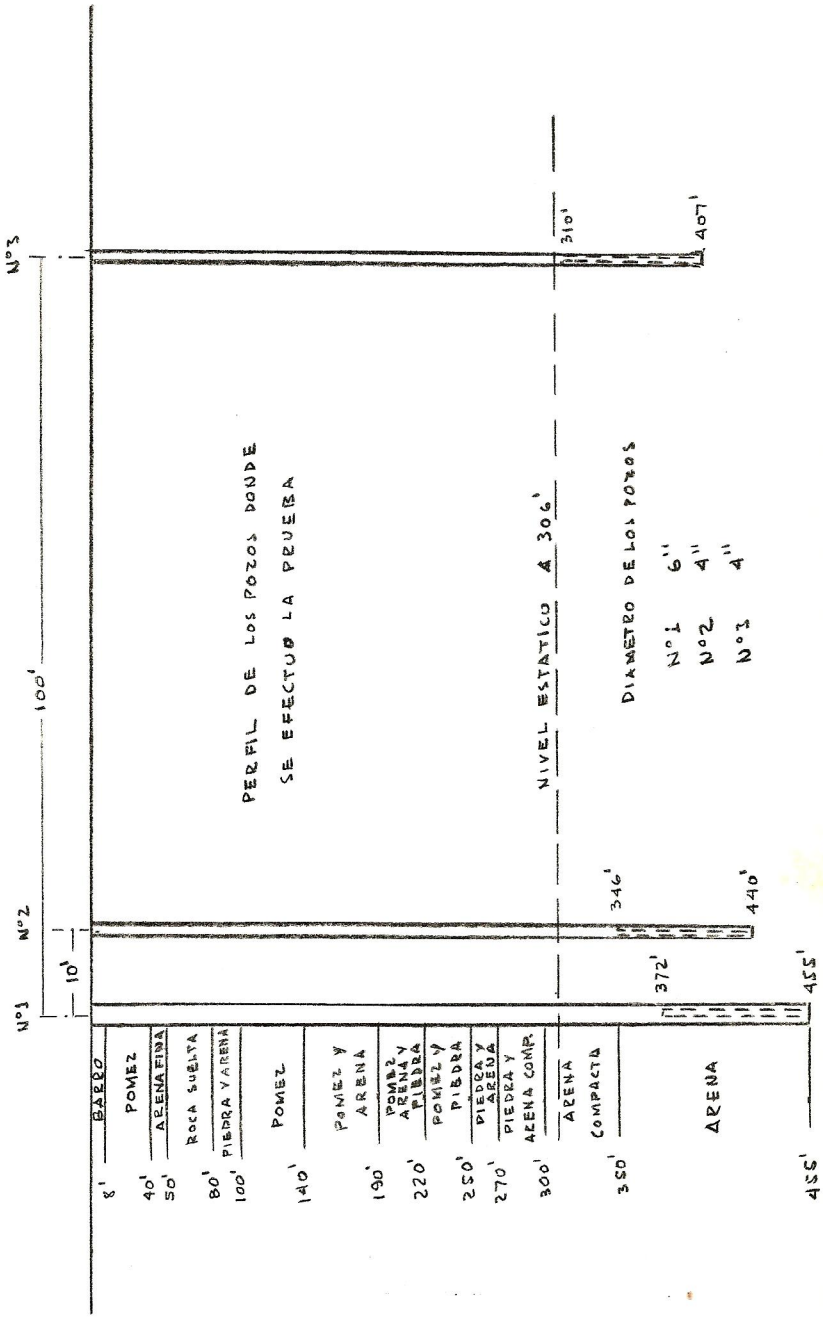
Otro requisito que se debe observar en la prueba de bombeo de un pozo, es que el agua bombeada no recargue por ningún motivo el acuífero estudiado.

III.- PRUEBA DE LOS POZOS DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA

III.a Localización de los pozos y datos de los mismos

En el año de 1,962 se perforaron tres pozos en la parte sur de la Facultad de Ingeniería en terrenos de la Ciudad Universitaria.

Se instaló un pozo con tubo de recubrimiento de 6 pulgadas de diámetro donde se colocó una bomba de turbina vertical; los otros dos pozos fueron perforados entubándose con un diámetro de 4". Estos últimos fueron hechos con el objeto de usarlos como pozos de observación. Los perfiles geológicos de los tres pozos se ven en los gráficos que se dan a continuación:



N°3

100'

N°2

10'

N°1

PERFIL DE LOS POZOS DONDE
SE EFECTUO LA PRUEBA

NIVEL ESTATICO A 306'

DIAMETRO DE LOS POZOS

N°1 6"

N°2 4"

N°3 4"

BAERO

POMIZ

ARENAFINA

Roca Suelta

PIEDRA Y ARENA

POMIZ

POMIZ Y ARENA

POMIZ ARENA Y PIEDRA

POMIZ Y PIEDRA

PIEDRA Y ARENA

PIEDRA Y ARENA

ARENA COMPACTA

ARENA

8'

40'

50'

80'

100'

140'

190'

220'

250'

270'

300'

350'

455'

346'

372'

440'

455'

310'

407'

Los pozos de observación fueron perforados, uno a 10' del pozo de bombeo y el segundo a una distancia de 100' del mismo.

