

28  
2e



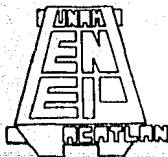
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
"ACATLAN"**

**ESTUDIO PARA LA CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS  
HIDRAULICOS SUBTERRANEOS EN EL VALLE DE  
PUEBLA.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JORGE ALBERTO RIVERA ARANDA**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

1988



## **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.

ESTUDIO PARA LA CUANTIFICACION DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS  
SUBTERRANEOS EN EL VALLE DE PUEBLA

INDICE

|  | Pag. |
|--|------|
| Nota Preliminar  |      |
| I. Introducción  | 1    |
| I.1. Generalidades   | 1    |
| I.2. Objetivo  | 4    |
| II. Geología y Geoquímica  | 5    |
| II.1. Geología   | 5    |
| II.1.1. Generalidades  | 5    |
| II.1.2. Estratigrafía  | 5    |
| II.2. La Geoquímica y su relación con las Aguas Subterráneas             | 10   |
| II.2.1. Muestreo   | 10   |
| II.2.2. Análisis   | 11   |
| II.2.3. Interpretación de resultados                                     | 13   |
| II.2.4. Comentarios de los resultados                                    | 14   |
| III. Hidrología Superficial  | 22   |
| III.1. Relación entre la Hidrología Superficial y las Aguas Subterráneas | 22   |
| III.2. Climatología  | 24   |
| III.2.1. Análisis de la precipitación                                    | 24   |
| III.2.2. Temperatura   | 26   |
| III.2.3. Evaporación   | 26   |
| III.2.4. Evapotranspiración  | 26   |

|   | Pag. |
|---|------|
| III.3. Descripción Hidrográfica                                   | 28   |
| III.4. Aprovechamientos Hidráulicos                               | 29   |
| III.5. Análisis del escurrimiento del río Atoyac                  | 29   |
| IV. Flujo en Medios Porosos. Conceptos Básicos                    | 47   |
| IV.1. El agua en el subsuelo                                      | 47   |
| IV.2. Conceptos básicos   | 51   |
| IV.3. Ecuaciones generales de flujo                               | 54   |
| V. Teorías del flujo hacia pozos                                  | 58   |
| V.1. Mecanismo del flujo hacia un pozo                            | 58   |
| V.2. Pruebas de bombeo con flujo establecido                      | 59   |
| V.3. Pruebas de bombeo con flujo no-establecido                   | 61   |
| V.4. Flujo no-establecido en acuíferos semi-confinados            | 68   |
| V.5. Penetración parcial  | 70   |
| V.6. Pozos en acuíferos libres                                    | 75   |
| VI. Hidrología Subterránea  | 76   |
| VI.1. Niveles del agua subterránea                                | 76   |
| VI.1.1. Configuraciones de igual elevación del nivel estático     | 77   |
| VI.1.2. Configuraciones de la evolución de los niveles del agua   | 78   |
| VI.1.3. Configuraciones de la profundidad a los niveles estáticos | 79   |
| VI.2. Pruebas de bombeo y características hidrodinámicas          | 80   |
| VI.3. Cuantificación de la recarga de los acuíferos               | 83   |
| VI.3.1. Ecuación de balance                                       | 83   |
| VI.3.2. Términos de la ecuación                                   | 84   |
| VII. Conclusiones y Recomendaciones                               | 125  |
| Bibliografía  | 127  |

## NOTA PRELIMINAR

México es un país cuyas dos terceras partes están formadas por regiones áridas y semiáridas. Tiene una distribución muy irregular de las precipitaciones pluviales y como consecuencia de lo anterior, el agua subterránea llega a ser un recurso de vital importancia en el desarrollo de los sectores agropecuario, urbano e industrial.

Actualmente, el 70% de las demandas urbano industrial-es, así como el 30% de las demandas de riego, tienen como -- fuente principal de abastecimiento a los recursos hidráuli -cos subterráneos, que presentan ventaja sobre las aguas su -perficiales al requerir un tratamiento mucho más económico o en algunos casos no requerirlo. Además, dichas demandas, es -tán creciendo aceleradamente debido a la incesante explosión demográfica.

Desgraciadamente, en algunas regiones del país ha habido una explotación irracional de los acuíferos, provocando - con ésto problemas como el abatimiento excesivo de los nive -les del agua subterránea en lugares en donde el recurso es -considerado como no renovable; la intrusión del agua de mar -en acuíferos cercanos a la costa; la contaminación debida a -la descarga de desechos por medio de fosas sépticas o por me -dio de canales o ríos; el hundimiento del suelo provocando - problemas a estructuras que se apoyan en él.

Todos los efectos anteriormente mencionados, muchas veces han llegado a un grado tal de desarrollo que su solución no es factible económicamente, además de ser difícil a largo plazo. Aquí debemos tener en cuenta que un acuífero puede contaminarse fácilmente y en un tiempo relativamente corto. Por otra parte, para que el acuífero vuelva a tener condiciones aceptables en la calidad del agua, requiere de tiempos tan grandes que pueden llegar a ser cientos de años.

Por todo lo expuesto en los párrafos precedentes, es necesario determinar el comportamiento de los acuíferos ante las solicitaciones a las que se les vaya a someter, para poder regular la explotación, uso y aprovechamiento de los recursos hidráulicos subterráneos, tomando en cuenta su relación e interdependencia con las aguas superficiales y así satisfacer conjuntamente las demandas que exija el desarrollo del país y poder obtener un beneficio social y económico para México.

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

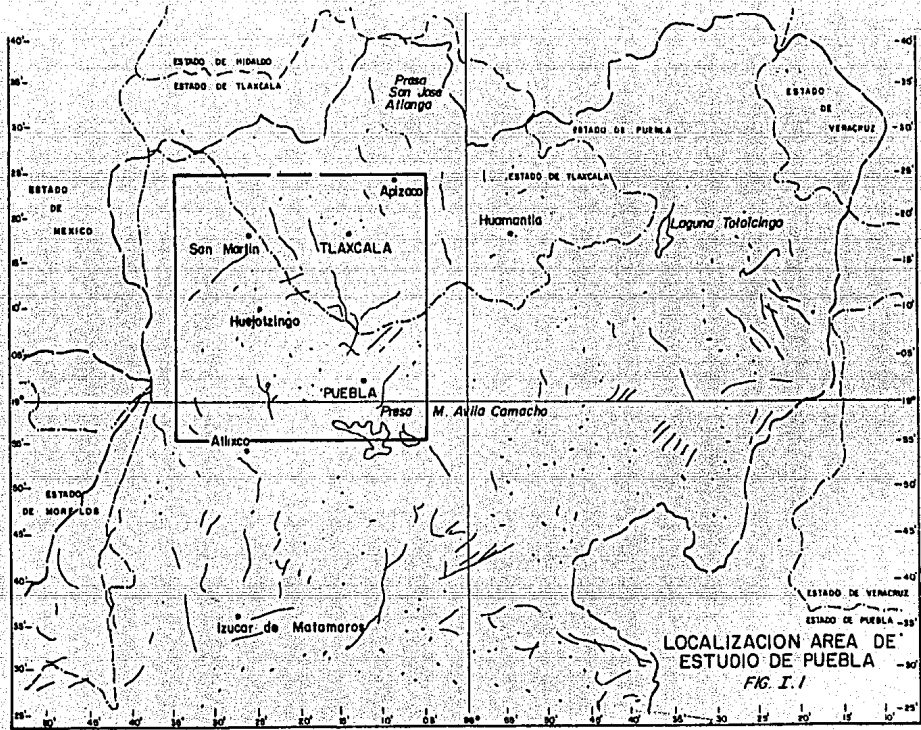
#### I.1. GENERALIDADES.

El área de estudio se encuentra localizada entre los paralelos 18°55' y 19°25' de latitud norte y entre los meridianos 98°05' y 98°33' de longitud oeste. Queda comprendida dentro de la cuenca alta del río Atoyac y cubre una superficie de 1800 Km<sup>2</sup> que abarca parte de los estados de Puebla y Tlaxcala. En la figura I.1 se muestra su localización.

Los principales centros de población son los siguientes: Puebla, Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Huejotzingo, Apizaco, Atlixco y San Pedro Cholula, siendo los dos primeros capitales de sus respectivos estados.

Existen importantes vías de comunicación tanto por carretera como por ferrocarril. Las carreteras principales son: la autopista de cuota México-Puebla, las carreteras federales México-Puebla-Veracruz, Puebla-Tehuacán, Puebla-Tlaxcala, Puebla-Oaxaca, Tlaxcala-San Martín Texmelucan y diversas secundarias que forman una red de comunicación muy completa para la zona. Las vías férreas son: la de México-Puebla-Tehuacán-Oaxaca, la de Puebla-Tlaxcala-Apizaco, Puebla-Teziutlán y otras de menor importancia. Asimismo, en la ciudad de Puebla se cuenta con un aeropuerto con servicio regular de pasajeros. Además, en toda la región se cuenta con los servicios de correos, telégrafos, teléfonos, radio y televisión.

2





El clima predominante es el templado moderado con invierno seco y lluvias periódicas en verano. La temperatura, precipitación y evaporación media anual, son de 15.3°C, - - 875.6 mm y 1859.3 mm, respectivamente.

La población económicamente activa se dedica principalmente a la industria y a la agricultura, aunque existe también una parte que se dedica a los servicios. Dentro de la primera actividad económica hay en la región industriales como la maquinaria, la automotriz, la de cemento, la textil, la cerámica, la de celulosa y papel, la de productos químicos y la industria básica del hierro y el acero. - Aquí, cabe señalar, que estas actividades han recibido un fuerte impulso y se ha creado un corredor industrial que va de la ciudad de San Martín Texmelucan a la ciudad de Puebla, prestándose todo tipo de facilidades y construyéndose la -- infraestructura necesaria por parte de las autoridades, para fomentar el establecimiento de industrias.

Dentro de las actividades agrícolas tenemos que el -- principal cultivo es el maíz, siguiéndole los frutales, la alfalfa, las hortalizas, la cebada y otros.

En cuanto a la ganadería, la explotación de ganado -- lechero es la que tiene más importancia y en menor grado la cría de ganado bovino, porcino, caprino y ovino.

## I.2 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo, es el de cuantificar los recursos hidráulicos subterráneos disponibles y proponer al ternativas de explotación de los mismos para satisfacer las demandas generadas por la expansión de la actividad industrial y por la explosión demográfica en los diferentes núcleos de población que están ubicados dentro de la zona estudiada.

