

202 A
2. Gen.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**"PRUEBAS EN LA MESA HIDROLOGICA DEL
LABORATORIO DE HIDRAULICA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA"**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

RICARDO JESUS SPINOLA SEVILLA



UNAM

México, D. F.

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

| | PAG. |
|--|------|
| 1. INTRODUCCION. | 10 |
| 2. PRUEBAS GEOHIDROLOGICAS. | 13 |
| 2.1 Aspectos Generales. | 14 |
| 2.2 Descripción de las Pruebas. | 14 |
| 2.3 Descripción de Prácticas. | 16 |
| 3. PRUEBAS HIDROLOGICAS. | 22 |
| 3.1 Aspectos Generales. | 23 |
| 3.2 Descripción de las Pruebas. | 24 |
| 3.3 Descripción de las Prácticas. | 27 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. | 31 |
| 4.1 Conclusiones a Pruebas Geohidrológicas. | 32 |
| 4.2 Conclusiones a Pruebas Hidrológicas. | 34 |
| 4.3 Recomendaciones a Pruebas Geohidrológicas. | 37 |
| 4.4 Recomendaciones a Pruebas Hidrológicas. | 38 |
| TABLAS | 40 |
| FIGURAS | 47 |
| GRAFICAS. | 53 |
| BIBLIOGRAFIA | 71 |

A LA MEMORIA DE MI PADRE,
A MI MADRE Y HERMANOS.

CON CARINO A MIREN SURINE.

AL M. I. ARIEL FRIEDMANN
FREUNDLICH POR SU DIRECCION
Y APOYO EN LA REALIZACION
DE ESTA TESIS.

AL LABORATORIO DE HIDRAULICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL -
AUTONOMA DE MEXICO.

INTRODUCCION

1. INTRODUCCION.

El objetivo de esta tesis es mostrar la utilización de la mesa hidrológica del laboratorio de Hidráulica; encontrar las pruebas que se pueden hacer en ella; proponer prácticas para que sean impartidas en el laboratorio comparándolas con su teoría, o simplemente tener prácticas demostrativas.

El equipo que se utiliza para hacer todas las pruebas de esta tesis es un modelo hidrológico construido por Armfield-Ltd. y cuya descripción se encuentra en la figura 1. Con este modelo se puede tener flujo de agua por la cuenca misma al nivel deseado o por flujo de lluvia con aspersores que abarcan toda la cuenca, asimismo podemos extraer agua de la cuenca por medio de dos pozos de extracción o por medio de un vertedor en uno de los extremos de la cuenca. La mesa funciona con una pequeña bomba eléctrica y el agua que circula por ella se encuentra en un depósito de la misma mesa por lo que el agua se recircula y se filtra.

En el capítulo 2 que corresponde a Geohidrología se explican las 10 pruebas realizadas en el laboratorio con sus condiciones de frontera y datos iniciales. Luego se proponen siete prácticas que utilizan las pruebas hechas en la mesa hidrológica.

El capítulo que corresponde a Hidrología, al igual que al anterior explica las 14 pruebas hechas en la mesa hidrológica.

El último capítulo presenta las conclusiones logradas en cada capítulo, aunado se presentan las recomendaciones pertinentes para la correcta utilización del modelo durante las pruebas realizadas para la elaboración de esta tesis.

En la última parte de esta tesis se presentan las gráficas, tablas y figuras que conforman la información total obtenida en el laboratorio para la realización de las prácticas.

PRUEBAS GEOHIDROLOGICAS

2. PRUEBAS GEOHIDROLOGICAS.

2.1 Aspectos Generales.

Las pruebas Geohidrológicas fueron hechas en la mesa-hidrológica del laboratorio de hidráulica de la Facultad de Ingeniería, variando las condiciones de la cuenca por medio de los accesorios de la mesa. Los resultados de estas pruebas se encuentran en la tabla 4.

La mesa hidrológica fue preparada para las pruebas - Geohidrológicas con una arena bien graduada para construcción, más gruesa que la de las pruebas hidrológicas y cuya prueba de granulometría aparece en la tabla 3. Esta arena se encuentra - en el rango que marca las especificaciones del modelo, tabla 5.

Para las pruebas Geohidrológicas se utilizaron los - vertedores circulares (9-9'), cuya altura se puede variar para fijar un mismo nivel freático en la mesa o diferente si se de sea. El gasto que entra a la mesa (7) se mide con el rotáme--tro (3) y se regula con las válvulas de la mesa (5-5'). Para fines de extracción de agua de la mesa (7) se utilizaron los - pozos de extracción (8-8') y el vertedor de salida (10). Los gastos de salida se midieron con probeta y cronómetro.

El relieve de la mesa (7) se fue modificando según - la prueba, pero la pendiente permaneció constante y ésta fue - cero.

2.2 Descripción de las Pruebas.

De la tabla de pruebas hidrológicas, tabla 4, pode--mos observar 10 pruebas, las cuales se describen a continuación:

Prueba 1:

Esta prueba muestra el flujo de agua a través de la mesa, con 2 cargas diferentes en los extremos. El gasto que circula a través de la mesa o cuenca es de 0.9576 (lt/min). y las cargas en los extremos son $h_{\text{entrada}} = 131 \text{ mm}$ y $h_{\text{salida}} = 17 \text{ mm}$ (en los piezómetros 20 y 1 respectivamente).

Prueba 2:

Esta prueba aplica un gasto a la mesa por medio de los aspersores de lluvia (6) y el drenaje se efectúa por los extremos de la mesa con los vertedores circulares (9-9') en su posición mínima. El gasto de lluvia es de 8.1 (lt/min.).

Prueba 3:

Prueba que muestra el abatimiento del nivel freático debido a la extracción de agua por medio de un pozo (8). Se utilizó el pozo No. 1 con un gasto de 0.3717 (lt/min.).

Prueba 4:

Prueba similar a la prueba 3, pero con el uso del pozo No. 2 y un gasto de 0.4734 (lt/min.).

Prueba 5:

Prueba que muestra el perfil del agua debido a la extracción de agua con el uso de los dos pozos simultáneamente (pozo 1 y pozo 2) los gastos son 0.3717 (lt/min.) y 0.4734 (lt/min) respectivamente.

Prueba 6:

Esta prueba muestra el perfil del agua en la mesa (7) bajo el efecto de la extracción de agua con un pozo (pozo-1) y donde se encuentra, en la superficie, un cajón rectangular cerrado cuyo eje coincide con el eje mayor de la mesa (7).

El gasto en el pozo es de 3.1 (lt/min.). Ver figura 3.

Prueba 7:

Esta prueba es similar a la prueba 6, pero el cajón-rectangular cerrado está colocado con el eje mayor normal al eje mayor de la mesa. Ver figura 4. El gasto es de 3.1 (lt/min). y se utiliza el pozo 1.

Prueba 8,

La prueba contempla el uso de un pozo (pozo 1), para abatir el nivel freático, que se había hecho constante con el uso de los vertedores circulares (9-9'), de un cajón cuadrado-de cimentación. El gasto es de 2.37 (lt/min).

Prueba 9:

Es similar a la prueba 8, pero con el uso de un pozo más (pozo 2). Los gastos son: del pozo 1, 2.37 y del pozo 2, - 1.86 (lt/min.).

Prueba 10:

Esta prueba simula una pequeña isla de 50 cm de diámetro y 5 cm de altura (sobre el perfil del agua original) a la cual se le extrae por medio de un pozo que se encuentra en el centro de ésta, un gasto de 11.03 (lt/min.).

2.3 Descripción de Prácticas.

Práctica 1

En base a la prueba 10 hecha en el laboratorio, se propone una práctica para obtener la permeabilidad del material que constituye la cuenca. La permeabilidad del material se obtiene a partir de la ecuación de Thiem para flujo radial no - confinado.

$$K = \frac{Q_0 L_N \frac{r_2}{r_1}}{\pi(h_2^2 - h_1^2)}$$

donde:

Q_0 = Gasto del pozo de extracción.

r_1, r_2 = Distancia del -- centro del pozo al piezómetro 1, 2.

h_1, h_2 = Carga piezométrica 1, 2.

K = Permeabilidad.

Esta ecuación considera la extracción de agua por medio de un pozo y la formación, por tanto, de un cono de abatimiento. Fig. 5. En base a esto, se puede calcular la permeabilidad del material.

Los piezómetros que se utilizan para calcular la permeabilidad son los que rodean al pozo hasta un radio no mayor a 30 cm., y estos son: (según el plano de piezómetros Fig. 1): 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

Utilizando la prueba 10, calcularemos la permeabilidad de la arena de la mesa para pruebas Geohidrológicas.

Datos:

$$Q_0 = 183.84 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$r_1 = 10; r_2 = 20 \text{ (cm.)}$$

$$h_1 = 10.6 \text{ cm (piezómetro 8)}$$

$$h_2 = 14.8 \text{ cm (piezómetro 7)}$$

$K = 0.3802 \text{ cm/seg.}$ Permeabilidad calculada.

Práctica 2

Esta práctica se puede realizar igual a la práctica-1, pero sin la necesidad de hacer una isla, solamente dejando el relieve liso y sin pendiente. Las pruebas 3 y 4, demuestran el caso en el que se puede obtener la permeabilidad en base a la extracción de un pozo.

Práctica 3

Esta práctica propone la extracción de agua de un cajón de cimentación por medio de uno y dos pozos respectivamente, localizados fuera del cajón de cimentación. Ver figura 6.

La prueba 8 muestra el caso de un solo pozo y la prueba 9 el uso de dos pozos. Ver figura 7. En la gráfica 10 se muestran las pruebas 8 y 9.

Práctica 4

En base a la prueba 2 realizada en el laboratorio, se propone una práctica para observar el perfil del agua dentro de la mesa debido a una lluvia constante. Las condiciones de frontera se dan con los vertedores circulares (9-9') en su nivel más bajo. En la gráfica 11 se puede observar el perfil obtenido en el laboratorio.

Práctica 5

En base a las pruebas 3, 4 y 5, se propone una práctica en la que se puede observar la influencia de dos pozos de extracción conjuntamente a la teoría de superposición de efectos.

La representación de los efectos para cada pozo por separado y el uso de ambos simultáneamente se muestra en la gráfica 12. La comparación del perfil debido a la influencia de los dos pozos, hecha en el laboratorio, con el calculado por superposición se muestra en la gráfica 13. Los resultados obtenidos en el laboratorio y los calculados analíticamente se muestran en la tabla 6.

Práctica 6

Esta práctica pretende mostrar el perfil del flujo de agua a través de la mesa o cuenca debido a dos cargas constantes en los extremos, pero diferentes.

La prueba 1, muestra este caso y se representa en la gráfica 14.

El perfil se puede calcular analíticamente con la siguiente ecuación:

$$h^2 = \frac{h_2^2 - h_1^2}{l} X + h_1^2$$

donde:

h_1 = Carga en la entrada

h_2 = Carga en la salida.

l = Longitud entre las cargas h_1 y h_2 (medida horizontalmente)

X = Abscisa

h = Ordenada.

Una tercera forma de obtener el perfil es ajustando los datos que se tienen del laboratorio por mínimos cuadrados para obtener una ecuación del tipo $y^2 = a x + b$. En nuestro caso

y en base a la prueba 1, se obtuvo $a = -0.933733744$
 $b = 174.0663244.$

Los resultados de laboratorio analíticos y de ajuste se muestran en la tabla 7. La comparación de estos tres resultados se muestra en la gráfica 14.

La permeabilidad del material que constituye la cuenca, puede ser obtenida en base a la siguiente expresión:

$$K = \frac{2 q l}{h_1^2 - h_2^2}$$

donde:

q = Gasto unitario entre -
las dos cargas.

l = Longitud entre las car-
gas h_1 y h_2 (medida ho
rizontalmente)

h_1 = Carga en la entrada

h_2 = Carga en la salida

K = Permeabilidad.

Para nuestro caso y en base a la prueba 1, tenemos:

$q = 0.1596 \text{ cm}^2/\text{seg.}$

$l = 200 \text{ cm.}$

$h_1 = 13.1 \text{ cm.}, h_2 = 1.7 \text{ cm.}$

$K = 0.3784 \text{ cm /seg.}$

Práctica 7.

En base a la prueba 7, se propone una práctica que -
muestre el efecto de la subpresión debajo de un cajón cerrado-
de cimentación por el efecto de la extracción de agua por un -
pozo justo debajo del cajón, en un acuífero confinado.

Los resultados de la prueba 7, se encuentran en la gráfica 15. El cálculo teórico del perfil del agua se hace - en base a la siguiente expresión:

$$S = \frac{Q_0}{2\pi KH} L_N \frac{R_0}{r}$$

donde:

- Q_0 = Gasto del pozo.
- K = Permeabilidad del material.
- H = Espesor del estrato.
- R_0 = 1.27 L, pero 2L = ancho del cajón.
- r = Radio desde el pozo.
- s = Decremento o incremento del nivel original.

PRUEBAS HIDROLOGICAS

3. PRUEBAS HIDROLOGICAS.

3.1 Aspectos Generales.

Las pruebas hidrológicas fueron hechas en la mesa hidrológica del laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, variando tiempos y gastos de lluvia para visualizar los efectos en los hidrogramas de salida correspondientes. Los resultados de las pruebas de este capítulo se encuentran en la tabla 2.

La mesa hidrológica se preparó con una arena sílica bien graduada, parecida a la arena de mar cuya prueba de granulometría aparece en la tabla 1 de esta tesis. Esta arena es más fina que la de las especificaciones del modelo del laboratorio para realizar pruebas de hidrología.

Las pruebas se realizaron con los aspersores (6) (ver elementos constitutivos de la mesa hidrológica Fig. 1) por donde sale la lluvia; el gasto de entrada se regula con la válvula de lluvia (4) y se mide con el rotámetro (3). Las válvulas de la mesa (5-5') permanecieron cerradas durante todas las pruebas. Los vertedores circulares (9-9') se colocaron al más alto nivel para que no influyeran en el gasto de salida. El gasto de salida se midió con el vertedor de salida (10) cada 5 segundos para conformar el hidrograma de salida correspondiente.