Desafortunadamente el pozo de observación que se encuentra a 10' del pozo de bombeo, fue llenado con piedras por personas irresponsables, razón por la cual ha quedado totalmente inservible.

El pozo de observación que se encuentra a 100', tiene el defecto de haber sido perforado a una profundidad menor que el de bombeo, por lo que no penetra todo el acuífero pudiendo esto ser una razón para la obtención de datos poco confiables.

En el pozo de bombeo, por razones económicas, se instaló un tubo con ranuras hechas con acetileno en lugar de instalar una coladera bien diseñada. Esto último sin lugar a dudas nos tiene que dar como resultado un pozo con una mala eficiencia.

Para el estudio del período de bombeo o aforo del pozo se siguió el siguiente procedimiento:

Se hizo la prueba por un período de tiempo de 24 horas y se observó también la recuperación del mismo por otro período de tiempo igual al de bombeo.

El caudal de bombeo fue de 125 galones por minuto, efectuándose el aforo con doble medida. Se utilizó un medidor de orificio en el extremo del tubo y se controló además el gasto poniendo un recipiente en la descarga ó sea por el método volumétrico.

Las lecturas del abatimiento de los pozos se hizo, en el pozo de bombeo por medio de tubo de aire

y lecturas manométricas, y en el pozo de observación usando sonda eléctrica.

Durante el período de la prueba se tuvo la suerte de no tener ningún contratiempo.

El estudio se hizo en sistema inglés y no métrico, debido a que los aparatos usados estaban en este sistema por lo que considero innecesario transformar los datos al sistema métrico, trabajándolos mejor directamente en el sistema inglés.

Hago notar que posteriormente a esta prueba, se hizo otra para el desarrollo del curso Aspectos Económicos en el Uso del Agua Subterránea. Por ser los datos de las dos pruebas similares opté por usar los tomados de la primera prueba que efectué.

III .b A continuación están los cuadros con los datos obtenidos en la prueba y el dibujo de los mismos en papel semilogaritmico.

De los gráficos obtengo los siguientes datos:

Del gráfico del pozo bombeado tenemos:

$$\Delta_s = 3.4$$

$$T = \frac{264Q}{s} = \frac{264 \times 125}{3.4} = 9650 \text{ g} \times d \times p$$