## CAPITULO II GEOLOGIA Y GEOQUIMICA

### II.1.- GEOLOGIA

#### II.1.1.- Generalidades.

El valle de Puebla está formado por rocas sedimentarias continentales y marinas y productos volcánicos. En las primeras encontramos arcillas, arenas, gravas y cantos rodados, los cuales se encuentran interdigitados con productos volcánicos y materiales calcáreos lacustres.

En la zona suroriental del área se encuentran rocas calizas de origen marino y edad cretácica.

En la porción Norte del área se tiene una extensa planicie aluvial y en el Sur existen lomeríos de materiales clásticos y piroclásticos.

#### II.1.2.- Estratigrafía.

##### CRETACICO SUPERIOR CALIZAS.

El Cretácico Superior aflora en la porción Suroriental del área, donde forma parte de la Sierra de Tepeaca.

Esta unidad está constituida por bancos de caliza de color gris claro a oscuro, de textura microcristalina y a veces criptocristalina, con nódulos y bandas de pedernal negro. Su fractura es subconcoidea y el espesor de los estratos es variable, predominando el mediano de 50 centímetros, aunque ocasionalmente se observan cuerpos de caliza brechoide de 80 centímetros a 1 metro de espesor. Hacia lo que pudiera ser la cima, la formación se hace más arcillosa hasta formar bancos de lutitas, que se encuentran en forma irregular y en estratos delgados intercalados dentro de los cuerpos de caliza.

### TERCIARIO CONGLOMERADO CALIZO

Descansando discordantemente sobre las calizas del Cretácico se encuentra un conglomerado color gris rojizo a café rojizo, mal clasificado, formado principalmente por clásticos de caliza color gris y en menor proporción por clásticos de pedernal negro; su tamaño varía de 2 a 50 cm; su grado de redondez varía de subangulares a subredondeados. Presenta esporádicas lentes de arenas gruesas y gravilla, - su cementante es el carbonato de calcio y su estructura masiva.

Esta unidad aflora una pequeña extensión hacia el Sureste del área de estudio.

El contacto superior de esta unidad se presenta en forma discordante, principalmente con derrames andesíticos y materiales de tipo continental, como arenas y tobassas.

Por su posición respecto a las calizas y a los derrames andesíticos, a esta unidad se le asigna una edad del Terciario Inferior.

### TERCIARIO VOLCANICO ANDESITICO-BASALTICO

Esta unidad aflora en los lomeríos del Sur del área de estudio. Consta principalmente de andesitas de color gris mediano, de textura afanítica-porfirítica, y de rocas andesítico-basálticas, de color café grisáceo y textura afanítica.

### TERCIARIO SUPERIOR LACUSTRE.

Esta unidad aflora en el Norte del área, así como en el Norte de la ciudad de Puebla. Su composición es una alternancia de arenas y limos en forma de lentes; los limos se presentan bien consolidados, mientras que las lentes arenosas casi sin ninguna consolidación. Esta unidad presenta un color que varía del gris al verde claro; su parte superior se encuentra cubierta por arenas y tobas recientes y descansa sobre rocas andesíticas.

Se le ha asignado a esta unidad una edad del Terciario Superior por encontrarse sobre la andesita correspondiente al Terciario Medio.

### TERCIARIO SUPERIOR ALUVIAL.

Con este nombre se designa a una alternancia de gravas, arenas y tobas de color café claro, poco consolidadas. El material tobáceo se encuentra contaminando a los depósitos de arenas y gravas de origen continental, y tanto el material tobáceo como las gravas y arenas se encuentran distribuidos en forma caótica, es decir, no existe continuidad en sus horizontes y lentes. Los detritos y clásticos que forman esta unidad tienen una composición netamente andesítica. Su espesor es muy variable llegando a tener en algunas partes más de 150 metros.

### TERCIARIO CUATERNARIO BASALTICO

Dentro de esta unidad se incluyen tanto los derrames como los conos de basalto que se encuentran distribuidos en

toda el área de estudio, los que cubren en forma discordante a las rocas andesíticas, al conglomerado calizo, a los sedimentos lacustres y a los depósitos aluviales del Terciario Superior. Afloran en puntos localizados en prácticamente toda el área. Consta principalmente de basaltos con pocas variaciones de textura, composición y estructura.

Por su posición estratigráfica a esta unidad se le ha asignado una edad que abarca desde fines del terciario hasta principios del cuaternario.

#### CUATERNARIO CONTINENTAL.

Dentro de esta unidad se agrupan los materiales semi-consolidados que varían, desde los detritos compuestos por fragmentos gruesos, hasta los limos y las arcillas, incluyen las tobas, en pequeña proporción y los derrames basálticos, que por estar interestratificados con estos materiales y por su muy pequeña exposición, impide que se les pueda cartografiar separadamente.

Esta unidad presenta forma masiva y posición horizontal, siguiendo los contornos topográficos de las rocas sobre los que se depositó. Arriba de esta unidad se encuentran los depósitos aluviales recientes que sólo la cubren en pequeñas áreas.

#### CUATERNARIO DEPOSITOS ALUVIALES.

Con este nombre se designa a un conjunto de depósitos formados principalmente de arenas y limos, y secundariamente de arcillas y gravas no consolidadas, los que se encuentran cubriendo la región central del valle de Puebla. El espesor de esta unidad varía desde 1 hasta 30 metros aproximadamente.

Las lentes arcillosas dan origen a la formación de ciénegas dentro de esta unidad, a la que se le ha asignado una edad del Cuaternario.

#### DEPOSITOS FLUVIALES.

Esta unidad aparece en forma muy restringida y de muy poco espesor dentro del área de estudio, encontrándose expuesta a lo largo del río Atoyac y en algunos arroyos -- que bajan de La Malinche, en donde aparecen formadas por arenas gruesas y gravas. Al Oeste de Puebla, se encuentran estos depósitos formados por arenas y limos.

## II.2. LA GEOQUÍMICA Y SU RELACION CON LAS AGUAS SUBTERRANEAS

La Geoquímica es la disciplina que estudia la relación que tiene la composición química del agua con el medio ambiente geológico en que se encuentra. Esta relación tiene lugar cuando el agua de la lluvia, con concentraciones bajas de sales disueltas, entra en contacto con las rocas y reacciona con éstas teniendo un intercambio de iones, iniciando su acción como disolvente. Como consecuencia de lo anterior el agua va aumentando su contenido de sales conforme va avanzando y alcanzando mayores profundidades. Así pues, por medio de la Geoquímica se puede comprender mejor el funcionamiento de un acuífero y hacer inferencias relativas a: formaciones geológicas que atraviesa el agua subterránea durante su recorrido, direcciones predominantes del flujo, zonas donde se efectúa la recarga y descarga del agua, velocidad y tiempo de recorrido, algunas características físicas del acuífero, así como también la calidad del agua que será tan importante como la cantidad, debido a las normas que se deben cumplir para satisfacer demandas de poblaciones, industrias o agricultura.

La metodología que se sigue en Geoquímica para conocer la composición química del agua es la siguiente: selección y muestreo del agua subterránea, análisis físico-químicos y -- por último, elaboración de planos, diagramas e interpretación de los mismos.

II.2.1 MUESTREO.- En la recolección de muestras de agua se debe tener cierto cuidado y seguir algunas recomendaciones ya que a menudo este tipo de trabajo se menosprecia y no se le da la importancia debida, acarreando errores que afectarán los resultados de los análisis químicos.



Para que el muestreo sea representativo del área en estudio, se debe elegir un número de muestras y una distribución de las mismas tomando en cuenta la geología de la zona y las características de los pozos que se han perforado en ésta.

Es recomendable que las muestras de agua se tomen en recipientes de polietileno que puedan contener uno o dos litros del líquido. Se debe dejar transcurrir un tiempo después del inicio del bombeo para evitar posibles influencias de agua de retorno de riego y garantizar que la muestra sea realmente del acuífero. Hay ciertas características físicas y valores que se deben determinar en el campo como la temperatura del agua, PH, alcalinidad, olor, color, resistividad ya que de otra manera se tendrán resultados erróneos debido a las alteraciones que sufre la muestra mientras llega al laboratorio. Cada muestra obtenida deberá llevar un registro en el que se anote la fecha de muestreo, localización exacta del pozo, profundidad a que fue tomada la muestra, tamaño del recipiente y condiciones de operación del pozo en el momento del muestreo.

Cumplidas las recomendaciones anteriores, las muestras son enviadas al laboratorio cuidando que el tiempo transcurrido para hacer los análisis sea mínimo.

II.2.2 Análisis.- Para conocer ciertas características del agua que ayudarán a comprender mejor el funcionamiento de un acuífero y el posible uso que se haga de ella de acuerdo a las demandas de abastecimiento para la industria, la agricultura o uso doméstico; las muestras obtenidas deberán ser sometidas a análisis físico-químicos en un laboratorio, determinándose las características de los principales cationes (Calcio, Magnesio, y Sodio), los principales aniones - -

(que son Bicarbonatos, Sulfatos y Cloruros), los sólidos totales disueltos, alcalinidad y la dureza. Algunas veces será necesario que también se determinen las concentraciones de algunos otros iones y esto dependerá de las formaciones geológicas predominantes en la zona.

Los resultados de los análisis químicos del agua subterránea son expresados en unidades de peso por peso ó peso por volumen y equivalencia química.

Las unidades de peso por peso son partes por millón (ppm). Una parte por millón representa 1 miligramo de soluto por 1 Kilogramo de solución. Las unidades de peso por volumen son los miligramos por litro (mg/l).

Para fines prácticos, estos dos tipos de unidades se consideran iguales si se asume que 1 litro de solución pesa 1 Kilogramo. Las unidades de equivalencia química son los miliequivalentes por litro (meq/l) y se obtienen multiplicando la concentración del ion en miligramos por litro (mg/l) por la carga del ion y dividiendo entre el peso atómico de éste.

Las unidades de meq/l se usan para poder correlacionar diferentes iones ya que cada ion tiene diferente peso atómico y carga. Si se tienen todas las concentraciones de los iones expresados en meq/l se debe esperar que la suma de cationes sea igual a la suma de aniones, si no se cumple esto, quiere decir que hay otros constituyentes no determinados o que existe error en los análisis.

II.2.3 Interpretación de Resultados.- Los resultados obtenidos en los análisis químicos efectuados en el laboratorio, se presentan siempre en forma tabular como se muestra en la tabla -- II.2.1. Debido a que estas tablas generalmente contienen una gran cantidad de información no se pueden apreciar objetivamente las características del agua subterránea que más interesan.