A la arena en la mesa se le dió una pendiente constante a lo largo de toda la cuenca con una regla que se apoya en 2 rieles en los extremos, éstos rieles se gradúan con la pendiente -

deseada. La sección de la regla también tiene una pendiente-transversal marcada como se muestra en la figura 2.

La pendiente longitudinal del cauce principal es de 1.31% y la transversal es de 0.20%.

En lo que respecta a la humedad de la arena, se saturó ésta antes de cada prueba y se dejó secar con un intervalo constante de 3 minutos, para que las condiciones iniciales fueran las mismas que todas las pruebas.

El área de la cuenca es de 2 m² y la longitud del cauce principal es de 2 m.

3.2 Descripción de las Pruebas.

De la tabla 2 de pruebas hidrológicas podemos observar 14 pruebas, las cuales se describen a continuación:

Prueba 1:

Está constituida por un gasto de lluvia de 11.8 [l/min] y una duración de 30 segundos. Las condiciones de la cuenca son normales, o sea, no hubo ningún accesorio que modificara las condiciones originales.

Prueba 2:

Es igual a la primera, pero con una duración de 60 segundos, el gasto es el mismo (11.8 [l/min]).

Prueba 3:

Es igual a la primera y a la segunda, pero con una duración de lluvia de 90 segundos.

Prueba 4:

La cuenca ha sido modificada con una presa en la parte de aguas abajo, justo donde termina la cuenca. El gasto

es de 11.8 [lt/min] y la duración es de 30 segundos.

Prueba 5:

Es igual a la cuarta prueba, pero con una duración de lluvia de 60 segundos.

Prueba 6:

Es igual a la cuarta y a la quinta pruebas, pero con una duración de lluvia de 90 segundos.

Prueba 7:

Prueba con un gasto de lluvia de 12.1 [lt/min] y duración de 30 segundos, bajo condiciones normales de la cuenca.

Prueba 8:

Prueba con un gasto de lluvia de 12.1 [lt/min] duración de lluvia de 30 segundos y con la mitad de la cuenca cubierta por una lona impermeable (mitad trasera).

Prueba 9:

Igual a la octava prueba, pero con la lona impermeable cubriendo la mitad delantera.

Prueba 10:

Es igual a la octava y a la novena pruebas, pero con la lona cubriendo la totalidad de la cuenca.

Prueba 11:

Prueba realizada con un gasto de lluvia de 10 [lt/min] y con una duración de 30 segundos, bajo condiciones normales de la cuenca.

Prueba 12:

Prueba realizada con un gasto de lluvia de 14 [lt/min] y una duración de 30 segundos, bajo condiciones normales de la cuenca.

Prueba 13:

Prueba realizada con un gasto de lluvia de 20 [l/min] y con una duración de 30 segundos, bajo condiciones normales de la cuenca.

Prueba 14:

Prueba que combina dos lluvias con el mismo gasto, $Q=10 \text{ [l/min]}$ y con la misma duración de 30 segundos, pero con un intervalo entre una y otra de 20 segundos, bajo condiciones normales de la cuenca.

3.3 Descripción de Prácticas.

Práctica 1:

En base a las pruebas 1, 2, y 3 realizadas en el laboratorio, se propone una práctica para observar el efecto del tiempo de lluvia con el gasto máximo observado. Ver gráfica 1.

Práctica 2:

Si observamos las pruebas 4, 5 y 6 que corresponden a hidrogramas con el uso de una presa en la cuenca, podemos -- proponer una práctica que muestre el efecto del tiempo de lluvia contra el gasto máximo, pero considerando la presa en la cuenca. Ver gráfica 2.

Práctica 3:

Tomando en cuenta las pruebas 1 y 4, se propone observar las diferencias en gastos máximos y tiempos de concentración en un hidrograma de una cuenca en condiciones normales y de una bajo los efectos de una presa para un tiempo de lluvia de 30 segundos. De la misma manera se pueden comparar los hidrogramas de las pruebas (2 y 5) y (3 y 6) para tiempos de -- lluvia de 60 y 90 segundos respectivamente. Ver gráficas 3, 4- y 5.

Práctica 4:

En base a las pruebas 7, 8, 9 y 10, se puede llegar a observar el efecto en el hidrograma de una cuenca impermeable. Se puede tener una cuenca parcialmente impermeable (mitad de -- lantera o mitad trasera); totalmente impermeable o la misma - cuenca con condiciones normales, pero con el mismo gasto y duración de lluvia. Ver gráfica 6.

Práctica 5:

Con las pruebas 11, 12 y 13, se puede implementar una práctica que demuestre los efectos de 3 lluvias con la misma duración y diferentes gastos de lluvia. Los hidrogramas pueden ser obtenidos en forma absoluta o en forma adimensional. Ver gráfica 7 en forma absoluta, ver gráfica 8 en forma adimensional.

Práctica 6:

Con la prueba 14 se puede implementar una práctica, donde se muestre el hidrograma de 2 lluvias con la misma duración y gasto y un intervalo dado de tiempo entre una y otra. Ver gráfica 9.

Práctica 7:

Se propone una práctica utilizando la prueba 1 (que nos muestra una lluvia con duración de 30 segundos y gasto de 11.8(lt/min), para que por un método teórico se obtenga el gasto pico y el tiempo de concentración de éste, con las mismas condiciones de la prueba 1.

Los resultados del laboratorio para la prueba 1, se presentan a continuación:

$$t_p = 40 \text{ seg.}$$

$$Q_{lab} = 0.133(1t/seg).$$

Método Teórico:

Método de Chow.

(Ref 1) El método de Chow fue deducido basándose en el concepto de hidrogramas unitarios e hidrogramas sintéticos. El desarrollo del método se presenta a continuación.

El gasto del pico del escurrimiento directo de una cuenca puede calcularse como sigue:

$$Q_m = AXYZ$$

donde:

A: Area drenada.

X: Factor de escurrimiento.

$$X = \frac{P_{eb}}{d}$$

Y: Factor climático.

Z: Factor de reducción del pico.

$$Z = f \left(\frac{d}{t_p} \right)$$

Calculando el gasto del pico tenemos que:

$$Q_m = AXYZ$$

$$\therefore A = (100) (200) = 20,000 \text{ cm}^2.$$

(Las dimensiones de la cuenca son 100 cm x 200 cm).

$$X = \frac{P_{eb}}{d}$$

de donde:

$$P_{eb} = \frac{\left[P - \frac{508}{N} + 5.08 \right]^2}{P + \frac{2,032}{N} - 20.32}$$

y donde:

$$P = \frac{Q \cdot d}{A}$$

P: Precipitación

Q: Gasto de la tormenta

d: Duración de la tormenta.

A: Area de la cuenca.

$$\therefore \frac{d}{t_p} = \frac{30}{25.79} = 1.163192$$

de la gráfica 16 tenemos $Z=0.70$

finalmente:

$$\begin{aligned} Q_m &= AXYZ \\ &= 20,000(0.004715)(1)(0.70) \end{aligned}$$

$$Q_m = 66,010 \text{ cm}^3/\text{seg} = 0.066 (1\text{t}/\text{seg}).$$

Tenemos ahora, que si la cuenca fuera completamente impermeable, el valor de N sería 100 por tanto calculando el Q_m para $N = 100$.

$$P_e = \frac{\left[0.2950 - \frac{508}{100} + 5.08\right]^2}{0.2950 + \frac{2,032}{100}} = 0.2950 \text{ cm.}$$

$$X = \frac{0.2950}{30} = 0.009833 \text{ cm}/\text{seg.}$$

$$Q_m = 20,000 (0.009833)(1)(0.70)$$

$$Q_m = 137.667 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$Q_m = 0.137 (1\text{t}/\text{seg}).$$

Utilizando este método se obtuvo un tiempo pico de 25.79 seg, pero este tiempo se mide a partir del centroide del hidrograma de entrada que es, en nuestro caso, 15 seg. por tanto:

$$t_p = 15 + 25.79 = 40.79 \text{ seg.}$$

El gasto para la condición de $N = 82$ resultó ser 0.066 (1t/seg.).

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones a pruebas Geohidrológicas

Práctica 1

Esta práctica se puede simplificar al caso de la práctica 2, en que no se tiene una isla, sino que el relieve es completamente liso y los resultados se convierten igual de verídicos en los dos casos.

Práctica 2

Como se ha visto, esta práctica es una simplificación de la práctica 1.

Práctica 3

Como se observa en la gráfica 10, el caso de un solo pozo no basta para la extracción total dentro del cajón de cimentación. Con el uso de los dos pozos simultáneamente se logra vaciar el cajón. Esta práctica es útil para ver un proceso constructivo en cimentaciones.

Práctica 4

En la gráfica 11, se puede ver el efecto de una lluvia constante en una cuenca y su correspondiente drenado hacia los extremos. Los niveles en los extremos no son los mismos, según se dedujo, porque los aspersores no tienen una distribución uniforme del gasto total de lluvia entre ellos mismos y por eso - al tener la válvula de regulación de lluvia cerca del piezómetro 20, implica que le llega más gasto que al piezómetro 1, - por efecto de pérdidas a lo largo de los tubos de los aspersores.

Los vertedores circulares (9-9') se mantuvieron a su nivel más bajo para que drenaran en igual forma a ambos lados.

Práctica 5

En esta práctica los resultados de superposición -- hechos en el laboratorio dieron muy parecidos a los calculados analíticamente. Ver gráficas 12 y 13. La variación máxima que se tuvo entre una curva y otra fue de 1 mm, lo cual podemos decir que se debe a la falta de precisión a medir visualmente los piezómetros.

Los niveles en los extremos se mantuvieron constantes e iguales para asegurar que se tuviera la misma carga a lo largo de toda la mesa o cuenca.

Práctica 6

En la gráfica 14 podemos observar las tres alternativas que se tomaron para el cálculo del perfil del agua debido a dos cargas distintas. Se puede observar que el perfil del laboratorio difiere hasta 5 mm del calculado en la zona donde se encuentra el piezómetro 2. Lo cual en realidad no es muy considerable ya que en las otras zonas se pegan bastante entre sí.

La curva obtenida con el ajuste por mínimos cuadrados de los datos del laboratorio es muy parecida a la del laboratorio, pero en la zona baja (piezómetro 1) se desliga totalmente de ésta para pasar a tomar valores negativos.

En esta práctica también se puede calcular la permeabilidad del material del que está constituido la cuenca, que como se puede ver al ser calculada por este método el resultado

es bastante cercano al calculado en la práctica 1.

Práctica 7

En base al perfil calculado con la expresión que aparece al describir la práctica 7, podemos ver en la gráfica 15 que éste se separa hasta 7 mm en la parte más cercana al pozo de extracción. Fue necesario colocar un contrapeso dentro del cajón para que éste no se levantara por flotación, se estima que deba ser un peso de 10 kg.

4.2 Conclusiones a pruebas Hidrológicas.

Práctica 1

Podemos observar a partir de los resultados del laboratorio en la gráfica 1, que los hidrogramas de salida muestran la misma trayectoria al iniciarse la lluvia y que se desprenden de ésta al terminarse el tiempo de lluvia.

El hidrograma de salida para un tiempo de 60 seg., no alcanza el mismo gasto máximo que el de 90 seg., por lo que no podemos concluir que una lluvia de 60 seg., es suficiente para llegar al gasto máximo que puede salir por la cuenca. Se ve también que la lluvia de 90 seg., logra a los 70 seg., de haberse iniciado ésta, el gasto máximo (0.20 (lt/seg.)) y se queda constante hasta que termina ésta a los 90 seg.

Práctica 2

Se puede observar en la gráfica 2, que los hidrogramas de salida para la cuenca con una presa tienen la misma trayectoria en la subida y que se separan de ésta un poco después de que terminó la lluvia (3 seg.) debido al amortiguamiento que ofrece la presa. Esto se ve claramente para los tiempos -

30 y 60 seg., donde continúan la trayectoria del siguiente tiempo (30, 60, 90 seg.).

El gasto máximo se logra para el tiempo de 90 seg., y es de 0.179 (lt/seg) que no alcanza al gasto de entrada $Q=0.1967$ (lt/seg), ésto se explica por el alargamiento o prolongación del hidrograma de salida para los 3 tiempos de lluvia debido al amortiguamiento que ofrece la presa dentro de la cuenca.

Práctica 3

Observando las gráficas 3, 4 y 5 se concluye que para el uso de una cuenca con presa se tendrá un gasto máximo menor al de una cuenca sin ésta. Viendo los resultados tenemos que:

| | N | O | R | M | A | L | P | R | E | S | A |
|--------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|---|---|---|
| t_{11} (s) | | 30 | 60 | 90 | 30 | 60 | 90 | | | | |
| $Q_{s'x}$ (lt/seg) | | 0.133 | 0.191 | 0.199 | 0.110 | 0.158 | 0.179 | | | | |
| t_p (s) | | 40 | 60 | 65 | 50 | 65 | 95 | | | | |

En lo que respecta a los hidrogramas de salida en cada caso (gráficas 3, 4 y 5) vemos que el de una cuenca con presa es más alargado que el de una normal y que es ahí donde se recupera el área que se perdió al principio. Esa área es el volumen de lluvia compensado. Los tiempos pico también cambian como lo podemos ver en la tabla superior.

Práctica 4

En la gráfica 6 se muestran los hidrograma de salida "Normal"; "Lona total"; "Lona adelante" y "Lona atrás". De donde se concluye que para el caso de lona total se tiene un

hidrograma que muestra un gasto máximo mayor a todos los demás y éste es lógico ya que el agua recorrió la cuenca en una forma muy rápida y sin interferencias. Comparando el hidrograma -- "Lona total" con "Normal" vemos que tuvo un gasto mayor y ocurrió antes que el normal. El hidrograma de "Lona Adelante" muestra un gasto menor al de "Lona atrás" y esto se debe a que el agua recorrió más rápido la cuenca desde aguas arriba por la ayuda de la lona atrás y la mitad aguas abajo tuvo que recorrer menor distancia, no así con la lona adelante en donde el agua, en la parte más alejada, no tuvo lona que le ayudara a recorrer la cuenca más rápido.