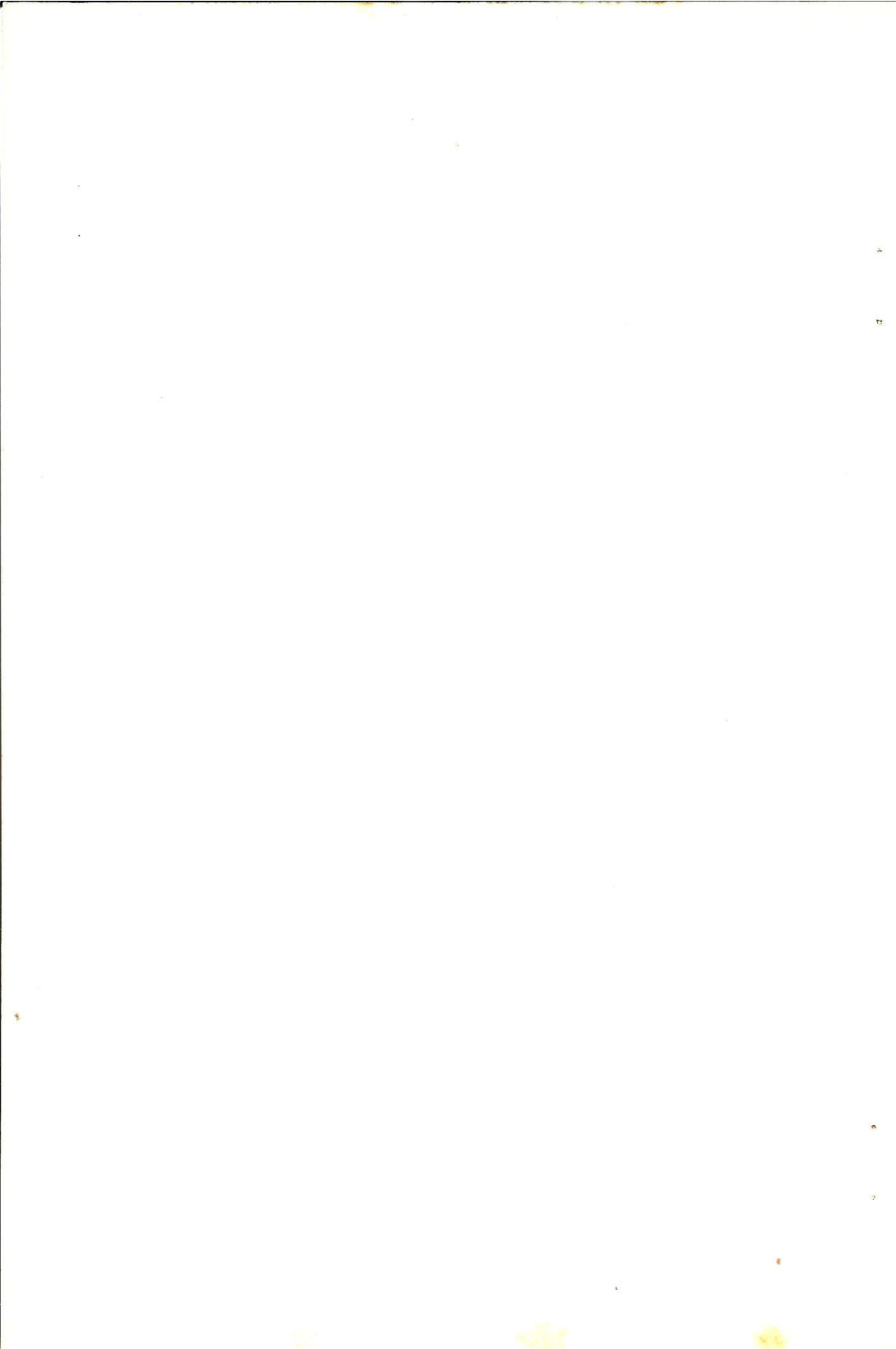
$$S = \frac{0.3 T t_0}{2} = \frac{0.3 \times 9650 \times 2 \times 10^{-11}}{0.5^2 \times 1440} = 1.6 \times 10^{-12}$$

Del gráfico del pozo de observación tenemos:

$$\Delta_s = 0.59$$

$$T = \frac{264 \times 125}{0.59} = 56000 \text{ g} \times d \times p$$

$$S = \frac{0.3 \times 56000 \times 45}{2} = 5.25 \times 10^{-2}$$



**DATOS DE BOMBEO EN EL POZO N° 3
(OBSERVACION) DE LA CIUDAD UNIVERSITARIA**

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Profundidad Nivel Dinámico		Abati- miento	Q a 1630 RPM
9.10	0	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	Q = 125 G.P.M.
9.11	1	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.12	2	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.13	3	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.14	4	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.15	5	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.16	6	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.17	7	306 ^s	06 ⁰⁰	0.00	