Existen diversos métodos propuestos por varios investigadores para representar los datos obtenidos y tener una visión más objetiva de los resultados de los análisis. A continuación se describirán en forma somera algunos de ellos.

Barras Verticales.- Este sistema es ampliamente usado y consiste en representar cada análisis mediante una barra vertical que tiene subdivisiones tal y como se muestra en la fig. -- II.2.1. La altura de la barra es proporcional a la concentración total de cationes y aniones. En la parte superior de la barra se pone un número que nos identifica el análisis.

Diagramas Triangulares. Este sistema es útil para representar y comparar la calidad del agua y hace uso de un rombo -- con dos triángulos equiláteros iguales dibujados en la parte inferior. Las concentraciones iónicas se expresan como porcentajes. El triángulo inferior izquierdo representa los porcentajes de cationes y el triángulo inferior derecho representa los porcentajes de aniones. Las concentraciones se grafican con puntos en los triángulos y después se proyectan en el rombo. -- El principal uso que se le da a este tipo de diagramas es que se pueden hacer comparaciones de calidades de agua de diferentes -- muestras. En la fig. II.2.2 se ejemplifica este método.

Planos con curvas de igual concentración. Mediante este tipo de planos se pueden observar cambios regionales en la calidad del agua que se relacionan con las características geológicas, hidrológicas y geohidrológicas y, además, se identificarán en una cuenca las áreas cuyas calidades de agua no son recomendables. Para la elaboración de dichos planos se debe vaciar la información obtenida en los análisis químicos de las sales o iones que se deseen tener configuraciones y unir con una curva continua los puntos de igual valor obteniéndose de esta manera la configuración deseada.

#### II.2.4 Comentarios de los Resultados.

A continuación se comentarán los resultados obtenidos en los análisis físico-químicos.

RESISTIVIDADES.- En el 44% de las fuentes se determinaron las resistividades, mismas que se redujeron a la temperatura de 25°C, seleccionándose los valores correspondientes. De acuerdo a los resultados obtenidos se encontró que en la margen derecha del río Atoyac las resistividades varían de 5 a 45 ohms metro disminuyendo del Norte y Oeste hacia el río, indicando tanto un aumento de la concentración salina como que el agua subterránea proviene del Norte y del Oeste de la zona y fluye hacia el río Atoyac.

En la margen izquierda de los ríos Atoyac y Zahuapan las resistividades varían de 24 a 88 ohms-metro, disminuyendo de Este a Oeste, indicando con ésto que el agua subterránea proviene del Este y fluye hacia los ríos Zahuapan y Atoyac.

**CALCIO.**- Las concentraciones de Calcio varían de 3 a 147 mg/l y provienen de la disolución de los feldespatos cálcicos de las rocas ígneas que afloran en todo el valle.

**MAGNESIO.**- Las concentraciones de Magnesio varían de 1 a 144 mg/l. Esta concentración proviene de la disolución de algunos minerales de las andesitas y de los basaltos, como la biotita, el olivino y otros minerales ferromagnesianos.

**SODIO.**- Las concentraciones de Sodio varían entre 2 y 121 mg/l. Este elemento proviene de la disolución de los feldespatos de las rocas ígneas.

**BICARBONATOS.**- Las concentraciones de Bicarbonatos varían de 15 a 1227 mg/l. La formación de bicarbonatos se debe a la reacción química entre los carbonatos, el dióxido de carbono y el agua.

**SULFATOS.**- Las concentraciones de Sulfatos llegan hasta 103 mg/l. Esta concentración se debe a la disolución de Sulfatos asociados a las rocas ígneas y de algunos horizontes evaporíticos, probablemente existentes.

**CLORUROS.**- Las concentraciones de Cloruros varían entre 2 y 110 mg/l. Los Cloruros provienen de algunos constituyentes de las rocas ígneas que afloran en todo el valle y de los productos de la erosión de esas rocas que rellenan el valle.

**SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.**- Los sólidos totales disueltos representan el residuo que queda al evaporar cierta cantidad del agua. No son representativos de la suma de las concentraciones de los diferentes elementos analizados ya que durante la evaporación en el laboratorio, los sólidos volátiles se pierden y los bicarbonatos se convierten en carbonatos. También queda

retenida cierta cantidad de agua de cristalización que no alcanza a evaporarse. Por lo tanto el valor de los sólidos totales disueltos sólo proporciona una indicación del ataque del agua sobre las formaciones geológicas y de la solubilidad y facilidad de remoción de las sales del subsuelo.

Las concentraciones de las muestras varían entre 46 y 540 mg/l de sólidos totales disueltos.

**DUREZA TOTAL.**- La dureza está dada por la concentración de los iones divalentes calcio y magnesio en el agua, y la dureza total corresponde a la suma de las durezas parciales de calcio y de magnesio.

En el área se encuentran valores de dureza total que varían entre 16 y 960 mg/l.

**CALIDAD DEL AGUA.**- La calidad del agua es, en general, buena y aprovechable para uso doméstico y sólo en raros casos no cumple con las normas que establece la Secretaría de Salubridad y Asistencia. También es apta para uso agrícola, ganadero e industrial.

## RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

| FUENTE DE MUESTREO<br>No. | PROFUNDIDAD<br>(m.) | RESISTIVIDAD<br>A 25°C<br>Ω-m | PH  | SOLIDOS<br>TOTALES<br>DISUELTOS<br>ppm | CATIONES                |                         |                        | ANIONES                              |                                     |                        | DUREZA<br>TOTAL | R A S |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|-----|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|-------|
|                           |                     |                               |     |  | Ca <sup>++</sup><br>ppm | Mg <sup>++</sup><br>ppm | Na <sup>+</sup><br>ppm | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>ppm | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup><br>ppm | Cl <sup>-</sup><br>ppm |                 |       |
| N 13                      | 7.00                | 33.75                         | 6.9 | 288                                    | 26                      | 19                      | 2                      | 134                                  | 12                                  | 18                     | 144             | 0.60  |
| N 95                      | 15.00               | 44.10                         | 7.9 | 116                                    | 16                      | 10                      | 25                     | 142                                  | 10                                  | 6                      | 80              | 1.70  |
| N 97                      | 15.00               | 35.90                         | 7.5 | 160                                    | 19                      | 17                      | 22                     | 162                                  | 13                                  | 12                     | 110             | 0.90  |
| N 98                      | 15.60               | 31.60                         | 7.6 | 200                                    | 21                      | 22                      | 22                     | 195                                  | 14                                  | 12                     | 144             | 0.80  |
| N100                      | 18.00               | 38.50                         | 7.4 | 124                                    | 19                      | 18                      | 23                     | 166                                  | 13                                  | 14                     | 120             | 1.93  |
| N110                      | 25.00               | 50.40                         | 7.3 | 228                                    | 11                      | 11                      | 16                     | 99                                   | 16                                  | 7                      | 72              | 0.81  |
| N114                      | 60.00               | 72.00                         | 7.1 | 154                                    | 16                      | 4                       | 13                     | 68                                   | 16                                  | 8                      | 56              | 0.75  |
| N120                      | 15.00               | 26.80                         | 7.1 | 450                                    | 37                      | 24                      | 2                      | 151                                  | 12                                  | 42                     | 192             | 0.06  |
| N136                      | 11.00               | 14.40                         | 7.8 | 538                                    | 53                      | 47                      | 31                     | 442                                  | 8                                   | 15                     | 324             | 0.85  |
| N138                      | 6.00                | 11.70                         | 7.7 | 316                                    | 53                      | 46                      | 33                     | 439                                  | 12                                  | 14                     | 320             | 0.85  |
| P 145                     | 80.00               | 3.10                          | 7.2 | 654                                    | 56                      | 58                      | 49                     | 493                                  | 22                                  | 42                     | 380             | 1.10  |
| P 147                     | 175.00              | 4.90                          | 6.8 | 1,540                                  | 147                     | 144                     | 116                    | 1,227                                | 103                                 | 70                     | 960             | 1.60  |
| N158                      | 11.00               | 19.10                         | 7.7 | 330                                    | 34                      | 38                      | 32                     | 334                                  | 12                                  | 16                     | 240             | 0.95  |
| P161                      | 120.00              | 8.60                          | 7.0 | 750                                    | 70                      | 90                      | 38                     | 764                                  | 11                                  | 26                     | 548             | 0.90  |
| N162                      | 20.00               | 25.00                         | 7.8 | 250                                    | 34                      | 22                      | 27                     | 228                                  | 21                                  | 18                     | 176             | 0.90  |
| N175                      | 20.00               | 21.90                         | 7.7 | 272                                    | 58                      | 17                      | 30                     | 281                                  | 21                                  | 18                     | 212             | 0.95  |
| P180                      | 130.00              | 7.20                          | 7.1 | 916                                    | 62                      | 125                     | 52                     | 854                                  | 32                                  | 36                     | 672             | 0.93  |
| N185                      | 7.80                | 28.40                         | 7.7 | 410                                    | 27                      | 24                      | 26                     | 234                                  | 14                                  | 12                     | 168             | 0.90  |
| N193                      | 8.00                | 24.70                         | 7.8 | 232                                    | 42                      | 26                      | 4                      | 229                                  | 16                                  | 12                     | 212             | 0.60  |
| N203                      | 9.00                | 21.60                         | 8.2 | 268                                    | 48                      | 25                      | 27                     | 303                                  | 13                                  | 12                     | 224             | 0.90  |
| N206                      | 12.50               | 26.10                         | 7.8 | 252                                    | 42                      | 13                      | 34                     | 238                                  | 12                                  | 16                     | 156             | 1.17  |
| N221                      | 11.80               | 32.70                         | 7.7 | 288                                    | 42                      | 3                       | 32                     | 188                                  | 13                                  | 12                     | 116             | 1.30  |