A pesar de tener cubierta la cuenca por la mitad solamente, se obtuvieron gastos máximos mayores y antes que en la condición de "normal". La tabla siguiente muestra en resumen los resultados.

| | NORMAL | LONA ATRAS | LONA ADELANTE | LONA TOTAL |
|----------------------------|--------|------------|---------------|------------|
| $Q_{\text{máx}}$ (lt/seg.) | 0.139 | 0.161 | 0.150 | 0.170 |
| t_{pico} (seg.) | 40 | 35 | 35 | 35 |

Práctica 5

En las gráficas 7 y 8 podemos observar que no hay una relación en los gastos máximos de salida, a pesar de que ocurren al mismo tiempo, los crecimientos no son lineales con respecto a la intensidad de lluvia, esto nos lleva a que no es válido superponer linealmente los gastos.

Práctica 6

En base a la gráfica 9 se observa que el hidrograma para dos lluvias iguales con duración de 30 seg., con un --

intervalo entre una y otra de 20 seg., es casi simétrico en las zonas de gasto máximo por lo que si tenemos un intervalo mayor de 30 seg., entre una y otra, es probable que el gasto máximo de la segunda lluvia sea igual al gasto máximo de la primera lluvia. Por el contrario si tenemos un intervalo menor de tiempo a 30 seg., el gasto máximo de la segunda lluvia será aún mayor a la primera lluvia y se acercará al gasto de entrada.

Práctica 7

Si comparamos los resultados obtenidos en la prueba-1 con los del método Chow, para las condiciones de la mesa hidrológica del laboratorio ($N=82$ que corresponde a un camino de tierra y que incluye arenas finas, limos orgánicos e inorgánicos, mezclas de arena y limo), vemos que difieren bastante excepto en el cálculo del tiempo pico. Esto se debe a que la -- cuenca en estudio es demasiado pequeña (2 m^2) en comparación -- de las cuencas en estudio de la referencia 1, y esto afecta al término Z de la ecuación para el cálculo de Q_m .

Los aspersores (6) no tienen un gasto igual y uniforme entre ellos y por tanto las consideraciones hechas en base al mismo gasto de lluvia en las diferentes secciones en la -- cuenca no son iguales.

4.3 Recomendaciones a pruebas Geohidrológicas.

Es muy importante revisar las mangueras de cada uno de los piezómetros y purgarlas para eliminar el aire dentro de ellas. Hay que revisar que no existan fugas en las mangueras.

Los gastos de salida se midieron con probeta y cronómetro, ya sea que fuera en los pozos (8-8') o en los vertedores

circulares (9-9'). Se recomienda hacer mínimo 3 mediciones -- del mismo gasto para verificar que el gasto es estable. Otra forma de saberlo es observando las cargas piezométricas, cuando estas no varían, entonces el flujo está estable.

Para fijar niveles en los extremos de la mesa, el -- mejor camino es utilizando los vertedores circulares (9-9'), -- y no regulando las válvulas de la mesa (5-5'), porque se tiene menos precisión al abrirlas. Se recomienda que los gastos que se tienen en cada válvula (5-5'), sean parecidos para que no -- afecten las pruebas con pozos de extracción.

Una recomendación muy importante es que en todas las pruebas no se tengan abatimientos de más del 25% del espesor -- del estrato o cuenca ya que esto puede implicar salirse de la -- teoría en el uso del modelo.

El agua del depósito (1) debe cambiarse en cuanto se note que contiene mucho polvo disuelto para que no interfiera -- en la bomba (2) y el rotámetro (3).

Las lecturas en los piezómetros tienen una tara de -- 6 mm que se tienen que restar al hacer los cálculos. A todas -- las pruebas se les ha restado ya la tara.

4.4 Recomendaciones a pruebas Hidrológicas.

A lo largo de la realización de las pruebas Hidroló -- gicas se observó que el uso del vertedor de salida (10) fue lo -- más eficaz para la recopilación de datos. Se tuvo que calibrar -- el vertedor por medio de la correcta colocación de las láminas -- en la salida.

En todos los casos el tiempo de comienzo de los hidrogramas $t=0$, se contó a partir de la salida de agua por los aspersores y no del momento de encendido de la bomba. Ya que el agua tarda en llegar a los aspersores por tener aire dentro de la tubería.

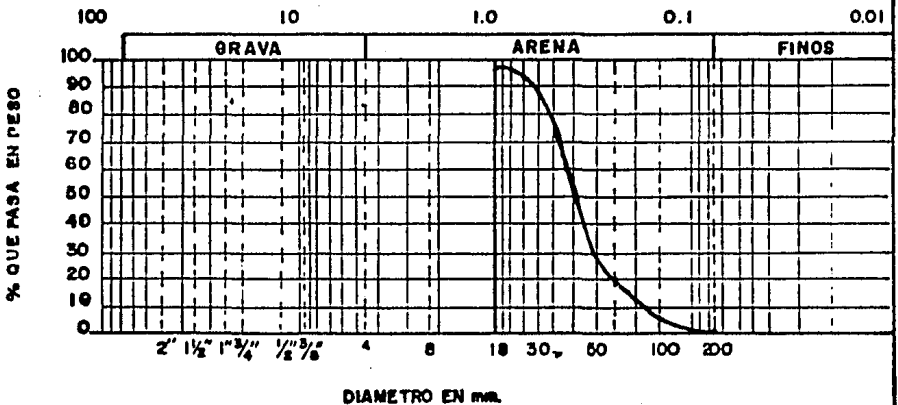
Los tiempos de espera para cada prueba (tiempo de se cado una vez que se había saturado el material) se hicieron de tres minutos ya que al hacer pruebas con otros tiempos (10 min) se vió que los resultados eran similares en los gastos de salida. Y para tiempos de esperas menores de 3 min., se vió que el material contenía demasiada agua.

TABLAS

GRANULOMETRIA POR MALLAS

| OBRA <u>Pruebas Hidrológicas</u> | | | | | PESO DE LA MUESTRA | | | | |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| LOCALIZACION _____ | | | | | RECIPIENTE No. <u>Para obtener el contenido de agua</u> | | | | |
| ENSAYE No. _____ SON DEO No. _____ | | | | | PESO RECIP ± SUELO HUMEDO (gr.) _____ | | | | |
| MUESTRA No. _____ PROF. _____ | | | | | PESO RECIP ± SUELO SECO (gr.) _____ | | | | |
| DESCRIPCION _____ | | | | | PESO AGUA (gr.) _____ | | | | |
| FECHA _____ | | | | | PESO RECIPIENTE (gr.) _____ | | | | |
| OPERADOR _____ | | | | | PESO MUESTRA SECA (gr.) _____ | | | | |
| CALCULO (3) (4) (5) | | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) (3) (4) (5) | | | | |
| Maila No. | Abertura m. m. | Paso o suelo retenido gr. | Por ciento reten. parcial % | Por ciento que pasa % | Maila No. | Abertura mm. | Paso o suelo retenido gr. | Por ciento reten. parcial % | Por ciento que pasa % |
| 2 ^a | 50.80 | | | | 8 | 2.38 | | | |
| 1 1/2 ^a | 36.10 | | | | 18 | 1.00 | 4.51 | 0.88 | 99.12 |
| 1 ^a | 25.40 | | | | 30 | 0.59 | 61.27 | 11.96 | 87.16 |
| 3/4 ^a | 19.05 | | | | 50 | 0.297 | 304.54 | 59.44 | 27.72 |
| 1/2 ^a | 12.70 | | | | 100 | 0.149 | 115.74 | 22.59 | 5.13 |
| 3/8 ^a | 9.52 | | | | 200 | 0.074 | 20.92 | 4.08 | 1.05 |
| No. 4 | 4.75 | | | | PASA 200 | | 5.39 | 1.05 | 0.0 |
| Paso No. 4 | | | | | SUMA | | 512.37 | 100.00 | 100.00 |
| SUMA | | | | | | | | | |

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $> 3 =$ _____ %
 $D_{30} =$ _____ $e =$ _____ %
 $D_{60} =$ _____ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $S =$ _____ %
 $F =$ _____ %

CLASIFICACION SUCS. _____

OBSERVACIONES _____

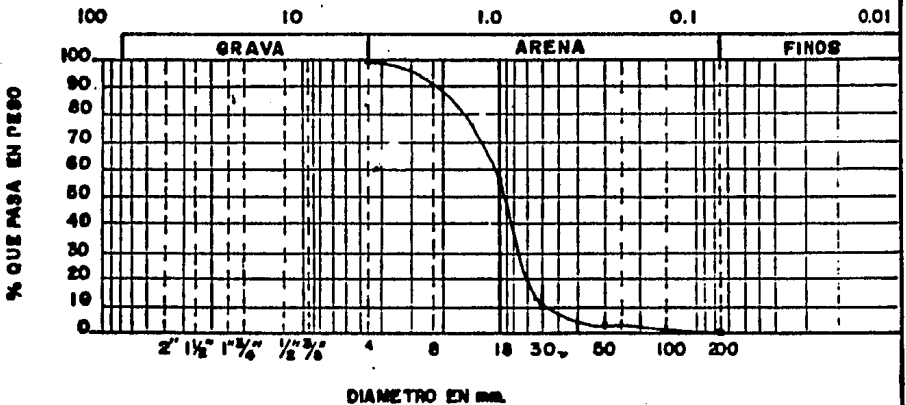
TABLA 3.
U. N. A. M.
FACULTAD DE INGENIERIA
G E O T E C N I A

FORMA No. 2

GRANULOMETRIA POR MALLAS

| LUGAR <u>Pruebas Geohidrológicas</u> | | | | | PESO DE LA MUESTRA _____ | | | | |
|---|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|-----------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| LOCALIZACION _____ | | | | | RECIPIENTE No. <u>Para obtener el contenido de agua</u> | | | | |
| ENSAYE No. _____ SON DEO No. _____ | | | | | PESORECIP ± SUELO HUMEDO (gr.) _____ | | | | |
| MUESTRA No. _____ PROF. _____ | | | | | PESO RECIP ± SUELO SECO (gr.) _____ | | | | |
| DESCRIPCION _____ | | | | | PESO AGUA (gr.) _____ | | | | |
| FECHA _____ | | | | | PESO RECIPIENTE (gr.) _____ | | | | |
| OPERADOR _____ | | | | | PESO MUESTRA SECA (gr.) _____ | | | | |
| CALCULO _____ (3) _____ (4) _____ (5) _____ | | | | | CONTENIDO DE HUMEDAD (%) (3) _____ (4) _____ (5) _____ | | | | |
| Malla No. | Abertura mm. | Peso suelo retenido gr. | Por ciento reten. parcial % | Por ciento que pasa % | Malla No. | Abertura mm. | Peso suelo retenido gr. | Por ciento reten. parcial % | Por ciento que pasa % |
| 2" | 50.80 | | | | 8 | 2.38 | 91.38 | 9.12 | 90.08 |
| 1 1/2" | 36.10 | | | | 18 | 1.00 | 338.68 | 33.80 | 56.88 |
| 1" | 25.40 | | | | 30 | 0.59 | 468.94 | 46.81 | 10.07 |
| 3/4" | 19.05 | | | | 50 | 0.297 | 67.31 | 6.72 | 3.35 |
| 1/2" | 12.70 | | | | 100 | 0.149 | 24.59 | 2.45 | 0.90 |
| 3/8" | 9.52 | | | | 200 | 0.074 | 5.99 | 0.60 | 0.30 |
| No. 4 | 4.75 | 2.03 | 0.20 | 99.80 | PASA 800 | | 2.97 | 0.30 | 0.00 |
| Peso No. 4 | | | | | SUMA | | 1001.89 | 100.0 | 100.0 |
| SUMA | | | | | | | | | |

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



DIAMETRO EN mm.

$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $> 3'' =$ _____ %
 $D_{30} =$ _____ $D_{60} =$ _____ $6 =$ _____ %
 $D_{80} =$ _____ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $5 =$ _____ %
 $F =$ _____ %

CLASIFICACION SUCS. _____

OBSERVACIONES _____

| piez.n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 | 17 | 28 | 116 | 116 | 116 | 183 | 175 | 134 | 132 | 178 |
| 2 | 39 | 74 | 115 | 112 | 110 | 182 | 174 | 124 | 116 | 176 |
| 3 | 58 | 104 | 112 | 106 | 102 | 182 | 174 | 111 | 94 | 170 |
| 4 | 66 | 115 | 111 | 101 | 96 | 181 | 173 | 104 | 74 | 169 |
| 5 | 78 | 127 | 109 | 100 | 93 | 181 | 173 | 94 | 64 | 169 |
| 6 | 83 | 130 | 108 | 103 | 94 | 180 | 172 | 92 | 76 | 168 |
| 7 | 86 | 131 | 106 | 105 | 96 | 177 | 170 | 91 | 79 | 167 |
| 8 | 93 | 131 | 104 | 106 | 95 | 173 | 163 | 89 | 78 | 148 |
| 9 | 100 | 128 | 102 | 107 | 94 | 167 | 146 | 76 | 70 | 106 |
| 10 | 100 | 126 | 106 | 108 | 99 | 179 | 168 | 93 | 92 | 166 |
| 11 | 103 | 126 | 104 | 108 | 97 | 176 | 162 | 88 | 86 | 148 |
| 12 | 104 | 125 | 102 | 108 | 94 | 158 | 146 | 73 | 74 | 107 |
| 13 | 104 | 126 | 102 | 108 | 94 | 168 | 147 | 74 | 76 | 108 |
| 14 | 104 | 128 | 104 | 109 | 98 | 176 | 162 | 90 | 88 | 149 |
| 15 | 104 | 128 | 106 | 110 | 100 | 179 | 168 | 94 | 92 | 167 |
| 16 | 109 | 120 | 102 | 110 | 96 | 168 | 148 | 75 | 82 | 109 |
| 17 | 112 | 113 | 106 | 111 | 101 | 174 | 162 | 92 | 96 | 148 |
| 18 | 118 | 104 | 109 | 112 | 104 | 178 | 170 | 104 | 106 | 167 |
| 19 | 128 | 81 | 112 | 114 | 110 | 182 | 174 | 118 | 120 | 170 |
| 20 | 131 | 36 | 115 | 116 | 115 | 183 | 175 | 134 | 134 | 178 |
| Q [m³/s] | 15.96 | 135.0 | 6.19 | 7.89 | 14.08 | 51.66 | 51.66 | 31.04 | 39.44 | 183.84 |

{mm}

TABLA 4 . PRUEBAS GEOHIDROLOGICAS.