9.18	8	306 ^s	07.5	0.13 ^s	125 G.P.M.
9.19	9	306	07.5	0.13 ^s	
9.20	10	306	08	0.17	
9.25	15	306	08	0.17	
9.30	20	306	08	0.17	
9.35	25	306	08	0.17	125 G.P.M.
9.40	30	306	08	0.17	
9.45	35	306	08	0.17	
9.50	40	306	08	0.17	
9.55	45	306	08.5	0.21	
10.00	50	306	09	0.25	125 G.P.M.
10.05	55	306	09	0.25	
10.10	60	306	09	0.25	
10.20	70	306	09	0.25	125 G.P.M.
10.30	80	306	09	0.25	
10.40	90	306	09.5	0.29	
10.50	100	306	10	0.33	125 G.P.M.
11.40	150	306	10.5	0.38	125 G.P.M.
12.30	200	306	10.5	0.38	
13.20	250	306 ^s	11 ⁰⁰	0.42	
14.10	300	306 ^s	11.5	0.46	125 G.P.M.
15.00	300	306 ^s	11.5	0.46	125 G.P.M.

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Profundidad Nivel Dinámico	Abati- miento	Q a 1630 RPM
15.50	400	307 ³ 00 ⁰⁰	0.50	125 G.P.M.
16.40	450	307 ³ 00	0.50	125 G.P.M.
17.30	500	307 ³ 00	0.50	125 G.P.M.
19.10	600	307 ³ 01.5	0.63	125 G.P.M.
20.50	700	307 ³ 02.0	0.67	125 G.P.M.
22.30	800	307 ³ 02.5	0.71	125 G.P.M.
00.10	900	307 ³ 03	0.75	125 G.P.M.
1.50	1000	307 ³ 03	0.75	125 G.P.M.
9.10	1440	307 ³ 05	0.92	125 G.P.M.