TABLA II. 2. 1

## RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

| FUENTE DE MUESTREO<br>No | PROFUNDIDAD<br>(m.) | RESISTIVIDAD<br>A 25°C<br>Ω - m | P H | SOLIDOS<br>TOTALES<br>DISUELTOS<br>ppm | C A T I O N E S         |                         |                        | A N I O N E S                        |                                     |                        | DUREZA<br>TOTAL | R A S |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------|-----|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|-------|
|                          |                     |                                 |     |  | Ca <sup>++</sup><br>ppm | Mg <sup>++</sup><br>ppm | Na <sup>+</sup><br>ppm | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>ppm | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup><br>ppm | Cl <sup>-</sup><br>ppm |                 |       |
| N228                     | 9.00                | 9.90                            | 7.5 | 748                                    | 141                     | 26                      | 51                     | 561                                  | 32                                  | 60                     | 468             | 1.00  |
| N233                     | 20.00               | 33.80                           | 7.8 | 322                                    | 37                      | 13                      | 29                     | 222                                  | 3                                   | 16                     | 144             | 1.00  |
| N242                     | 18.00               | 28.60                           | 7.6 | 376                                    | 37                      | 12                      | 31                     | 176                                  | 42                                  | 14                     | 140             | 1.10  |
| P253                     | 100.00              | 52.20                           | 7.0 | 140                                    | 21                      | 16                      | 8                      | 121                                  | 16                                  | 12                     | 116             | 0.32  |
| P263                     | 100.00              | 46.60                           | 7.6 | 238                                    | 35                      | 11                      | 11                     | 166                                  | 12                                  | 6                      | 152             | 0.41  |
| P267                     | 200.00              | 38.10                           | 7.8 | 162                                    | 43                      | 8                       | 18                     | 185                                  | 17                                  | 10                     | 140             | 0.66  |
| N270                     | 7.00                | 29.00                           | 7.3 | 316                                    | 32                      | 18                      | 15                     | 156                                  | 9                                   | 36                     | 156             | 0.53  |
| N287                     | 2.34                | 32.20                           | 7.4 | 70                                     | 34                      | 15                      | 33                     | 222                                  | 17                                  | 11                     | 144             | 1.19  |
| N294                     | 6.00                | -                               | 7.6 | 276                                    | 43                      | 45                      | 18                     | 371                                  | 13                                  | 10                     | 292             | 0.46  |
| N296                     | 3.00                | 17.60                           | 7.6 | 322                                    | 56                      | 31                      | 56                     | 443                                  | 12                                  | 10                     | 268             | 1.49  |
| N297                     | 2.00                | -                               | 8.3 | 934                                    | 62                      | 33                      | 157                    | 615                                  | 20                                  | 74                     | 292             | 4.01  |
| N299                     | 2.10                | 11.00                           | 7.8 | 590                                    | 62                      | 40                      | 121                    | 551                                  | 8                                   | 88                     | 320             | 2.94  |
| N315                     | 25.00               | -                               | 7.5 | 190                                    | 27                      | 24                      | 14                     | 267                                  | 9                                   | 10                     | 168             | 1.15  |
| N327                     | 23.00               | 47.80                           | 7.1 | 168                                    | 16                      | 12                      | 10                     | 113                                  | 5                                   | 8                      | 88              | 0.46  |
| N335                     | 10.00               | 65.30                           | 7.2 | 128                                    | 6                       | 7                       | 5                      | 50                                   | 6                                   | 6                      | 44              | 0.33  |
| N359                     | 11.00               | 26.30                           | 7.5 | 226                                    | 30                      | 24                      | 6                      | 174                                  | 11                                  | 24                     | 176             | 0.20  |
| N367                     | 12.50               | 40.10                           | 7.5 | 214                                    | 22                      | 16                      | 19                     | 149                                  | 15                                  | 16                     | 120             | 0.75  |
| N389                     | 26.00               | 28.00                           | 7.1 | 320                                    | 38                      | 17                      | 15                     | 224                                  | 2                                   | 8                      | 164             | 0.51  |
| N392                     | 5.50                | 45.00                           | 7.0 | 224                                    | 22                      | 1                       | 15                     | 76                                   | 14                                  | 12                     | 60              | 0.85  |
| N396                     | 30.00               | 35.60                           | 7.3 | 330                                    | 26                      | 11                      | 21                     | 166                                  | 3                                   | 10                     | 108             | 0.87  |
| N398                     | 25.00               | 37.80                           | 7.4 | 258                                    | 19                      | 17                      | 7                      | 134                                  | 5                                   | 12                     | 116             | 0.28  |
| N440                     | 5.00                | 75.40                           | 7.2 | 160                                    | 19                      | 4                       | 21                     | 105                                  | 14                                  | 8                      | 64              | 1.14  |
| N442                     | 6.00                | 45.70                           | 7.7 | 690                                    | 83                      | 37                      | 151                    | 734                                  | 12                                  | 52                     | 360             | 3.47  |

18

TABLA II. 2. 1



## RESULTADOS DE ANALISIS QUIMICOS

| FUENTE DE MUESTRO<br>No. | PROFUNDIDAD<br>(m.) | RESISTIVIDAD<br>A 25°C<br>Ω - m | PH  | SOLIDOS<br>TOTALES<br>DISUELTOS<br>ppm | C A T I O N E S         |                         |                        | A N I O N E S                        |                                     |                        | DUREZA<br>TOTAL | R A S |
|--------------------------|---------------------|---------------------------------|-----|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|-----------------|-------|
|                          |                     |                                 |     |  | Ca <sup>++</sup><br>ppm | Mg <sup>++</sup><br>ppm | Na <sup>+</sup><br>ppm | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup><br>ppm | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup><br>ppm | Cl <sup>-</sup><br>ppm |                 |       |
| N449                     | 10.00               | -                               | 7.2 | 156                                    | 8                       | 11                      | 21                     | 107                                  | 12                                  | 6                      | 64              | 1.13  |
| N468                     | 12.50               | 27.00                           | 7.6 | 364                                    | 40                      | 8                       | 34                     | 209                                  | 17                                  | 14                     | 132             | 1.28  |
| N479                     | 13.00               | 22.50                           | 7.8 | 424                                    | 37                      | 19                      | 34                     | 261                                  | 10                                  | 16                     | 172             | 1.13  |
| N481                     | 30.00               | 31.50                           | 7.4 | 272                                    | 30                      | 9                       | 14                     | 102                                  | 12                                  | 32                     | 112             | 0.58  |
| N485                     | 10.00               | 10.80                           | 7.6 | 620                                    | 59                      | 63                      | 56                     | 555                                  | 13                                  | 44                     | 408             | 1.21  |
| N505                     | 16.00               | 70.20                           | 7.2 | 202                                    | 16                      | 5                       | 17                     | 83                                   | 12                                  | 12                     | 60              | 0.95  |
| P508                     | 150.00              | 45.90                           | 7.7 | 236                                    | 19                      | 5                       | 35                     | 129                                  | 13                                  | 18                     | 68              | 1.85  |
| N529                     | 7.50                | -                               | 7.2 | 546                                    | 70                      | 31                      | 69                     | 514                                  | 9                                   | 16                     | 304             | 1.73  |
| N574                     | 75.00               | -                               | 7.2 | 48                                     | 8                       | 3                       | 6                      | 46                                   | 3                                   | 2                      | 32              | 0.48  |
| N588                     | 6.00                | 81.00                           | 7.5 | 8                                      | 8                       | 6                       | 11                     | 68                                   | 6                                   | 4                      | 44              | 0.74  |
| P601                     | 35.00               | 45.80                           | 7.9 | 184                                    | 18                      | 14                      | 12                     | 136                                  | 12                                  | 6                      | 104             | 0.51  |
| P603                     | 62.00               | -                               | 7.6 | 172                                    | 32                      | 8                       | 31                     | 181                                  | 12                                  | 12                     | 112             | 1.26  |
| N608                     | 4.50                | 29.50                           | 7.5 | 316                                    | 32                      | 32                      | 52                     | 154                                  | 12                                  | 16                     | 212             | 1.55  |
| P612                     | 100.00              | -                               | 7.9 | 122                                    | 24                      | 3                       | 27                     | 127                                  | 14                                  | 8                      | 72              | 1.38  |
| N651                     | 12.00               | 70.00                           | 6.2 | 174                                    | 24                      | 12                      | 5                      | 120                                  | 12                                  | 6                      | 108             | 0.20  |
| P668                     | 60.00               | -                               | 7.8 | 98                                     | 13                      | 8                       | 19                     | 102                                  | 10                                  | 8                      | 64              | 1.02  |
| P672                     | 102.00              | 74.50                           | 7.6 | 88                                     | 8                       | 8                       | 18                     | 90                                   | 12                                  | 4                      | 52              | 1.07  |
| N681                     | 60.00               | 27.60                           | 6.9 | 350                                    | 21                      | 25                      | 30                     | 245                                  | 12                                  | 6                      | 156             | 1.04  |

DIAGRAMA DE BARRAS VERTICALES

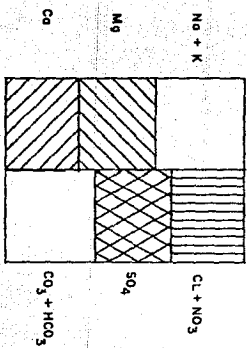


FIG. II.2.1

DIAGRAMA TRIANGULAR

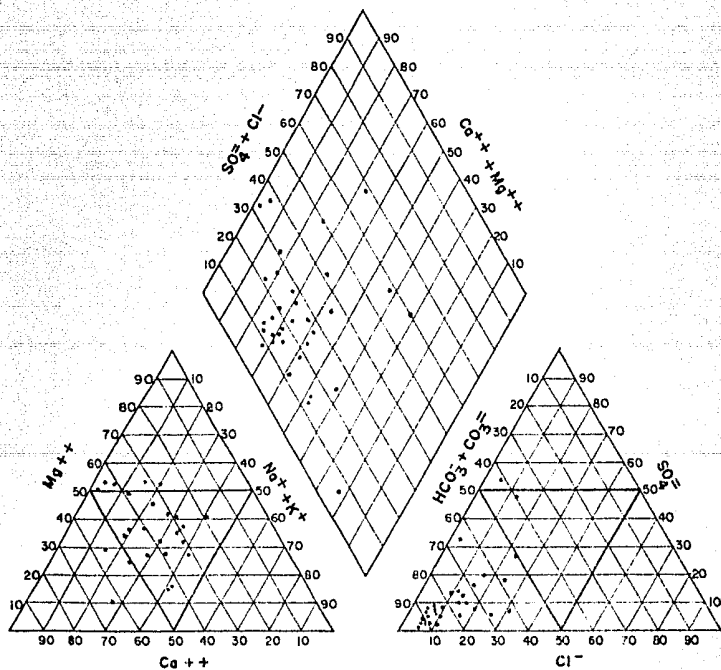


FIG. II.2.2

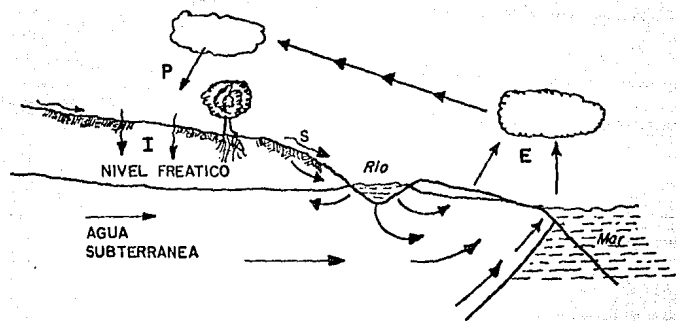
### CAPITULO III HIDROLOGIA SUPERFICIAL

#### III.1. RELACION ENTRE LA HIDROLOGIA SUPERFICIAL Y LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

El ciclo hidrológico describe la forma en que circula la - casi totalidad del agua existente en la tierra. Se puede iniciar la descripción de este ciclo con la evaporación del agua de los mares. Esta agua evaporada forma nubes que, al enfriarse, provocan la precipitación. Parte de esta precipitación se evapora durante su caída y la otra parte se precipita sobre mares y continentes. El agua que cae sobre los continentes escurre, se infiltra, es retenida en la superficie o se evapora. Las aguas que se infiltran o escurren tienden en todo momento a dirigirse hacia - el mar o volver nuevamente hacia la atmósfera. En la figura III. 1. se muestra una representación gráfica del ciclo hidrológico.