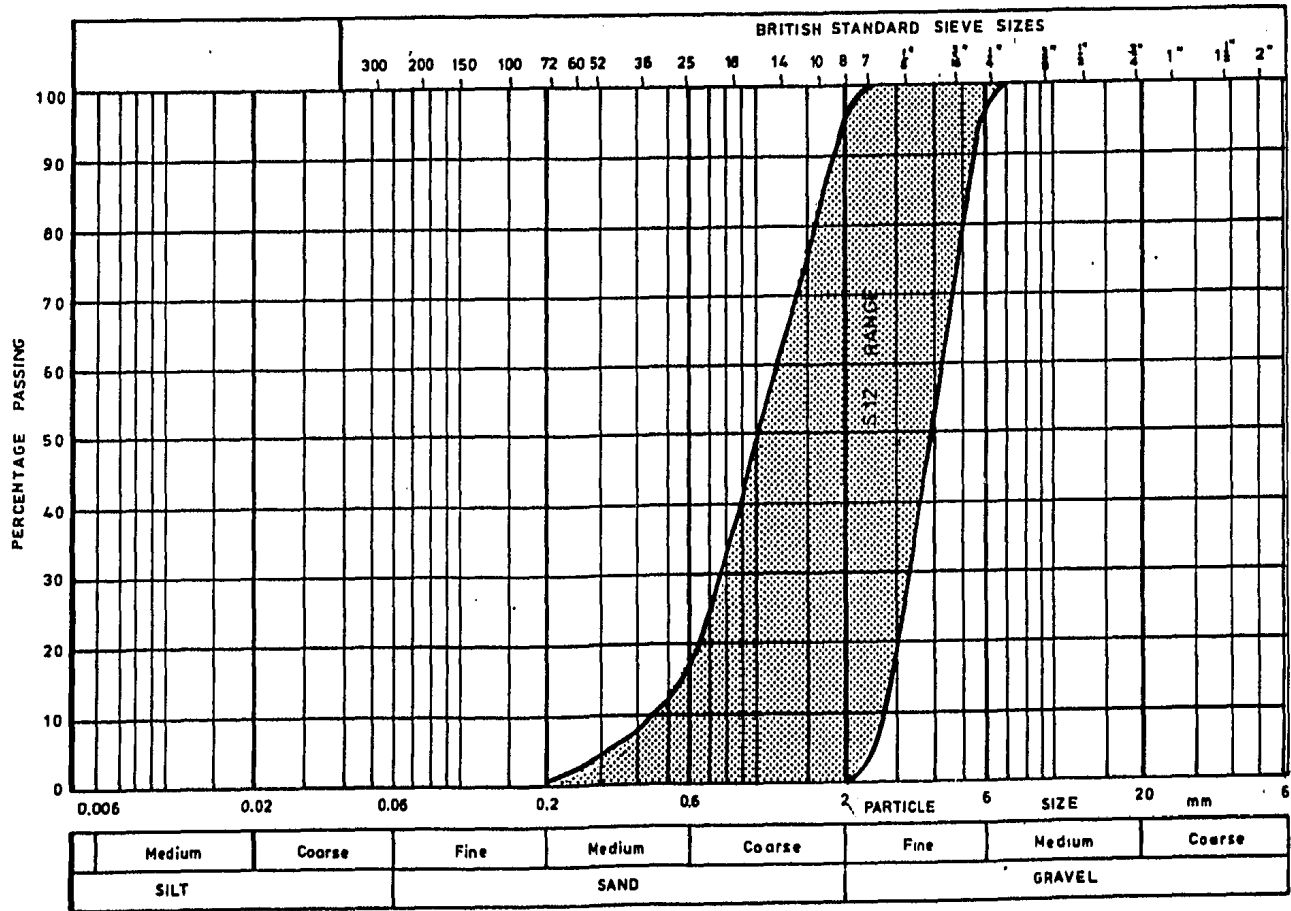


Table 5

SAND SIZE GRADING CURVES FOR S 12.

T A B L A 6

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Piezómetro | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| $h_{\text{laboratorio}}$ | 122 | 116 | 108 | 102 | 99 | 100 | 102 | 101 | 100 | 105 | 103 | 100 | 100 | 104 | 106 | 102 | 107 | 110 | 116 | 121 |
| $h_{\text{calculada}}$ | 122 | 117 | 108 | 102 | 99 | 101 | 101 | 101 | 100 | 99 | 104 | 102 | 100 | 100 | 103 | 102 | 107 | 111 | 116 | 121 |

T A B L A 7

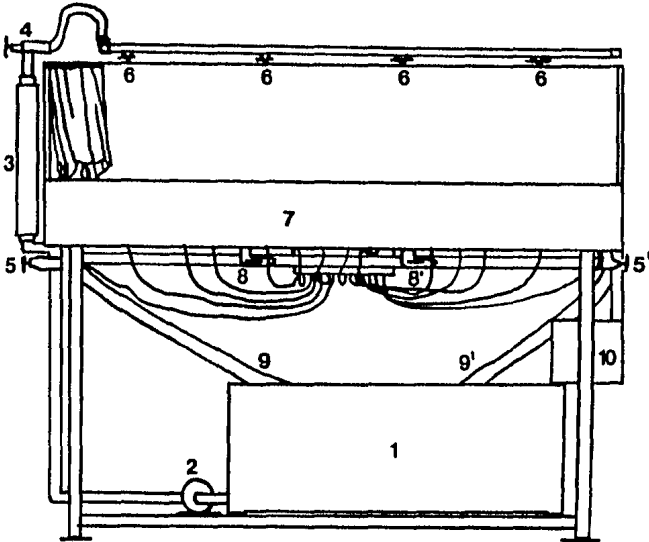
[mm]

| Piezómetro | $h_{\text{laboratorio}}$ | $h_{\text{calculada}}$ | h_{ajuste} |
|------------|--------------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | 17 | 17 | 3.3 |
| 2 | 39 | 45 | 39.2 |
| 3 | 58 | 62 | 58.3 |
| 4 | 66 | 68.8 | 65.8 |
| 5 | 78 | 80.7 | 78.8 |
| 6 | 83 | 86.0 | 84.5 |
| 7 | 86 | 91.0 | 89.8 |
| 8 | 93 | 95.8 | 94.9 |
| 9 | 100 | 100.3 | 99.7 |
| 16 | 109 | 108.8 | 108.6 |
| 17 | 112 | 112.8 | 112.9 |
| 18 | 118 | 116.7 | 116.9 |
| 19 | 128 | 124.0 | 124.7 |
| 20 | 131 | 131.0 | 131.9 |

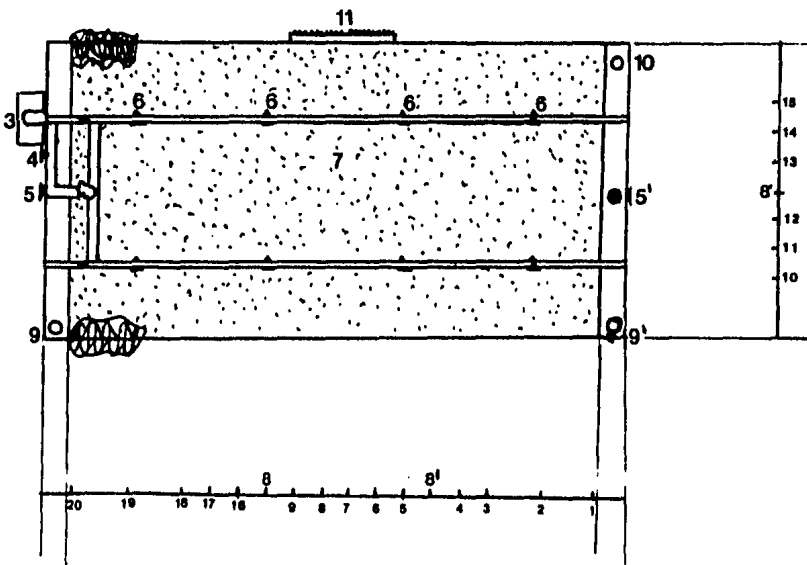
FIGURAS

FIGURA 1

ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LA MESA HIDROLOGICA.



- | | | |
|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 1. Tanque de depósito | 2. Bomba | 3. Rotámetro (lt/min) |
| 4. Válvula lluvia | 5-5' Válvulas de la mesa | 6. Aspersores de lluvia |
| 7. Mesa (cuenca) | 8-8' Pozos de extracción | 9-9' Vertedores circulares |
| 10. Vertedor de salida | | 11. Tablero de piezómetro. |



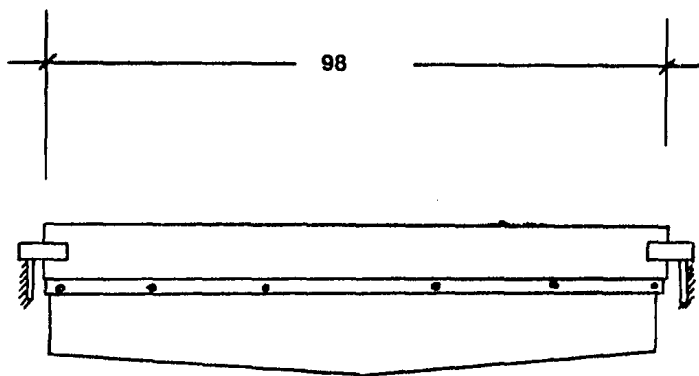


FIGURA 2

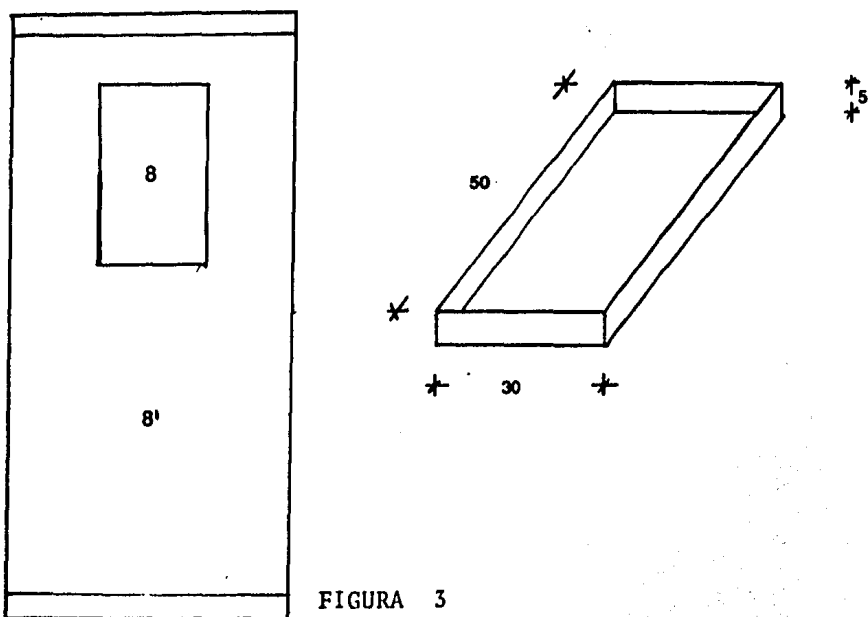


FIGURA 3

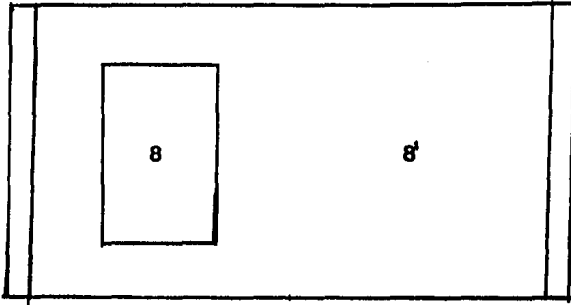


FIGURA 4

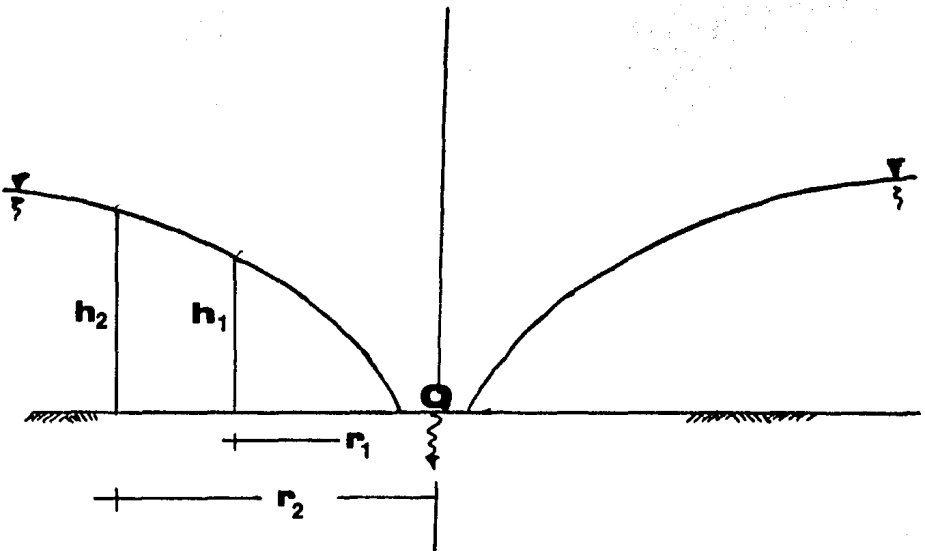


FIGURA 5

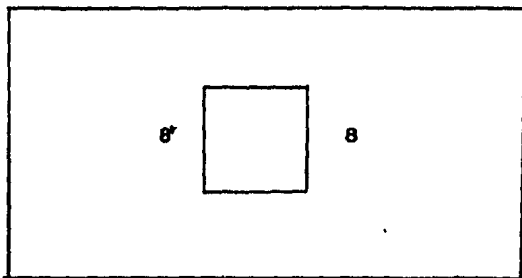
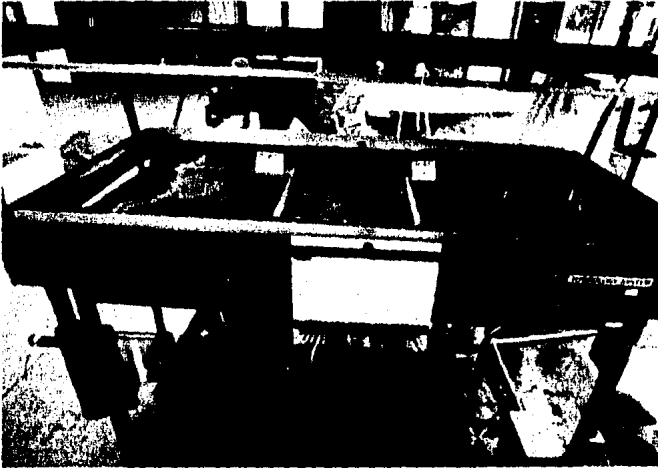


FIGURA 6



FOTOGRAFIA PRACTICA 3
GEOHIDROLOGIA.