**DATOS DE BOMBEO EN EL POZO N° 1
(POZO BOMBEADO) EN LA CIUDAD UNIVERSITARIA**

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Abatimiento	Q a 1630 R.P.M
9.10	0	0	125 G.P.M.
9.11	1	18.42	
9.12	2	25.42	
9.13	3	32.33	
9.14	4	36.92	
9.15	5	39.12	
9.16	6	40.25	
9.17	7	41.50	
9.18	8	41.50	
9.19	9	41.50	
9.20	10	41.50	
9.25	15	43.84	
9.30	20	45.00	
9.35	25	46.08	
9.40	30	46.08	
9.45	35	46.08	
9.50	40	46.08	
9.55	45	46.08	
10.00	50	46.08	
10.05	55	46.08	
10.10	60	46.08	
10.20	70	46.08	
10.30	80	46.08	
10.40	90	46.08	
10.50	100	46.08	
11.40	150	46.08	
12.30	200	47.33	
13.20	250	47.33	
14.10	300	48.42	
15.00	350	48.42	

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Abatimiento	Q a 1630 R.P.M
15.50	400	48.42	
16.40	450	48.42	
17.30	500	48.42	
19.10	600	48.92	
20.50	700	48.92	
22.30	800	49.58	
00.10	900	49.58	
1.50	1000	50.67	
9.10	1440	50.67	

**DATOS DE RECUPERACION DEL POZO N° 3 DE LA
CIUDAD UNIVERSITARIA DESPUES DE 24 HORAS
DE BOMBEO A 125 G.P.M.**

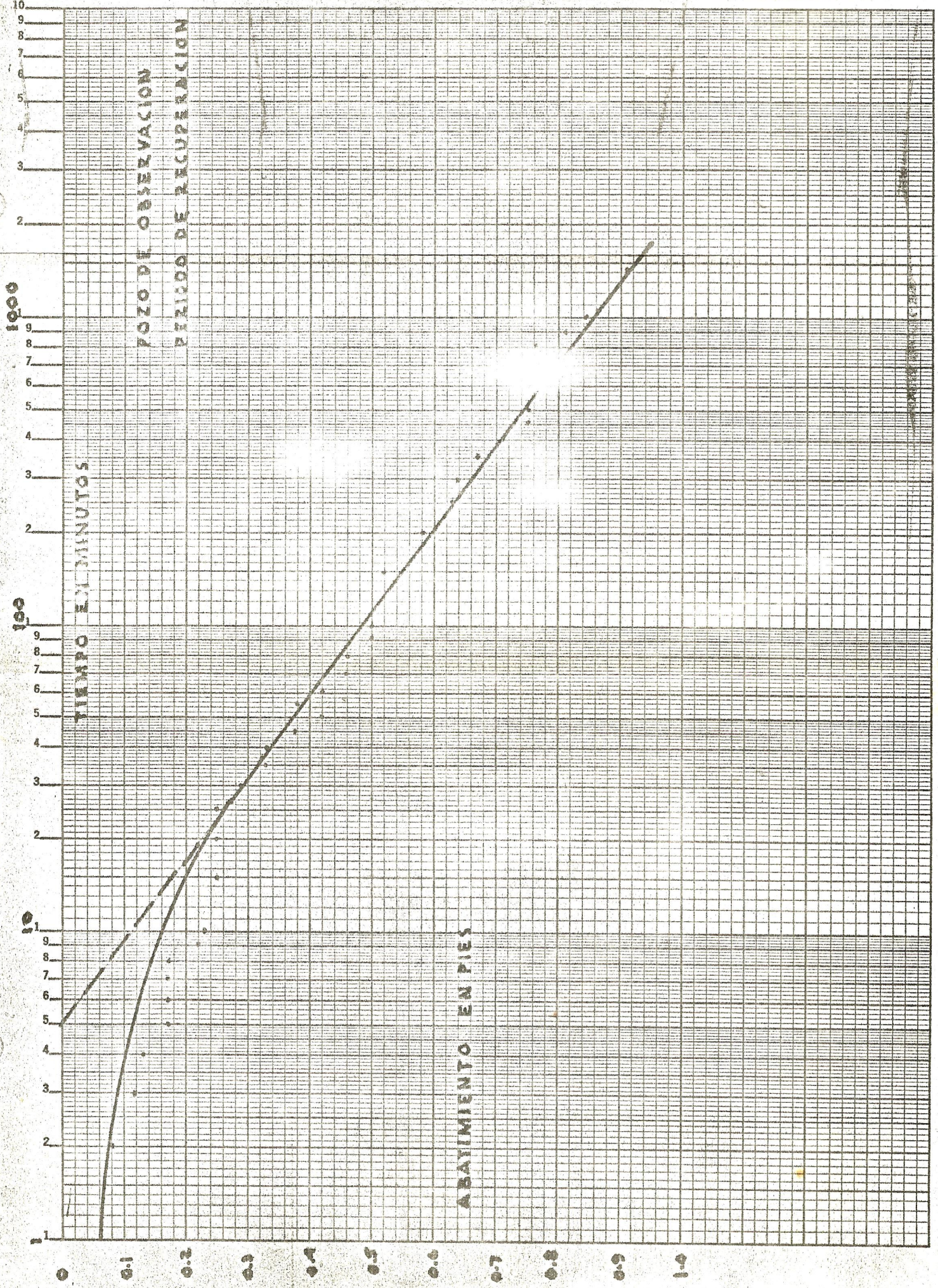
Hora	Tiempo transcurrido minutos	Profundidad Nivel Dinámico	Abatimiento
9.10	0	307 05	0. 00
9.11	1	307 05	0. 00
9.12	2	307 04	0.08
9.13	3	307 03.7	0.11
9.14	4	307 03.5	0.13
9.15	5	307 03	0.17
9.16	6	307 03	0.17
9.17	7	307 03	0.17
9.18	8	307 03	0.17
9.19	9	307 02.5	0.21
9.20	10	307 02.3	0.23
9.25	15	307 02	0.25
9.30	20	307 02	0.25
9.35	25	307 02	0.25
9.40	30	307 01.5	0.29
9.45	35	307 01	0.33
9.50	40	307 01	0.33
9.55	45	307 00.5	0.38
10.00	50	307 00	0.42
10.05	55	307 00.5	0.38
10.10	60	307 00	0.42
10.20	70	306 11.5	0.46
10.30	80	306 11.5	0.46
10.40	90	306 11	0.50
10.50	100	306 11	0.50
11.40	150	306 10.8	0.52
12.30	200	306 10.	0.58
13.20	250	306 09.5	
14.10	300	306 09.3	0.64