Existe una estrecha relación entre el agua subterránea y - los demás componentes del ciclo hidrológico.

La fuente de recarga de los depósitos de agua subterránea - es la precipitación pluvial; el escurrimiento superficial es tam - bién una importante fuente de recarga y, en algunos casos, es ge - nerado parcialmente por aportaciones de aguas subterráneas a los cauces; la infiltración es el fenómeno mediante el cual el agua - ingresa al subsuelo y, eventualmente, llega a los depósitos de - agua subterránea; la evapotranspiración constituye, en ocasiones, un mecanismo de descarga de las aguas subterráneas.



CICLO HIDROLOGICO

FIG. III. 1

Por todo lo anterior, en un estudio para cuantificar los recursos hidráulicos subterráneos se debe tomar en cuenta también, en términos generales, la parte del ciclo hidrológico que tiene lugar en la superficie.

### III.2. Climatología

El análisis climatológico se efectuó utilizando los datos de precipitación pluvial, temperatura y evaporación, registrados en estaciones climatológicas, de las cuales seis se encuentran localizadas dentro del área de estudio y las dos restantes fuera de ella. En la tabla III.2.1 se presentan las características de cada una de ellas.

#### III.2.1. Análisis de la Precipitación

El procesamiento de los datos pluviométricos con fines geohidrológicos consiste en determinar la precipitación media anual en un intervalo de tiempo que generalmente es como mínimo diez años; las precipitaciones medias mensuales del intervalo indicado y épocas de lluvia. El método usado para la obtención de resultados fue el de los polígonos de Thiessen.

#### Precipitación Media Anual

La precipitación media anual en el período 1970-1981, fue de 875.6 mm. En la tabla III.2.2 se muestran los cálculos respectivos. Las precipitaciones promedio registradas en las estaciones climatológicas, varían entre 777.0 mm y 947.0 mm -- por año, presentándose las más altas en las estaciones Echeverría (923.0 mm) y Tlahuapan (947.0 mm). Las más bajas precipitaciones se registran en Balcón del Diablo (777.0 mm) y Apizaco (811.1 mm).

De acuerdo con el número y distribución de las estaciones climatológicas las más representativas por su área de influencia y por su precipitación media anual más próxima a la media anual del área de estudio son:

| Estación    | Area de Influencia<br>% | Prec. Media<br>Anual |
|-------------|-------------------------|----------------------|
| Atlixco     | 9.5                     | 886.5                |
| Tlaxcala    | 22.3                    | 856.9                |
| Huejotzingo | 23.3                    | 871.2                |

En las gráficas III.2.1 a III.2.3 se muestran las variaciones anuales de la altura de precipitación registradas durante el período 1970-1981, en las estaciones mencionadas anteriormente. En la gráfica III.2.4 se muestra la variación anual de la precipitación para el período 1974-1981 del área de estudio.

#### Precipitación Media Mensual

La precipitación media mensual en el período 1970-1981, fue de 72.5 mm. El cálculo de esta precipitación se efectuó también por el método de polígonos de Thiessen. En la tabla III.2.3 se muestran los resultados obtenidos y en la gráfica III.2.5 una representación de los mismos. En esta gráfica puede apreciarse que hay una concentración más intensa de las lluvias en el período que va de Mayo a Octubre, alcanzando un valor promedio la altura de precipitación de 180.5 mm en el mes de Junio. Asimismo, en el período de Noviembre al mes de Abril, se tienen valores promedios de precipitación pequeños siendo el más bajo de 5.5 mm en el mes de Diciembre.

### III.2.2 Temperatura.

La temperatura media anual es de 15.3°C registrándose - el valor más alto en la estación climatológica de Atlixco - - (18.3°C) y el más bajo en las estaciones de Hueyotlipan y Api zaco (13.6°C). El cálculo de la temperatura media anual se -- presenta en la tabla III.2.4.

La temperatura media mensual es de 15.2°C; los meses de temperaturas cálidas son de Abril a Septiembre con temperatu ras medias entre 16.2°C y 17.8°C; los meses con temperaturas frías son de Diciembre a Febrero con temperaturas medias en-- tre 11.6°C y 13.1°C. En la tabla III.2.5 se presenta el cálcu lo de la temperatura media mensual.

### III.2.3 Evaporación.

La evaporación media anual es de 1859.3 mm registrándose se el valor más alto en Balcón del Diablo (2018.5 mm).

La evaporación media mensual es de 155.3 mm, siendo Mar zo el mes con el valor más alto (204.4 mm) y Diciembre el mes con el valor menor (123.1 mm). El cálculo respectivo se pre-- senta en la tabla III.2.6.

### III.2.4 Evapotranspiración.

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizaron-- dos métodos basados en las fórmulas de L. Turc y M. Coutagne.

Los datos usados para aplicar la fórmula de L. Turc --- fueron los de precipitación y temperatura de cada una de las estaciones que cuentan con esa información. Con los valores de evapotranspiración y los de las áreas de influencia se cal-- cularon los volúmenes evapotranspirados en el área de cada es tación.



La fórmula de L. Turc es la siguiente:

$$E_{tr} = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

donde:

$E_{tr}$ , es la evapotranspiración real anual en mm

$P$ , es la precipitación anual, en mm

$$L = 300 + 25T + 0.05 T^3$$

$T$ , es la temperatura media anual, en °C.

Los resultados obtenidos aparecen en las tablas III.2.7 y III.2.8 obteniendo una lámina media de evapotranspiración - real de 0.63m/año.

Los datos usados para aplicar la fórmula de M. Coutagne fueron también los de precipitación y temperatura.

La fórmula de M. Coutagne es la siguiente:

$$D = P - \lambda P^2$$

donde:

$D$ , es el déficit de escurrimiento o evapotranspiración - real

$P$ , es la precipitación media anual, en m.

$$\lambda = \frac{1}{0.8 + 0.14T}$$

$T$ , es la temperatura media anual, en °C.

Los resultados aparecen en las tablas III.2.9 y III.2.10 obteniendo una lámina media de evapotranspiración real de - - 0.614m/año.

### III.3 Descripción Hidrográfica.

Río Zahuapan. Desde su nacimiento hasta la presa San José Atlanga este río conserva una dirección predominante Norte-Sur y recoge los escurrimientos superficiales de los cerros del Tezoyo al oeste, Peñón del Rosario y Huintepétl al norte y San Gregorio al este. A partir de esta presa sigue una dirección aproximada noreste-suroeste, hasta el poblado de Atlangatepec, desde donde se desvía hacia el sureste para pasar cerca del poblado de Apizaco, entre el cerro de San Simón y la población anterior. Después cambia su dirección hacia el oeste hasta pasar por la ciudad de Tlaxcala. Posteriormente, un kilómetro aguas abajo, recibe las aportaciones del río Totolac. Después, 6 Km. aguas abajo, recibe, por su margen derecha los escurrimientos del río Jilotepec, y 13 Km. más adelante se le une el río San Juan. El recorrido del río Zahuapan después de pasar por Tlaxcala, tiene una dirección suroeste hasta pasar en medio de los cerros San Miguel y Zompitcatl, desde donde se desvía hacia el sureste hasta confluir con el río Atoyac.

Río Atoyac. El río Atoyac nace en la región noroeste de la zona en estudio, en los límites de los estados de México y Puebla. Toma el nombre de Atoyac a partir de la confluencia de los ríos Tlahuapan y Turín, que junto con los de Otlati y Atotonilco, forman el cauce original del río. La dirección del río Atoyac es predominante noroeste-sureste hasta su confluencia con el río Zahuapan. Por la margen izquierda se le une el río Ajejela, a la altura de la población de Tepetitla, y sobre la margen derecha confluye el río Tlahuapan, a la altura del poblado de San Martín Texmelucan. Después de su confluencia con el río Zahuapan, toma dirección norte sur, pasa entre la ciudad de Puebla y la de Cholula y llega a descargar sus aguas a la presa de Valsequillo.

### III.4 Aprovechamientos Hidráulicos.

Los ríos Atoyac y Zahuapan cuentan con presas de almacenamiento y presas derivadoras utilizadas para almacenar y derivar sus escurrimientos y utilizarlos para el riego, dentro y fuera de la zona de estudio. Aquí únicamente se hará una descripción de la presa Manuel Avila Camacho (Valsequillo) por ser el vaso de almacenamiento más importante de la región.

Dicha presa fue construida en 1946 con objeto de regularizar y aprovechar para riego, los escurrimientos del río Atoyac, y beneficiar 33 380 has., comprendidas en los valles de Tecamachalco, San Jerónimo, Tlacotepec y Tehuacan. La capacidad total del vaso, a la elevación de 2059 m, es de 304 millones de metros cúbicos, de los cuales, 22 corresponden a la capacidad de azolves. La presa consiste esencialmente de una cor-tina del tipo de tierra, provista en la margen izquierda de una obra de toma del tipo torre, con un gasto máximo de diseño de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  y de la obra de excedencias, que también se encuentra alojada en la margen izquierda. Esta obra es del tipo de canal lateral con cresta vertedora de perfil Creager, y canal de descarga en régimen acelerado que remata en un deflector. El gasto de la avenida de diseño es de  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$ , y el gasto de la capacidad máxima de descarga de  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ , con carga de 3 m sobre la cresta del vertedor.