FOTOGRAFIA PRACTICA 3
GEOHIDROLOGIA.

GRAFICAS

0.75

0.50

0.25

0.125

0.0625

0.03125

0.015625

0.0078125

0.00390625

0.001953125

0.0009765625

0.00048828125

0.000244140625

0.0001220703125

0

10

20

30

40

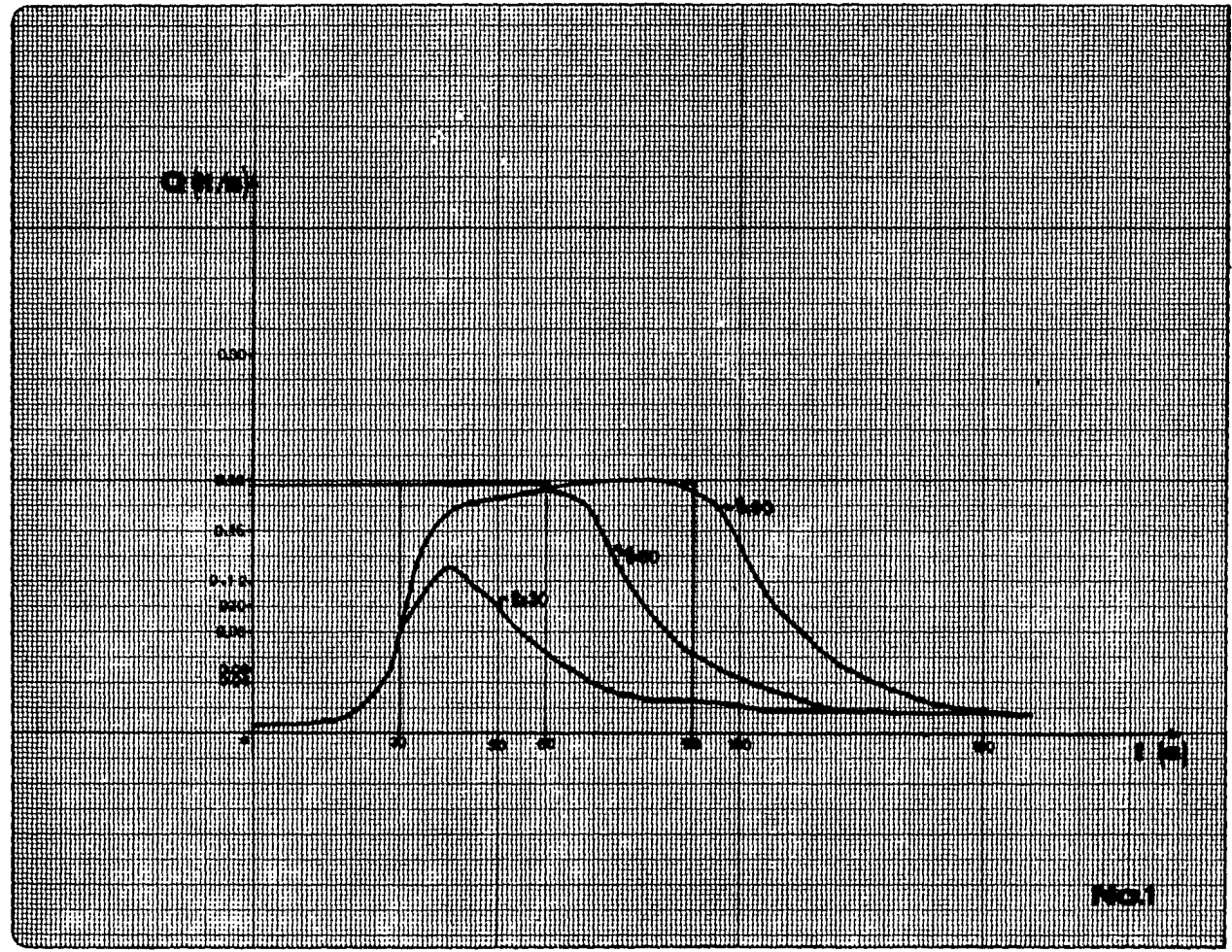
50

60

70

80

No. 1



$Q (V/m)$

0.20

0.14

0.18

0.12

0.10

0.08

0.04

0

20

30

60

90

100

120

150

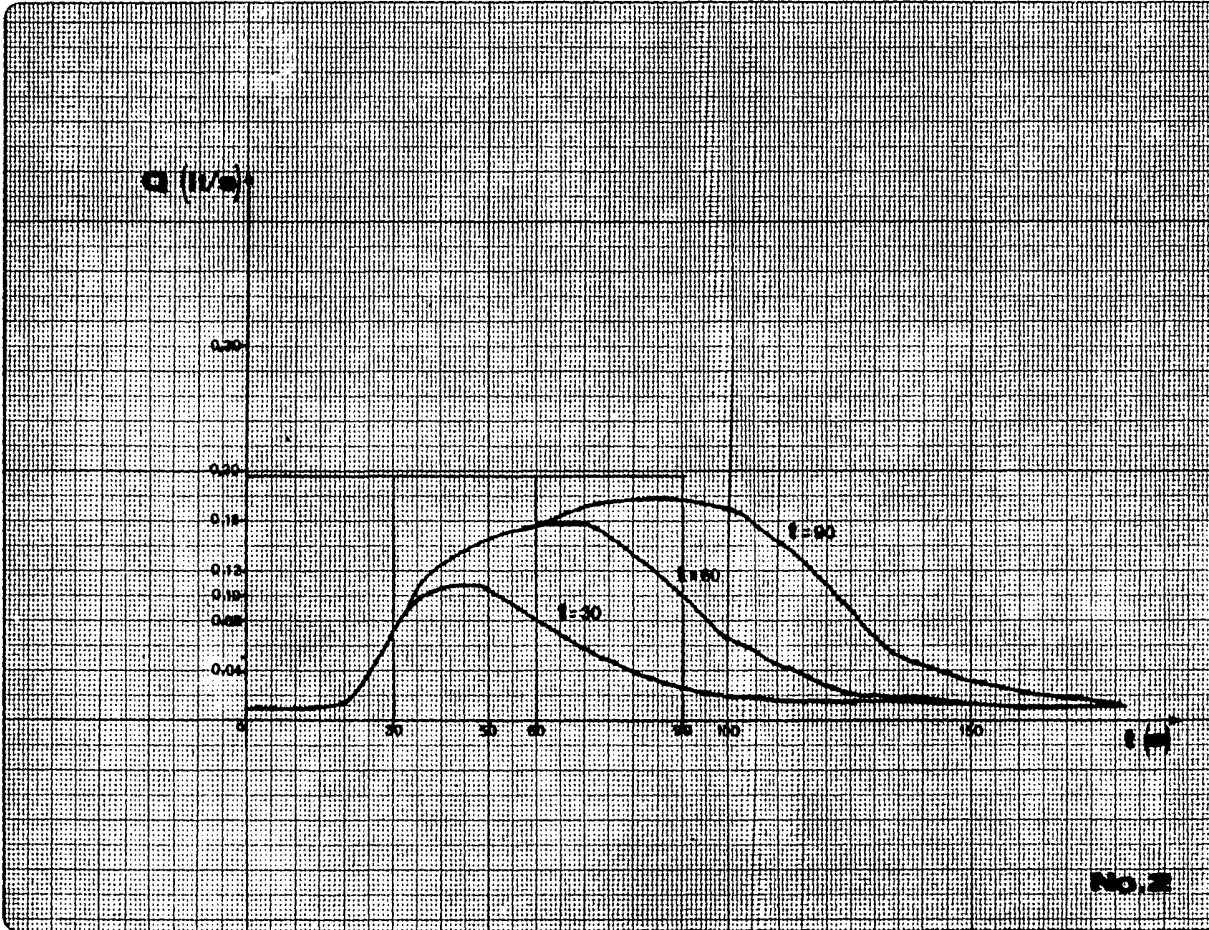
$l (m)$

$t=00$

$t=30$

$t=60$

No. 2



Q (w/d)