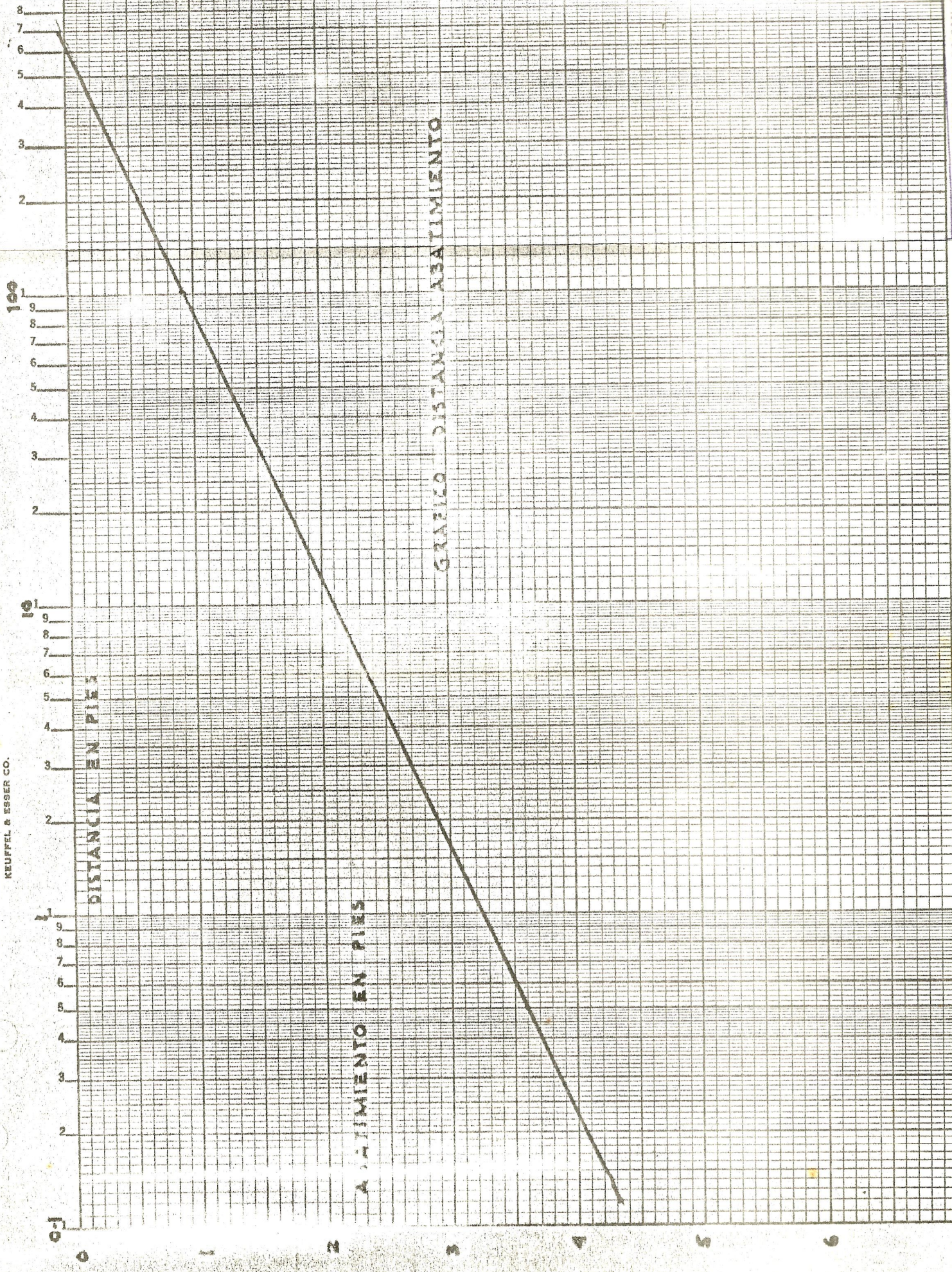
Hora	Tiempo transcurrido minutos	Profundidad Nivel Dinámico	Abatimiento
15.00	350	306 09	0.63
15.50	400	306 08.5	0.71
16.40	450	306 08	0.75
17.30	500	306 08	0.75
19.10	600	306 08	0.75
20.50	700	306 07.9	0.76
22.30	800	306 07.9	0.76
00.10	900	306 07.3	0.81
1.50	1000	306 07	0.84
9.10	1440	306 06	0.92