### III.5 Análisis del Escurrimiento del Río Atoyac.

Mediante los registros de los gastos medios diarios en la estación hidrométrica de Echeverría se hizo el análisis del río Atoyac para conocer la aportación del acuífero al río en la época de estiaje. La información utilizada para hacer este análisis es la que corresponde al período 1970-1977.

La ecuación que nos expresa el escurrimiento base de una corriente perenne, como el río Atoyac, durante el período de estiaje, es la siguiente:

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \quad (\text{III.1})$$

donde  $Q_t$  es el caudal en el instante  $t$  en función del caudal  $Q_0$  en un instante  $t_0$  anterior, tomado como origen de período de recesión;  $\alpha$  es el coeficiente de decaimiento, igual a:

$$\alpha = \frac{\ln(Q_0/Q_t)}{t} \quad (\text{III.2})$$

La fórmula III.1 puede escribirse también bajo la forma:

$$\log Q_t = \log Q_0 - \alpha t \log e \quad (\text{III.3})$$

que muestra que en coordenadas semilogarítmicas la curva de descenso esta representada por líneas rectas.

El volumen de flujo base se calculó con la ecuación:

$$V = \frac{Q_0 - Q_t}{\alpha} \quad (\text{III.4})$$

En la tabla III.7.1 se presentan los volúmenes de flujo-base obtenidos para el período 1970-1977. El volumen de flujo-base medio anual fue de 93,544 millones de metros cúbicos. Este último resultado posteriormente se aplicará al hacer el balance de aguas subterráneas.

CARACTERISTICAS DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS

| ESTACION CLIMATOLOGICA | OPERADA POR | ESTADO   | LATITUD   | LONGITUD  | PERIODO CON DATOS |             |             |
|------------------------|-------------|----------|-----------|-----------|-------------------|-------------|-------------|
|                        |             |          |           |           | LLUVIA            | TEMPERATURA | EVAPORACION |
| ECHEVERRIA             | S.A.R.H     | PUEBLA   | 18°59'00" | 98°17'00" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1970 - 81   |
| BALCON DEL DIABLO      | S.A.R.H     | PUEBLA   | 18°55'00" | 98°06'30" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1970 - 81   |
| ATLIXCO                | S.A.R.H     | PUEBLA   | 18°54'30" | 98°26'30" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1970 - 81   |
| APIZACO                | S.A.R.H.    | TLAXCALA | 19°24'45" | 98°09'00" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1970 - 81   |
| TLAHUAPAN              | S.A.R.H.    | PUEBLA   | 19°19'38" | 98°34'27" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1970 - 81   |
| TLAXCALA               | S.A.R.H.    | TLAXCALA | 19°19'00" | 98°14'30" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | 1971 - 81   |
| HUEJOTZINGO            | S.M.N.      | PUEBLA   | 19°09'30" | 98°23'30" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | SIN DATOS   |
| HUEYOTLIPAN            | S.A.R.H.    | TLAXCALA | 19°28'30" | 98°20'30" | 1970 - 81         | 1970 - 81   | SIN DATOS   |

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA ANUAL PROMEDIO 1970-1981

| ESTACION CLIMATOLOGICA | AREA DE INFLUENCIA<br>KM <sup>2</sup> | PORCENTAJE<br>DEL AREA<br>TOTAL | PRECIPITACION<br>PROMEDIO | PRECIPITACION<br>PONDERADA |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| EHEVERRIA              | 532.67                                | 19.2                            | 923.0                     | 177.2                      |
| BALCON DEL DIABLO      | 197.34                                | 7.1                             | 777.0                     | 55.2                       |
| ATLIXCO                | 263.82                                | 9.5                             | 886.5                     | 84.2                       |
| IBEXOTLIPAN            | 103.04                                | 3.7                             | 845.0                     | 31.3                       |
| APIZACO                | 151.82                                | 5.5                             | 811.1                     | 44.6                       |
| TIHUAPAN               | 261.82                                | 9.4                             | 947.0                     | 89.0                       |
| TIANCALA               | 620.23                                | 22.3                            | 856.9                     | 191.1                      |
| HUEJOPZINGO            | 647.39                                | 23.3                            | 871.2                     | 203.0                      |
| SUMA TOTAL             | 2,778.13                              | 100.0                           |                           | 875.6                      |

PRECIPITACION MEDIA ANUAL = 875.6 mm

VOLUMEN MEDIO ANUAL LLOVIDO = ( 0.8756 m ) ( 2,778.13 × 10<sup>6</sup> m<sup>2</sup> )

= 2432.53 × 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

TABLA III.2.2

CALCULO DE LA PRECIPITACION MEDIA MENSUAL PERIODO 1970 - 81

| ESTACION CLIMATOLOGICA        | AREA DE INFLUENCIA | 8 A.T | PRECIPITACION MEDIA MENSUAL |             |             |             |              |               |               |               |               |              |             |             |
|-------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
|                               |                    |       | ENERO                       | FEBRERO     | MARZO       | ABRIL       | MAYO         | JUNIO         | JULIO         | AGOSTO        | SEPTIEMBRE    | OCTUBRE      | NOV         | DIC         |
| ECHIVERRIA                    | 532.67             | 19.2  | 11.0<br>2.1                 | 4.3<br>0.8  | 9.9<br>1.9  | 19.9<br>3.8 | 79.6<br>15.3 | 211.4<br>40.6 | 176.3<br>33.8 | 152.6<br>29.3 | 167.9<br>32.2 | 69.1<br>13.3 | 17.2<br>3.3 | 3.7<br>0.7  |
| BALCON DEL DIABLO             | 197.34             | 7.1   | 8.9<br>0.6                  | 5.8<br>0.4  | 7.4<br>0.5  | 23.2<br>1.6 | 104.9<br>7.4 | 185.4<br>13.2 | 133.0<br>9.4  | 114.3<br>8.1  | 128.0<br>9.1  | 45.4<br>3.2  | 10.6<br>0.8 | 10.1<br>0.7 |
| ATLIXCO                       | 261.82             | 9.5   | 8.7<br>0.8                  | 4.2<br>0.4  | 6.2<br>0.6  | 15.4<br>1.5 | 65.2<br>6.2  | 201.3<br>19.1 | 159.1<br>19.1 | 164.8<br>19.7 | 175.7<br>16.7 | 71.9<br>6.8  | 9.9<br>0.9  | 2.3<br>0.2  |
| HUEYOTLIPAN                   | 103.04             | 4.7   | 6.0<br>0.2                  | 8.8<br>0.3  | 16.9<br>0.6 | 32.1<br>1.2 | 96.2<br>3.6  | 157.3<br>5.8  | 167.5<br>6.2  | 168.0<br>6.2  | 106.5<br>3.9  | 56.4<br>2.1  | 19.9<br>0.7 | 9.3<br>0.3  |
| APIZACO                       | 151.82             | 5.5   | 9.1<br>0.5                  | 8.7<br>0.5  | 17.0<br>0.9 | 47.5<br>2.6 | 90.6<br>5.0  | 152.7<br>8.4  | 141.7<br>7.8  | 129.8<br>7.1  | 129.1<br>7.1  | 63.3<br>3.5  | 16.1<br>0.9 | 5.7<br>0.3  |
| TLARUAPAN                     | 261.82             | 9.4   | 9.6<br>0.9                  | 13.1<br>1.2 | 15.3<br>1.4 | 40.2<br>3.8 | 97.2<br>9.1  | 206.8<br>19.4 | 176.3<br>16.6 | 154.3<br>14.5 | 140.5<br>13.2 | 73.9<br>6.9  | 12.4<br>1.2 | 7.2<br>0.7  |
| TLAXCALA                      | 620.23             | 22.3  | 5.8<br>1.3                  | 8.2<br>1.8  | 10.3<br>2.3 | 24.7<br>5.5 | 89.8<br>20.0 | 172.7<br>38.5 | 176.6<br>39.4 | 162.4<br>36.2 | 128.8<br>28.7 | 63.8<br>14.2 | 10.2<br>2.3 | 3.6<br>0.8  |
| HUEJOTZINGO                   | 647.39             | 23.3  | 9.8<br>2.3                  | 3.7<br>0.9  | 14.5<br>3.4 | 24.0<br>5.6 | 65.4<br>15.2 | 151.4<br>35.3 | 143.5<br>33.4 | 175.6<br>40.9 | 171.2<br>39.9 | 69.5<br>16.2 | 13.5<br>3.1 | 7.6<br>1.8  |
| PRECIPITACION MEDIA EN EL MES |                    |       | 8.7                         | 6.3         | 11.6        | 25.6        | 81.8         | 180.5         | 161.7         | 158.0         | 150.8         | 66.2         | 13.2        | 5.5         |

PRECIPITACION MEDIA MENSUAL = 72.5 mm

TABLA III.2.3

TEMPERATURA MEDIA ANUAL

| ESTACION CLIMATOLOGICA | TEMPERATURA PROMEDIO REGISTRADA (°C) |
|------------------------|--------------------------------------|
| ECHEVERRIA             | 14.7                                 |
| BALCON DEL DIABLO      | 17.0                                 |
| ATLIXCO                | 18.3                                 |
| HUEYOTLIPAN            | 13.6                                 |
| APIZACO                | 13.6                                 |
| TLAHUAPAN              | 13.9                                 |
| TLAXCALA               | 15.3                                 |
| HUEJOTZINGO            | 15.6                                 |