0.00

0.00

0.16

0.12

0.10

0.08

0.04

0.00

0

30

60

90

120

150

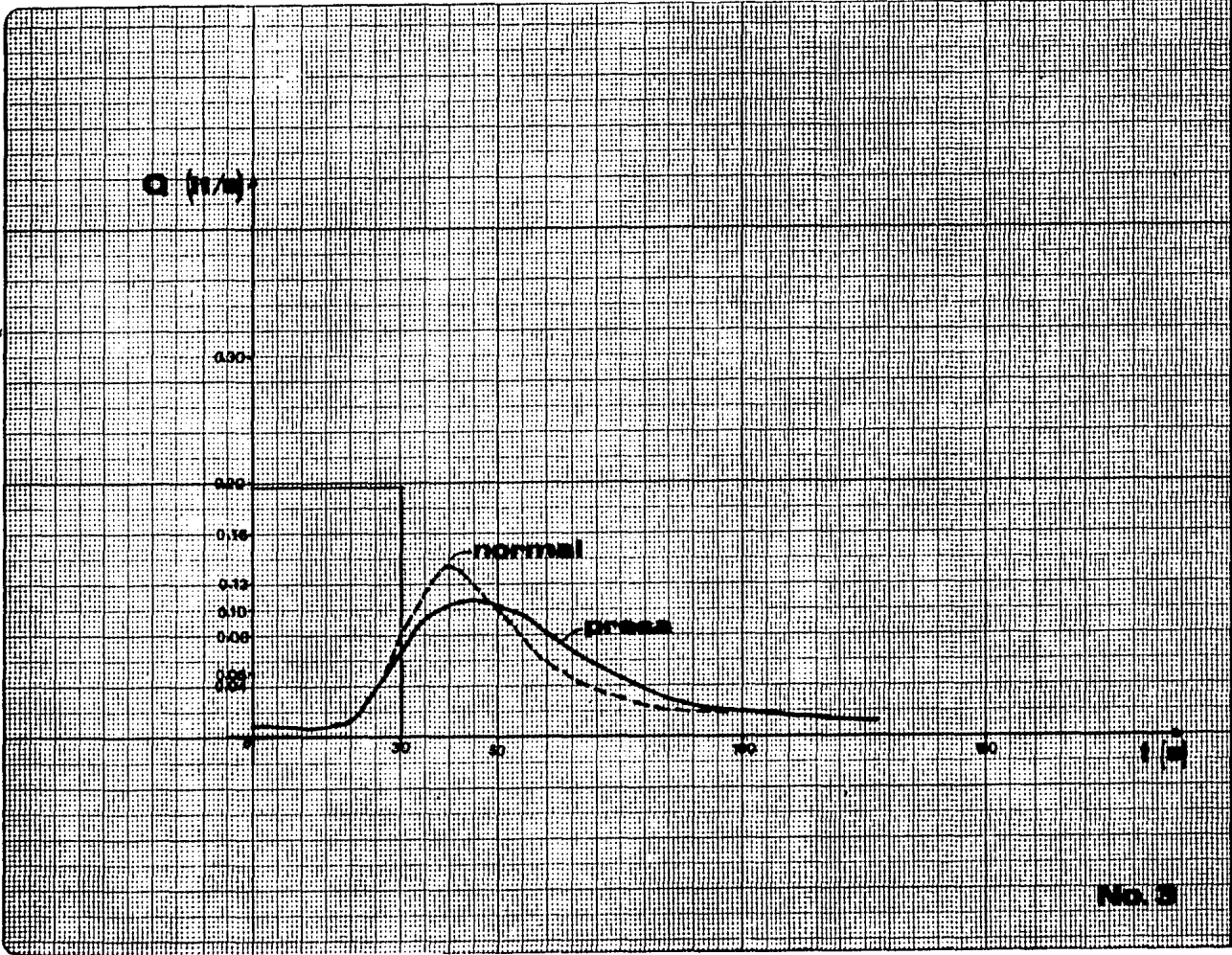
180

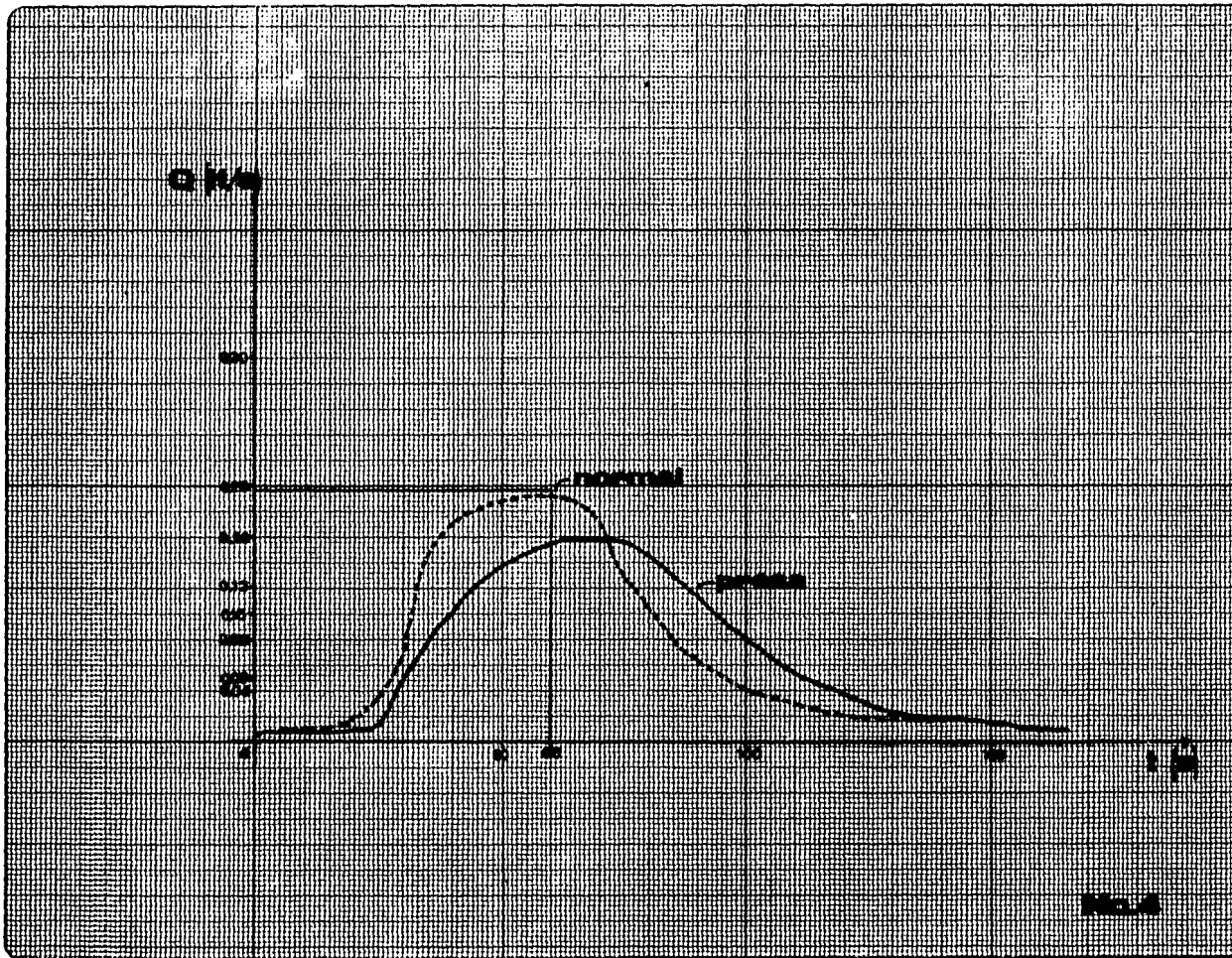
Q

normal

press

No. 3





Q (K/S)