**DATOS DE RECUPERACION DEL POZO N^o 1 DE LA
CIUDAD UNIVERSITARIA DESPUES DE 24 HORAS
DE BOMBEO A 125 G.P.M.**

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Abatimiento
9.10	0	0. 00
9.11	1	50.67
9.12	2	00 00
9.13	3	00 00
9.14	4	00 00
9.15	5	00 00
9.16	6	00 00
9.17	7	00 00
9.18	8	00 00
9.19	9	00 00
9.20	10	00 00
9.25	15	00 00
9.30	20	50.67
9.35	25	00 00
9.40	30	00 00
9.45	35	00 00
9.50	40	00 00
9.55	45	50.67
10.00	50	00 00
10.05	55	00 00
10.10	60	00 00
10.20	70	00 00
10.30	80	00 00
10.40	90	00 00
10.50	100	00 00
11.40	150	00 00
12.30	200	00 00
13.20	250	00 00
14.10	300	00 00

Hora	Tiempo transcurrido minutos	Abatimiento
15.00	350	50.67 00
15.50	400	00 00
16.40	450	00 00
17.30	500	00 00
19.10	600	00 00
20.50	700	00 00
22.30	800	00 00
00.10	900	00 00
1.50	1000	00 00
9.10	1440	00 00



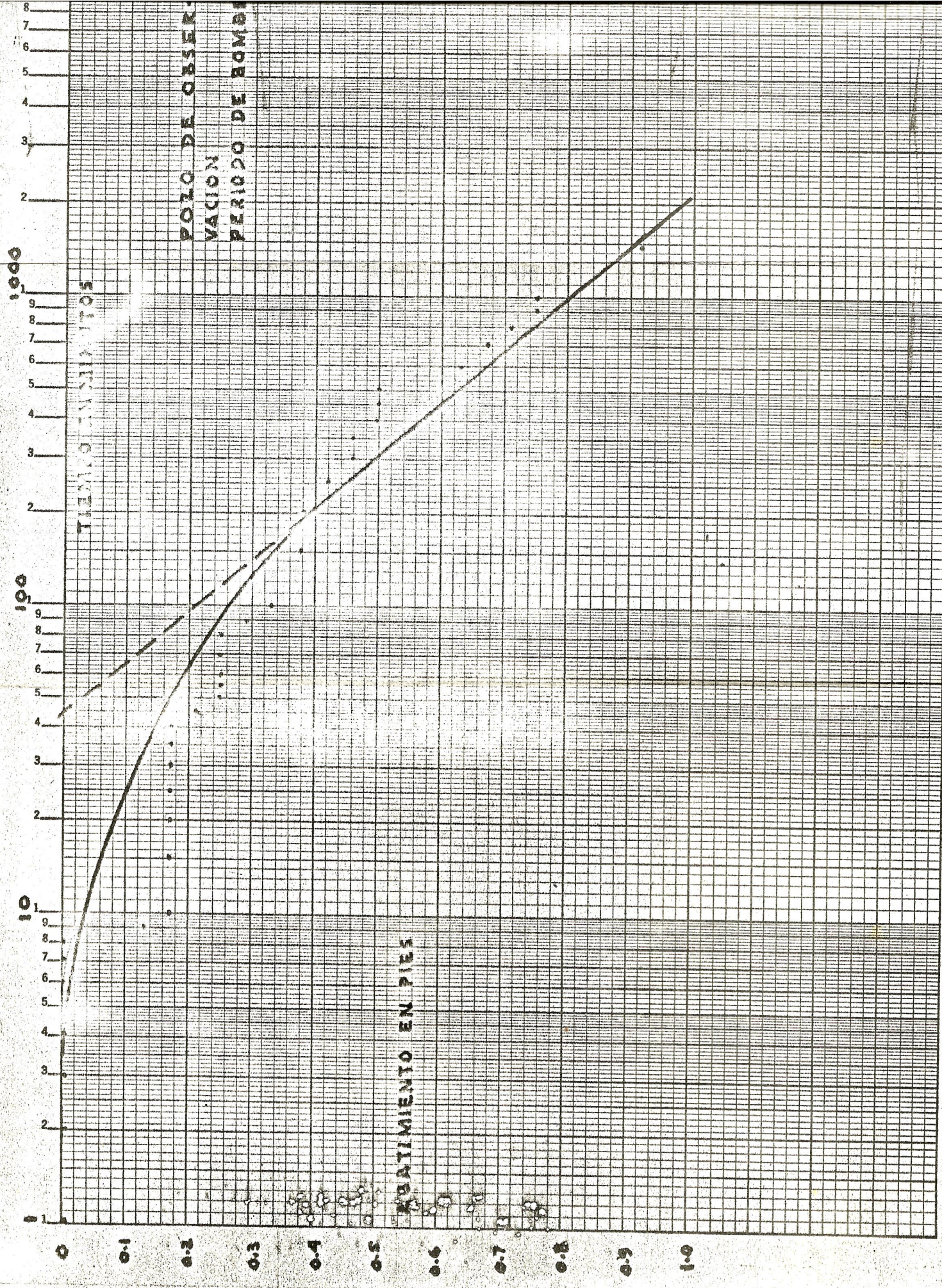


GRABADO DISTANCIA ALZAMIENTO

DISTANCIA EN PIES

ALZAMIENTO EN PIES

K&E SEMI-LOGARITHMIC 46 6010
4 CYCLES X 70 DIVISIONS
MADE IN U.S.A.
KEUFFEL & ESSER CO.