TEMPERATURA MEDIA ANUAL = 15.3°C

TABLA III.2.4



CALCULO DE LA TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

| ESTACION CLIMATOLOGICA | E    | F    | M    | A    | M    | J    | J    | A    | S    | O    | N    | D    |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| EHEVERRIA              | 10.7 | 11.7 | 14.6 | 16.5 | 17.7 | 17.3 | 16.4 | 16.4 | 16.2 | 15.1 | 12.9 | 11.2 |
| BALCON DEL DIABLO      | 13.6 | 14.6 | 17.3 | 19.1 | 19.9 | 18.8 | 18.0 | 18.0 | 17.8 | 17.1 | 15.4 | 14.2 |
| ATLIXCO                | 15.5 | 16.4 | 18.4 | 19.5 | 20.6 | 19.8 | 19.2 | 19.2 | 19.0 | 18.5 | 17.3 | 15.9 |
| HUEYOTLIPAN            | 11.0 | 11.9 | 14.1 | 15.0 | 15.7 | 15.0 | 14.2 | 14.2 | 14.4 | 14.1 | 12.9 | 11.4 |
| APIZACO                | 6.9  | 11.5 | 14.1 | 15.4 | 16.2 | 15.5 | 14.7 | 14.8 | 14.8 | 13.7 | 11.8 | 10.6 |
| TLAHUAPAN              | 11.8 | 12.5 | 14.4 | 15.4 | 15.5 | 14.8 | 14.2 | 14.4 | 14.3 | 13.9 | 13.1 | 12.1 |
| TLAXCALA               | 11.9 | 12.9 | 15.5 | 17.1 | 18.2 | 17.4 | 16.8 | 16.9 | 16.5 | 16.0 | 13.9 | 12.6 |
| HUEJOTZINGO            | 11.8 | 13.2 | 15.8 | 17.4 | 18.8 | 18.3 | 17.2 | 17.3 | 16.7 | 15.6 | 13.7 | 12.2 |
| MEDIA                  | 11.6 | 13.1 | 15.5 | 16.9 | 17.8 | 17.1 | 16.3 | 16.4 | 16.2 | 15.5 | 13.9 | 12.5 |

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL = 15.2°C

TABLA III.2.5

## CALCULO DE LA EVAPORACION MEDIA MENSUAL

| ESTACION CLIMATOLOGICA | 'E    | F     | M     | A     | M     | J     | J     | A     | S     | O     | N     | D     |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ECHIVERRIA             | 137.9 | 164.1 | 234.8 | 232.3 | 221.2 | 179.2 | 157.9 | 156.3 | 139.3 | 139.3 | 123.1 | 123.3 |
| BALCON DEL DIABLO      | 139.3 | 164.8 | 230.9 | 234.9 | 221.9 | 165.2 | 162.1 | 156.8 | 131.1 | 146.6 | 135.6 | 129.3 |
| ATLIXCO                | 141.6 | 151.1 | 201.8 | 200.1 | 204.2 | 166.2 | 163.2 | 160.8 | 151.3 | 155.2 | 138.3 | 139.0 |
| APIZACO                | 129.8 | 145.5 | 187.6 | 193.7 | 184.0 | 156.9 | 147.3 | 139.4 | 131.2 | 135.5 | 127.9 | 121.7 |
| TLAHUAPAN              | 105.0 | 113.6 | 149.4 | 149.1 | 142.2 | 120.5 | 114.0 | 117.0 | 112.5 | 102.3 | 94.0  | 96.4  |
| TLAXCALA               | 143.3 | 162.5 | 222.2 | 214.1 | 200.9 | 163.7 | 152.8 | 150.3 | 138.2 | 155.5 | 136.9 | 129.2 |
| MEDIA                  | 132.8 | 150.3 | 204.4 | 204.0 | 195.7 | 158.6 | 149.5 | 146.8 | 133.9 | 139.1 | 126.0 | 123.1 |

EVAPORACION MEDIA MENSUAL = 135.3 mm  
 EVAPORACION MEDIA ANUAL = 1859.3 mm

TABLA III.2.6

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL REAL SEGUN  
L. TURC PERIODO 1970 - 81

| ESTACION CLIMATOLOGICA | PRECIPITACION MEDIA ANUAL | TEMPERATURA MEDIA ANUAL | EVAPOTRANSPIRACION MEDIA REAL ANUAL |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| EHEVERRIA              | 923.0                     | 14.7                    | 629.82                              |
| BALCON DEL DIABLO      | 777.0                     | 17.0                    | 625.96                              |
| ATLIXCO                | 886.5                     | 18.3                    | 702.10                              |
| HUEYOTLIPAN            | 845.0                     | 13.6                    | 580.67                              |
| APIZACO                | 811.1                     | 13.6                    | 570.42                              |
| TLAHUAPAN              | 947.0                     | 13.9                    | 615.49                              |
| TLAXCALA               | 856.9                     | 15.3                    | 623.44                              |
| HUEJOTZINGO            | 871.2                     | 15.6                    | 635.30                              |

TABLA III.2.7

VOLUMENES MEDIOS ANUALES REALES EVAPOTRANSPIRADOS  
SEGUN L. TURC PERIODO 1970 - 81

| ESTACION CLIMATOLOGICA | EVAPOTRANSPIRACION MEDIA REAL ANUAL | AREA DE INFLUENCIA SEGUN THIJSSEN | VOLUMEN MEDIO EVAPOTRANSPIRADO |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                        | mm                                  | Km <sup>2</sup>                   | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |
| ECHIEVERRIA            | 629.82                              | 532.67                            | 335.486                        |
| BALCON DEL DIABLO      | 625.96                              | 197.34                            | 123.527                        |
| ATLIXCO                | 702.10                              | 263.82                            | 185.228                        |
| HUEYOTLIPAN            | 580.67                              | 103.04                            | 59.832                         |
| APIZACO                | 570.42                              | 151.82                            | 86.601                         |
| TLAHUAPAN              | 615.42                              | 261.82                            | 161.148                        |
| TLAXCALA               | 623.44                              | 620.23                            | 386.676                        |
| HUEJOTZINGO            | 635.30                              | 647.39                            | 411.287                        |
| SUMA                   |                                     | 2778.13                           | 1749.785                       |

$$\text{LAMINA MEDIA DE EVAPOTRANSPIRACION REAL SEGUN EL METODO DE L. TURC.} = \frac{1749.785 \times 10^6 \text{ m}^3}{2778.13 \text{ Km}^2} = 0.630 \text{ m/año}$$

TABLA III.2.8

EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL REAL SEGUN  
M. COUTAGNE PERIODO 1970-81

| ESTACION CLIMATOLOGICA | PRECIPITACION MEDIA ANUAL | TEMPERATURA MEDIA ANUAL | EVAPOTRANSPIRACION MEDIA REAL ANUAL |
|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
|                        | mm                        | °C                      | mm                                  |
| ECHEVERRIA             | 923.0                     | 14.7                    | 624.9                               |
| BALCON DEL DIABLO      | 777.0                     | 17.0                    | 587.15                              |
| ATLIXCO                | 886.5                     | 18.3                    | 652.51                              |
| HUEYOTIPAN             | 845.0                     | 13.6                    | 580.94                              |
| APIZACO                | 811.1                     | 13.6                    | 567.80                              |
| TLARAPAN               | 947.0                     | 13.9                    | 620.41                              |
| TLAXCALA               | 856.9                     | 15.3                    | 607.31                              |
| HUEJOTZINGO            | 871.2                     | 15.6                    | 616.85                              |

TABLA III.2.9

VOLUMENES MEDIOS ANUALES REALES EVAPOTRANSPIRADOS  
SEGUN M. COUJAGRE PERIODO 1970 - 81

| ESTACION CLIMATOLOGICA | EVAPOTRANSPIRACION MEDIA ANUAL REAL | AREA DE INFLUENCIA SEGUN THIESSEN | VOLUMEN MEDIO EVAPOTRANSPIRADO |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
|                        | mm                                  | Km <sup>2</sup>                   | 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> |
| ECHIEVERRIA            | 624.9                               | 532.67                            | 332.865                        |
| BALCON DEL DIABLO      | 587.15                              | 197.34                            | 115.868                        |
| ATLIXCO                | 652.51                              | 263.82                            | 172.145                        |
| HUEYOTLIPAN            | 580.94                              | 103.04                            | 59.860                         |
| APIZACO                | 567.80                              | 151.82                            | 86.203                         |
| TLAHUAPAN              | 620.41                              | 261.82                            | 162.436                        |
| TLAXCALA               | 607.31                              | 620.23                            | 376.672                        |
| HUEJOTZINGO            | 616.85                              | 647.39                            | 399.343                        |
| SUMA                   |                                     | 2778.13                           | 1705.392                       |

$$\text{LAMINA MEDIA DE EVAPOTRANSPIRACION REAL SEGUN EL METODO DE M. COUJAGRE} = \frac{1705.392 \times 10^6 \text{ m}^3}{2778.13 \text{ Km}^2} = 0.614 \text{ m/año}$$

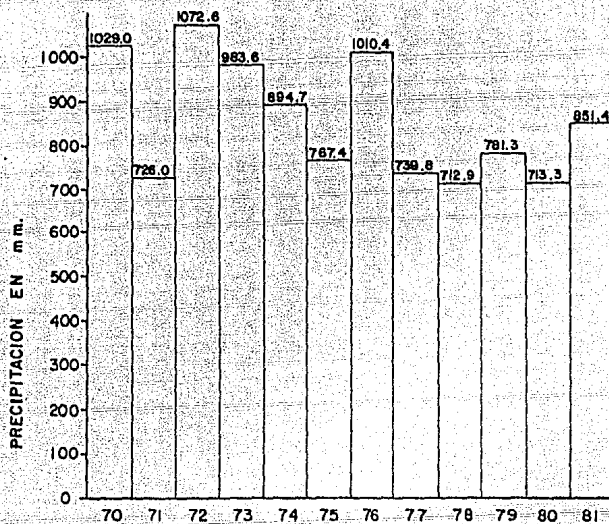
TABLA III.2.10

ANALISIS DEL ESCURRIMIENTO DEL RIO NTOYAC  
DURANTE EL PERIODO DE ESTIAJE.

| AÑO   | PERIODO         | TIEMPO<br>Seg. x 10 <sup>6</sup> | Q0<br>(m <sup>3</sup> /S) | Qf<br>(m <sup>3</sup> /S) | Q0/Qf | LnQ0/Qf | CC    | V<br>m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup> |
|-------|-----------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------|-------|---------|-------|---------------------------------------|
| 70-71 | 30 SEP-20 MAYO  | 20.045                           | 9.6                       | 2.0                       | 4.8   | 1.568   | 0.078 | 97.436                                |
| 71-72 | 17 OCT-16 ABRIL | 16.589                           | 9.0                       | 2.5                       | 3.6   | 1.281   | 0.077 | 84.416                                |
| 72-73 | 29 SEP-13 ABRIL | 16.934                           | 12.5                      | 2.9                       | 4.31  | 1.461   | 0.086 | 111.628                               |
| 73-74 | 4 NOV-28 ABRIL  | 15.120                           | 11.6                      | 3.59                      | 3.23  | 1.172   | 0.077 | 104.026                               |
| 74-75 | 6 OCT-26 ABRIL  | 17.453                           | 10.3                      | 2.5                       | 4.12  | 1.416   | 0.081 | 96.296                                |
| 75-76 | 31 OCT-31 MARZO | 13.133                           | 7.5                       | 3.77                      | 1.99  | 0.688   | 0.052 | 71.731                                |
| 76-77 | 28 OCT-14 ABRIL | 14.515                           | 12.3                      | 2.48                      | 4.96  | 1.601   | 0.110 | 89.273                                |