0.20

0.20

0.16

0.12

0.10

0.06

0.04

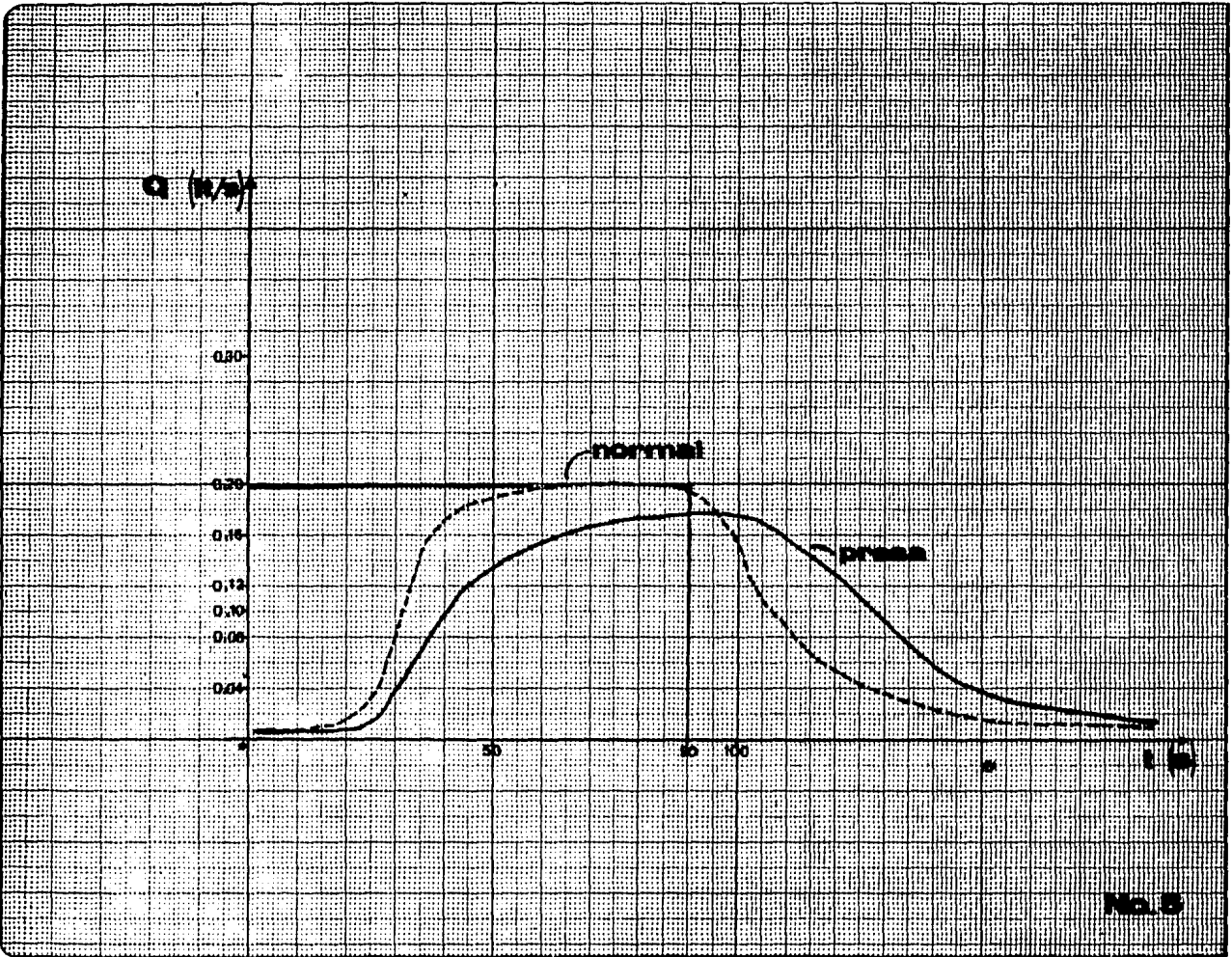
50

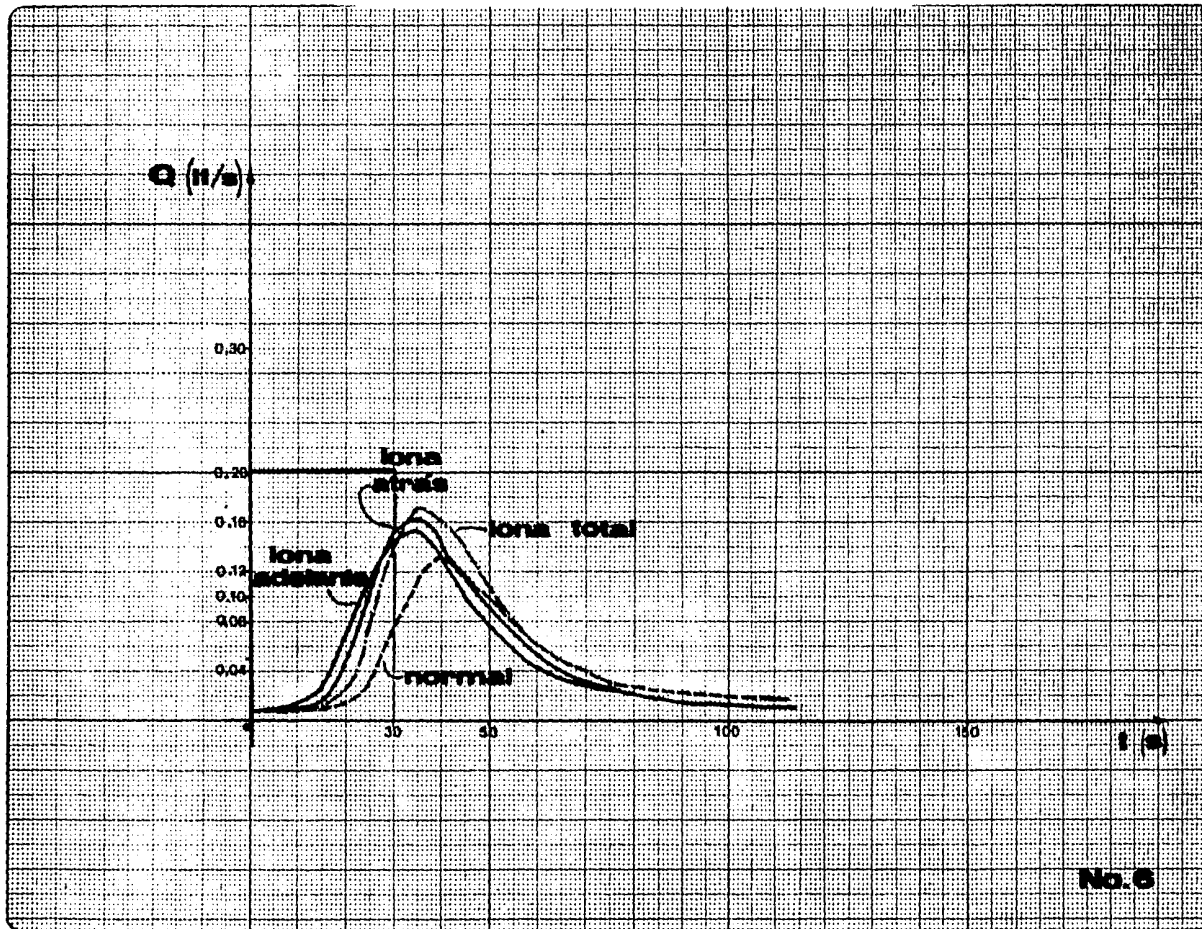
100

normal

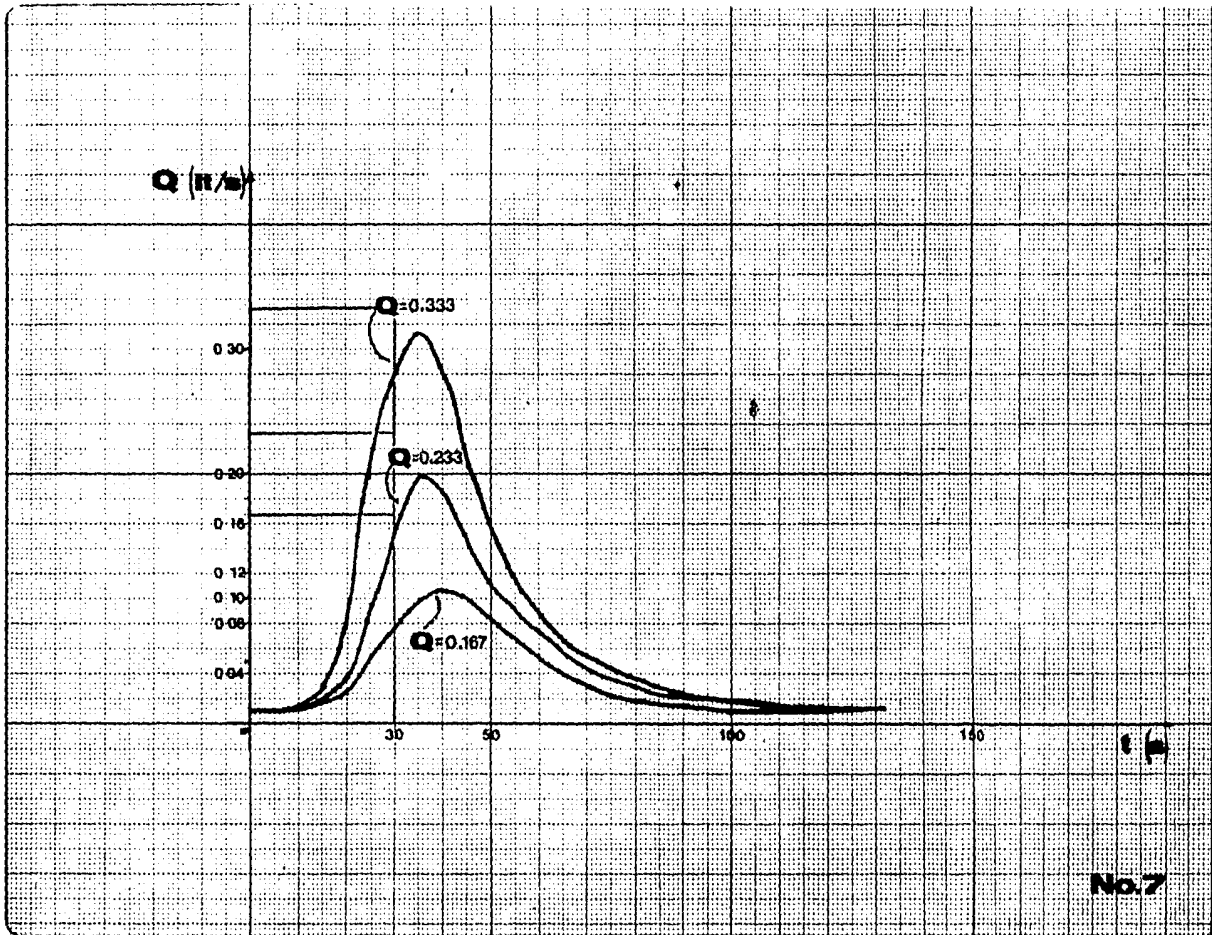
press

No. 5

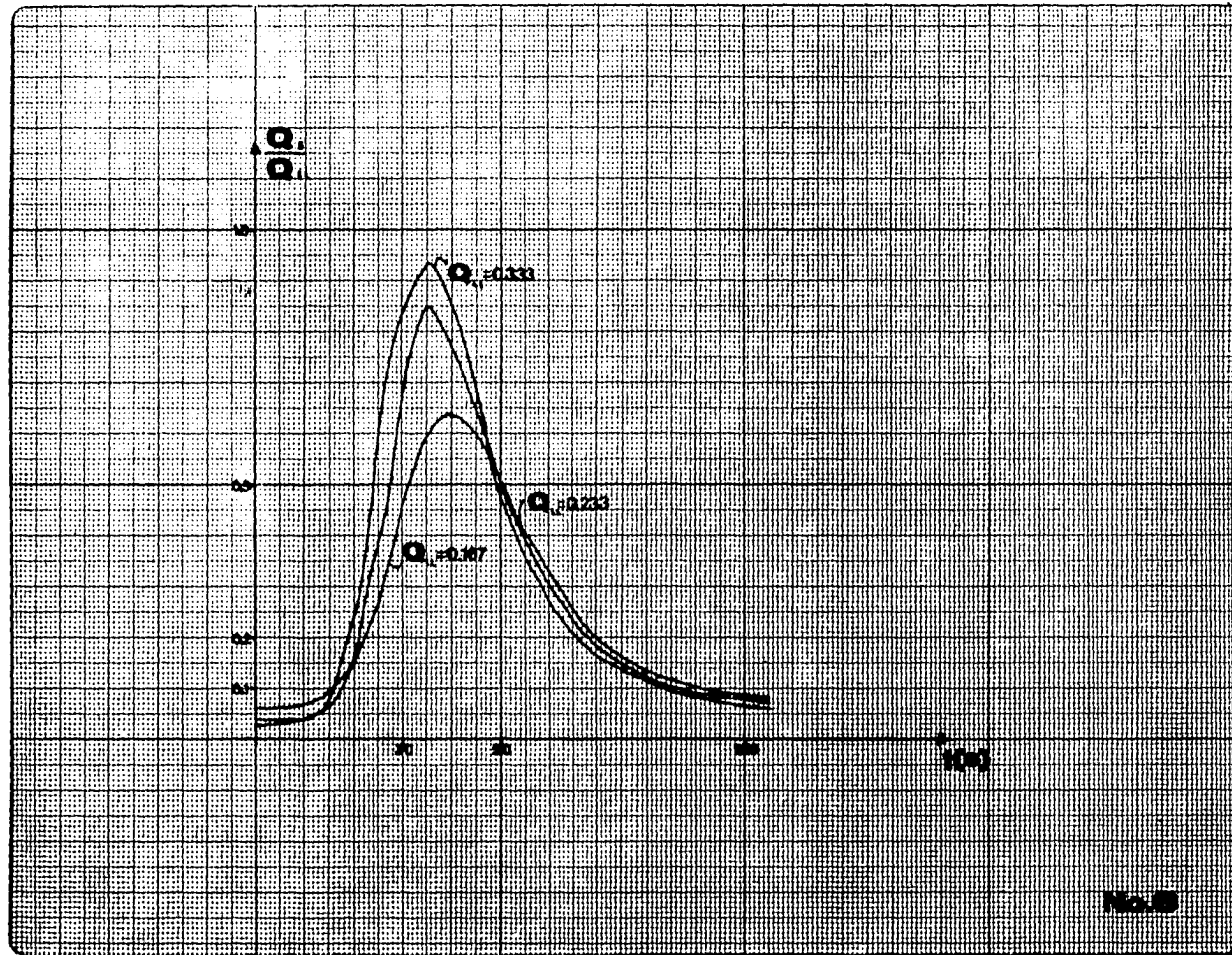




No. 6

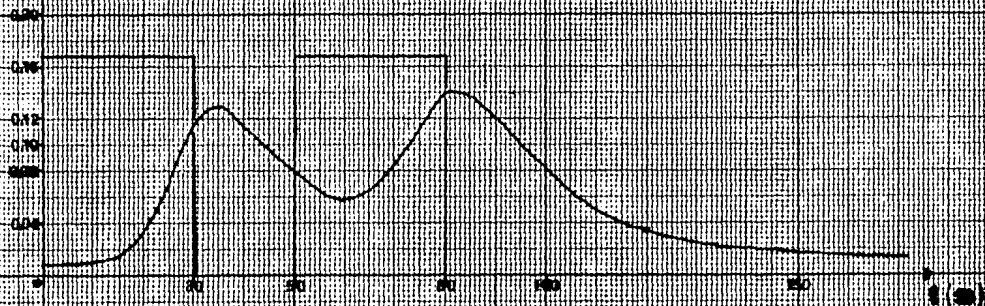


No. 7

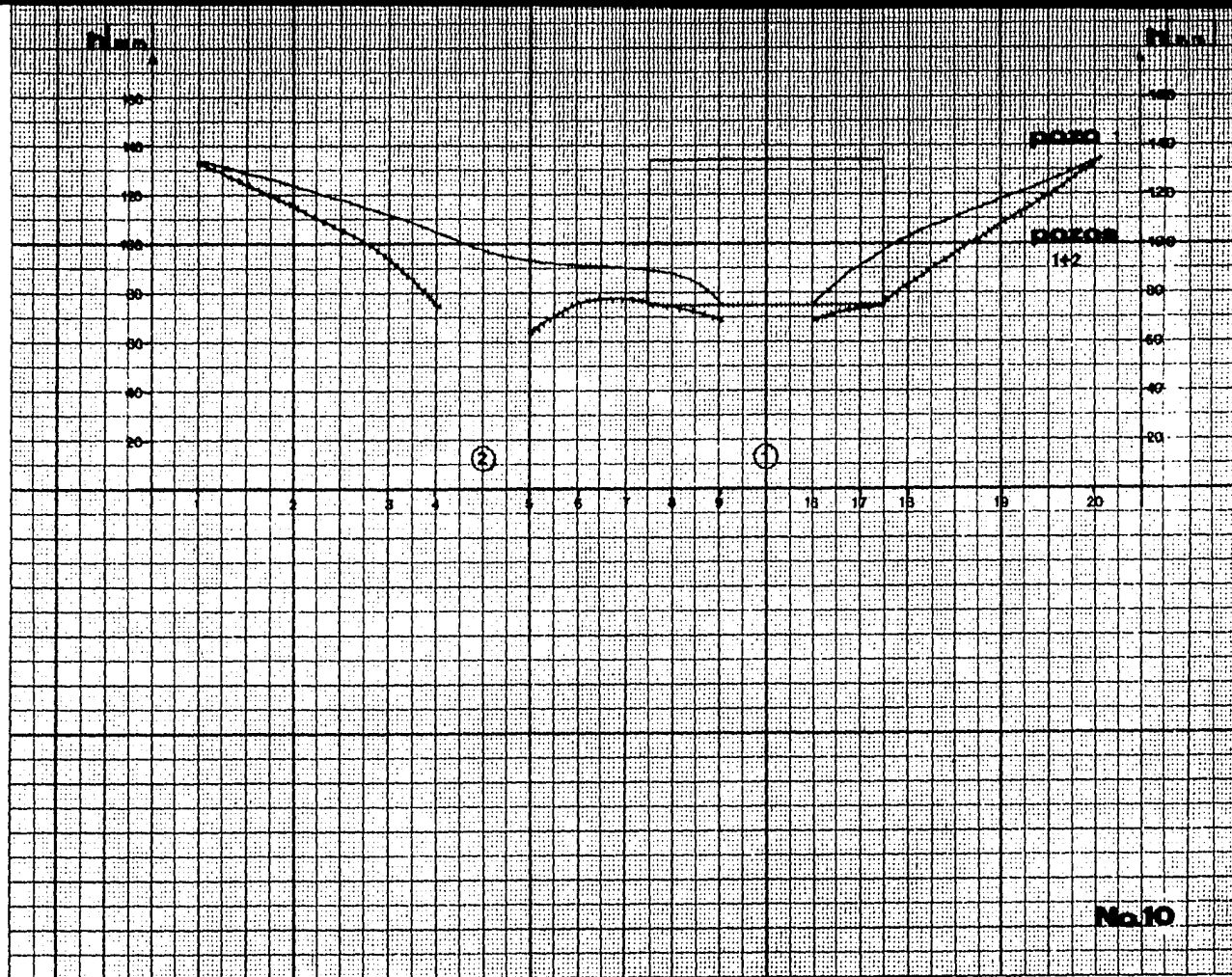


No. 9

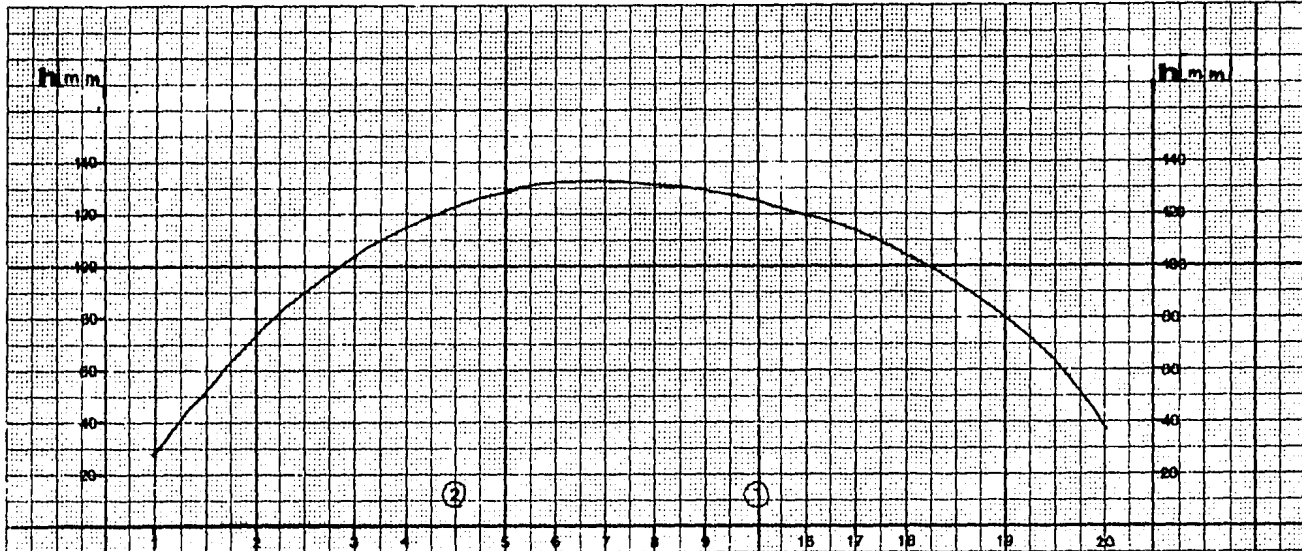
$Q(t)$



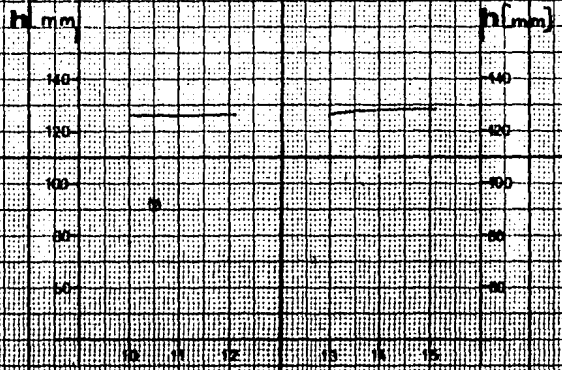
No. 9



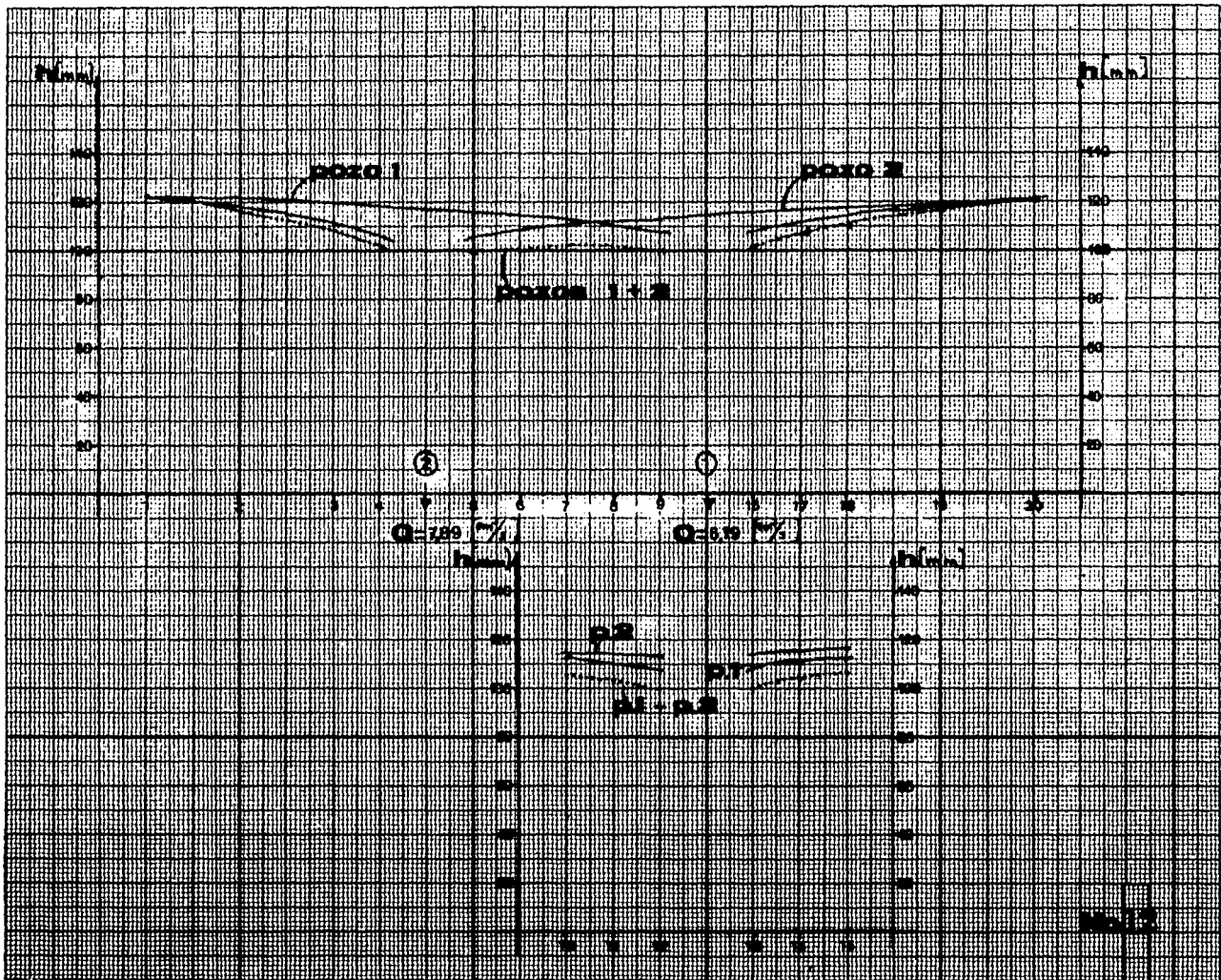
No. 10

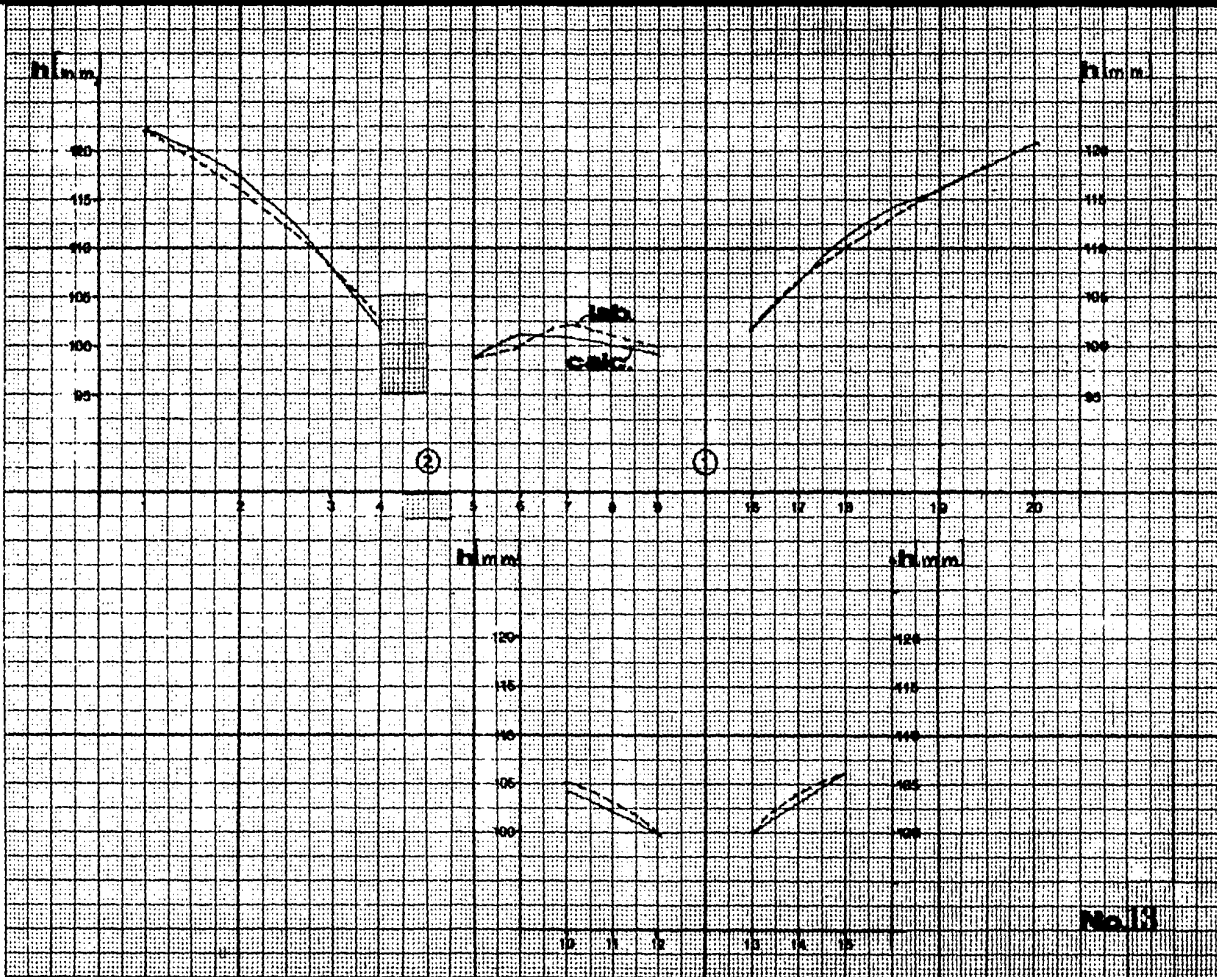


$Q_{k, \text{tot}} = 8.7 \text{ kN/m}$

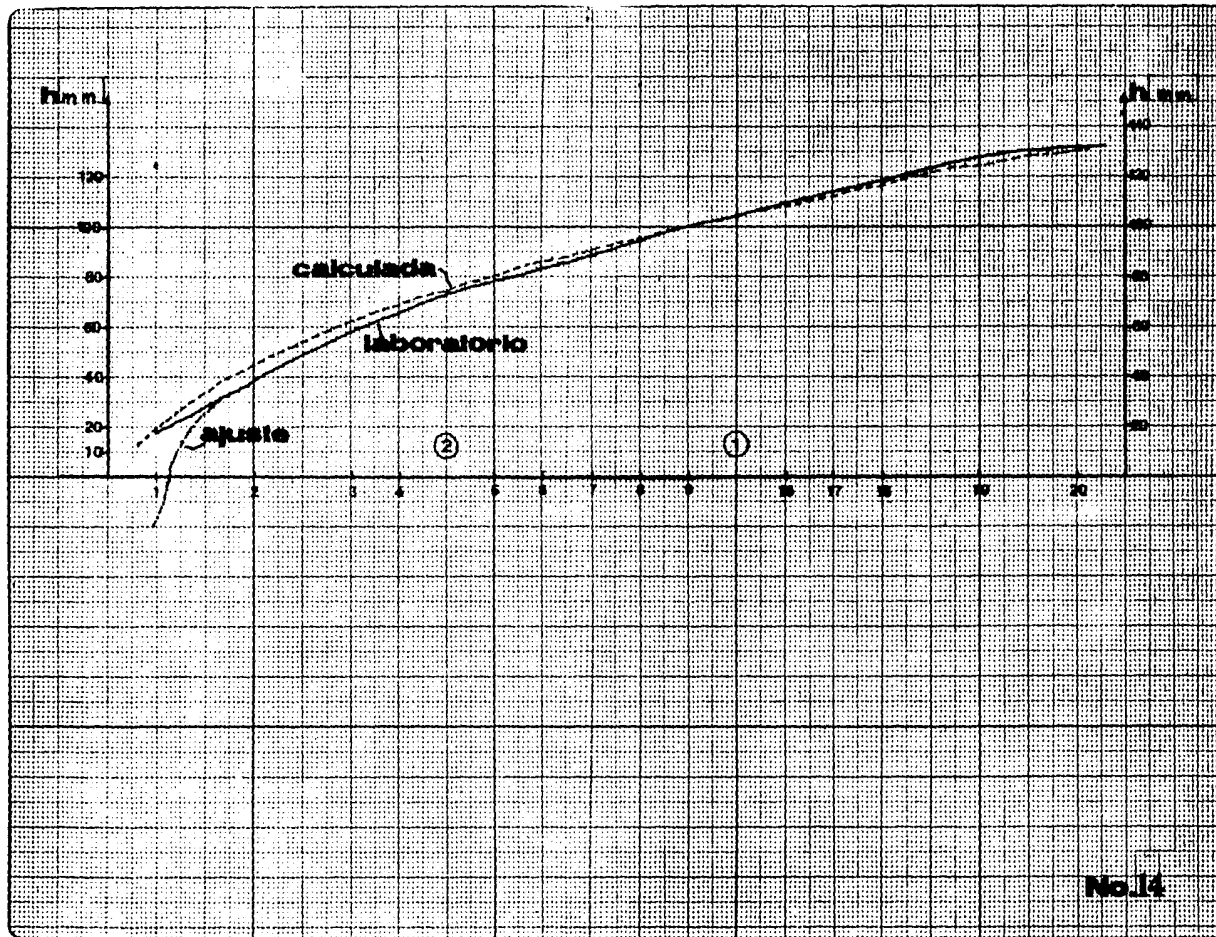