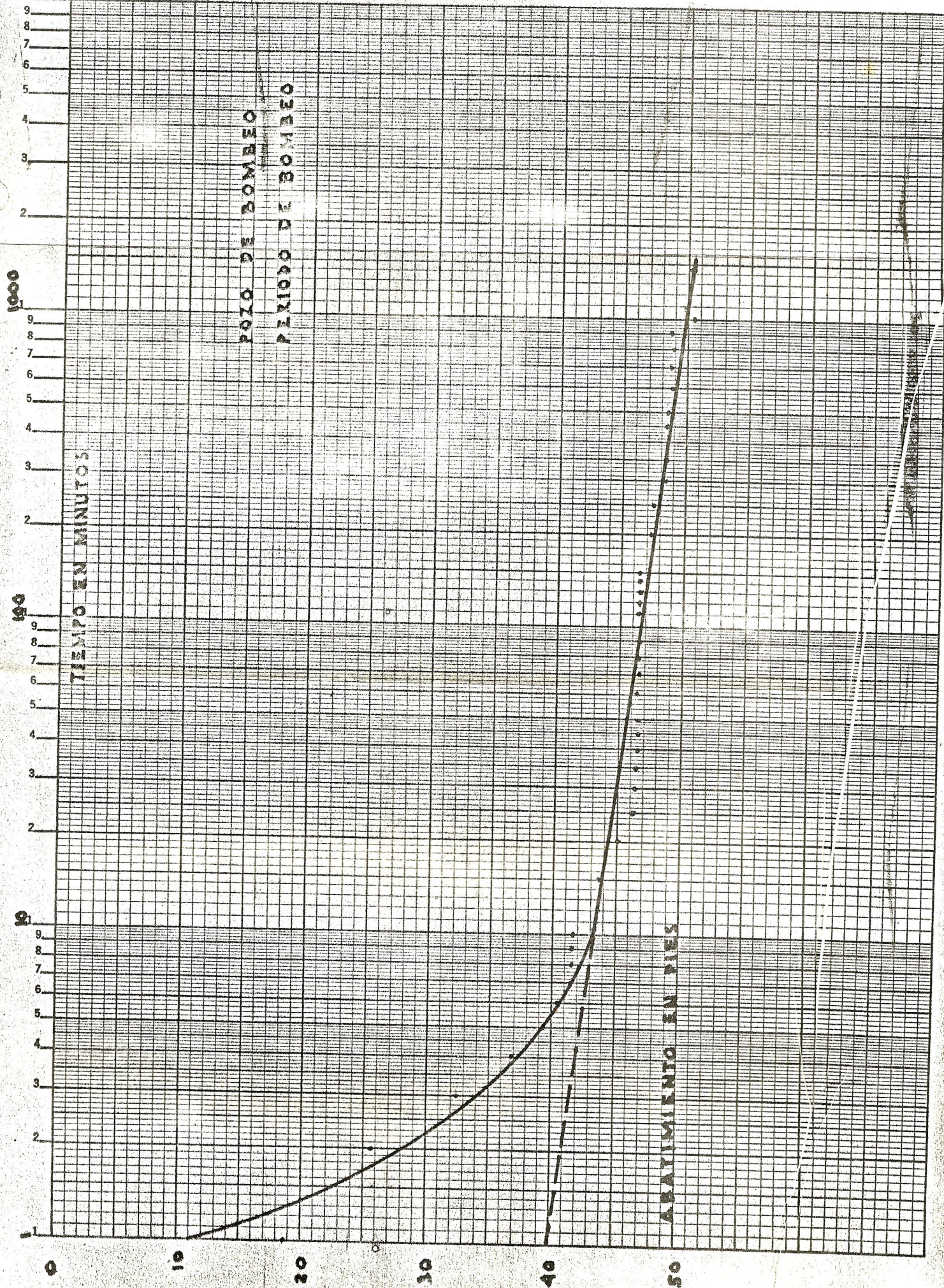


POZO DE OBSER-
VACION
PERICO DE BOMB

TIEMPO EN MINUTOS

ABATIMIENTO EN PIES

K+E SEMI-LOGARITHMIC 46 6010
4 CYCLES X 70 DIVISIONS
MADE IN U.S.A.
KEUFFEL & ESSER CO.



IV.- RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Resultados del estudio

- 1) Como se habló brevemente al ver el perfil geológico del pozo de bombeo y ver la coladera usada, supusimos que la eficiencia del pozo sería muy baja. Ahora al observar los datos obtenidos lo podemos confirmar, ya que el valor de S nos indica la ineficiencia del pozo por ser un valor alto.
- 2) De los datos sacados, se mira además que he obtenido transmisibilidades muy diferentes. Esto se debe a dos causas: a) La transmisibilidad del pozo bombeado debe ser mayor, ya que la obtenida es a través de datos falseados por la ineficiencia del pozo y b) la transmisibilidad del pozo de observación no es de confiar, esto debido a que el pozo no penetra todo el acuífero estudiado.
- 3) Otro resultado es que el acuífero es de tabla de agua o no-artesiano situado en dos materiales o formaciones geológicas de distinta transmisibilidad, siendo la formación donde está instalada la coladera del pozo bombeado la mejor.
- 4) Al ver el gráfico tiempo-abatimiento del pozo bombeado, se observa que en los primeros minutos baja en forma desusada, esto se debe a que en ese lapso se consume el agua del tubo y debi

do a la gran ineficiencia del pozo el nivel verdadero del acuífero se mantiene mas alto. Se estabiliza un poco el nivel dentro del pozo hasta llegar a la diferencia de niveles interior y exterior que compense la altura de pérdida de carga en la entrada de la coladera. Otra forma de notar esto es al observar el gráfico de distancia abatimiento que nos da para el pozo bombeado un abatimiento de 3.6 pies y que es similar a la diferencia de abatimientos entre los minutos 30 a 1440, o sea el abatimiento mas probable del acuífero estudiado.

Conclusiones

- 1) Se ve que el acuífero que se encuentra en la formación geológica de la Ciudad Universitaria es de buena transmisibilidad.
- 2) Se recomienda que si en el futuro fuese posible, se hagan nuevos pozos que llenen los requisitos técnicos adecuados, ya que los actuales no sirven para poder hacer un estudio bueno del acuífero.
- 3) A pesar de los datos obtenidos, si se puede decir que el acuífero podría ser suficiente para los requerimientos de agua de la Ciudad Universitaria y posiblemente aun para abastecer zonas aledañas.

Héctor Rolando Mora Gálvez

Vo. Bo.

Ing. Héctor Quezada
Asesor

I M P R I M A S E:

Ing. Amando Vides Tobar
Decano