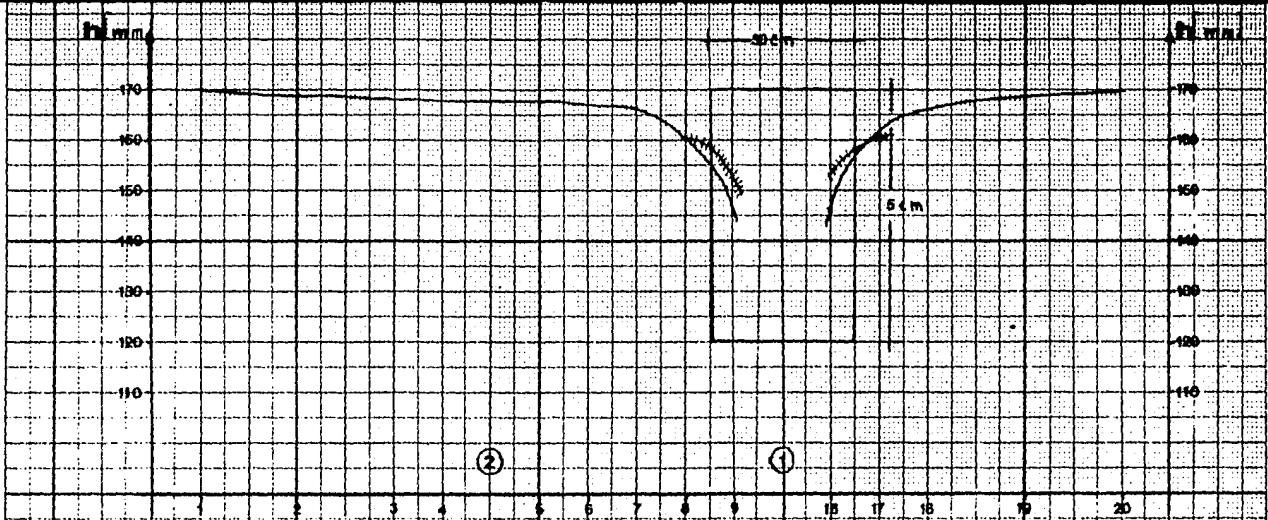
Naif





No. 13

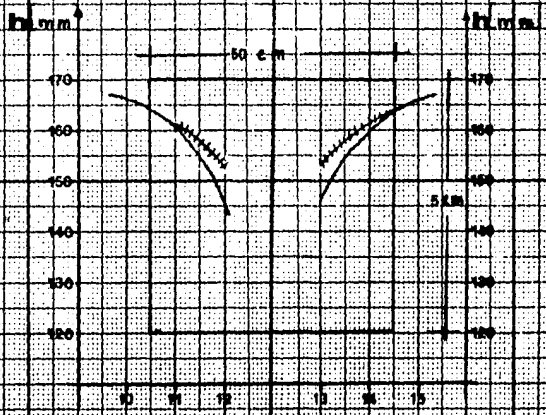




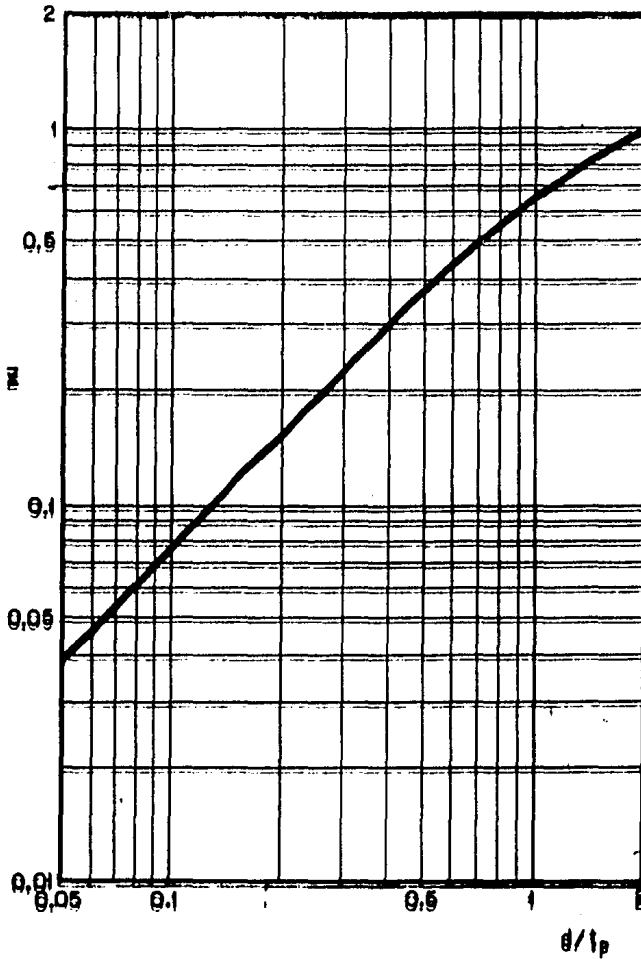
②

①

$Q = 4423 \text{ cm}^3/\text{sec}$



No. 36



Relación entre Z y d/t_p

N. 16

B I B L I O G R A F I A

- Ref. 1 Springall, Rolando. "Drenaje en cuencas peque
ñas". Series del Instituto de Ingenierfa, No.
143, enero 1969.
- Ref. 2 Armfield Technical Education Co. Ltd. "Instruction
Manual for Hydrology System". S12-00.
- Ref. 3 I., Pat Wu. "Designs Hydrographs for small water
sheds in Indiana, Journal of the Hydraulics -
Division. ASCE, Vol. 89, No. HY 6, noviembre 1963.