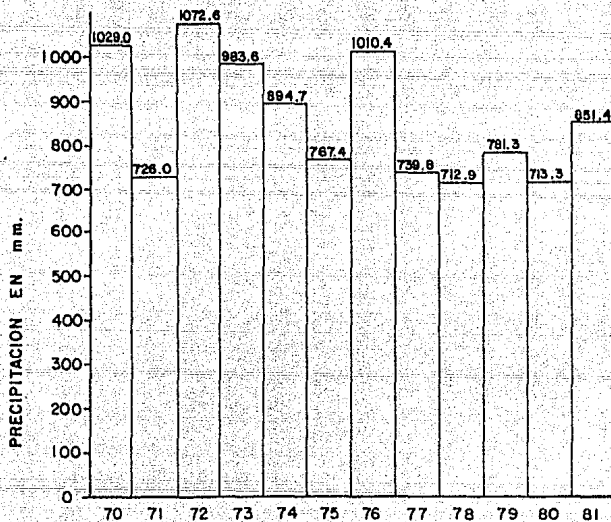
VOLUMEN DE FLUJO BASE MEDIO ANUAL = 93.544 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>

TABLA III.7.1

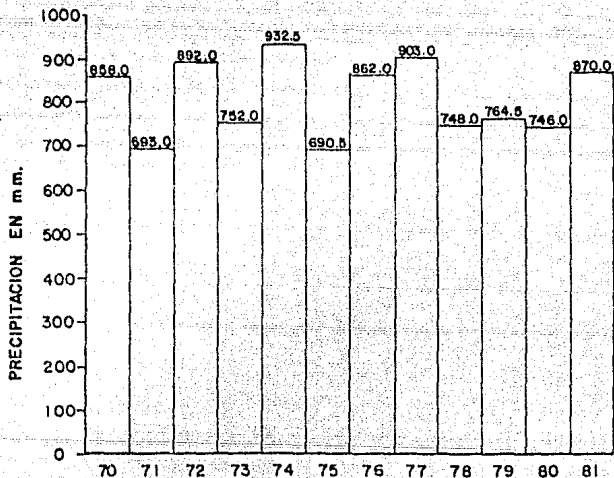


VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION  
ESTACION : TLAXCALA

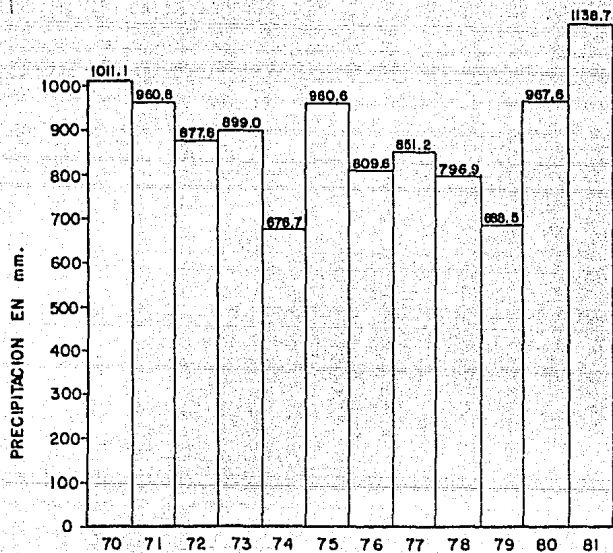




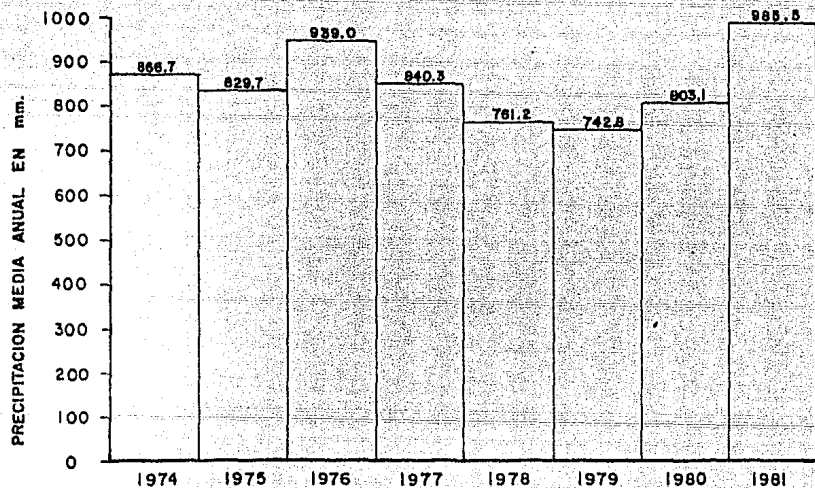
VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION  
ESTACION: TLAXCALA



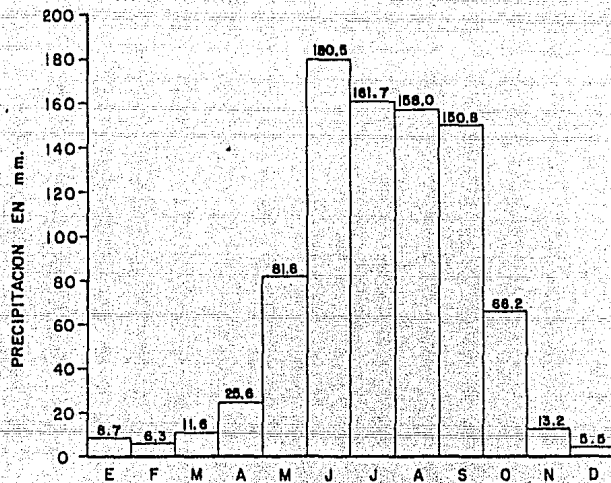
VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION  
ESTACION : HUEJOTZINGO



VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION  
ESTACION : ATLXCO



VARIACION ANUAL DE LA PRECIPITACION PARA  
EL PERIODO 1974-1981



VARIACION MENSUAL DE LA PRECIPITACION

## CAPITULO IV

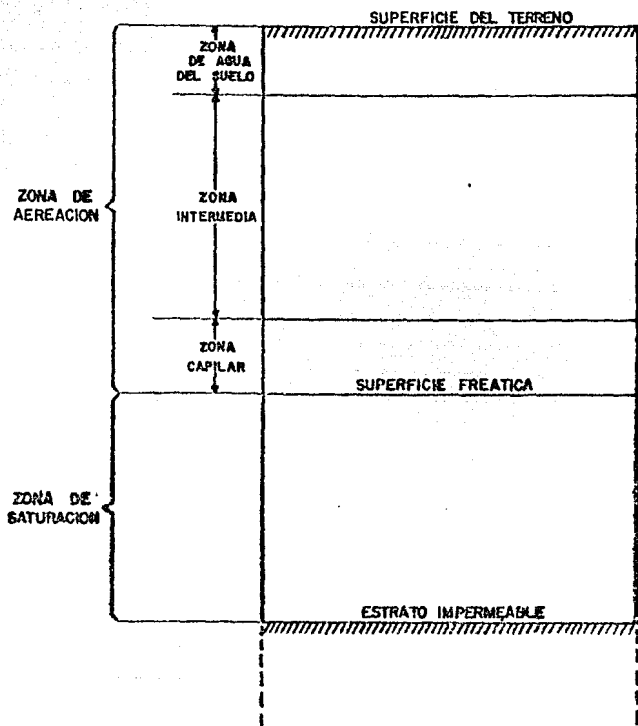
### CONCEPTOS BASICOS. FLUJO EN MEDIOS POROSOS

#### IV.1. EL AGUA EN EL SUBSUELO.

El agua, en el subsuelo, se encuentra distribuída en - dos zonas, a saber: la de aereación y la de saturación (veá- se figura IV.1). La diferencia entre estas dos zonas, radica en que en la primera existen vacíos o intersticios que se en- cuentran parcialmente llenos de agua y aire, mientras que en la segunda todos los vacíos se encuentran llenos por agua.

La zona de aereación podemos subdividirla, a su vez, en zona de agua del suelo, zona intermedia y zona capilar. La - zona de agua del suelo está formada por suelo y otros mate- riales. El agua que allí localizamos es agua infiltrada como consecuencia de lluvia, drenaje o riego. La zona capilar es- tá inmediatamente arriba de la zona de saturación y su espe- sor varía de acuerdo al material que la forme; así, por ejem- plo, en materiales finos la altura capilar puede ser de va- rios metros, mientras que en materiales gruesos, es de vari- os centímetros. La zona intermedia se encuentra entre la zo- na de agua del suelo y la zona capilar. Contiene generalmen- te agua que va camino a la zona de saturación y agua adheri- da a los granos llamada "pelicular".

La zona de saturación tiene como límite superior la su- perficie freática, la cual se define como la superficie satu- rada de un terreno no confinado cuya presión hidrostática es igual a la presión atmosférica.



DISTRIBUCION DEL AGUA EN  
EL SUB-SUELO  
FIG. IV.1

Como ya dijimos, en la zona de saturación todos los vacíos se encuentran llenos de agua y aquellos estratos que se encuentren en esta zona y que sean capaces de almacenar y transmitir agua en cantidades significativas, se llaman acuíferos. Los acuíferos se pueden clasificar en no-confinados o libres y confinados.

Un acuífero libre es aquel que tiene como límite superior al nivel fréatico o superficie freática. Las variaciones en el espesor del acuífero corresponden a variaciones en dicho nivel o superficie.

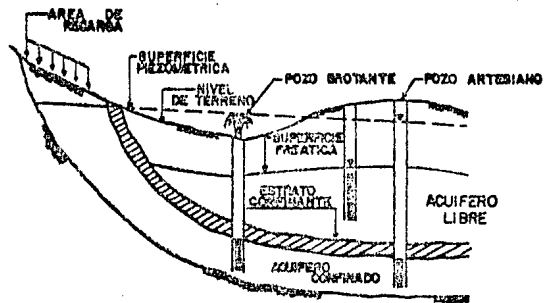
Un acuífero confinado es aquel que se encuentra limitado superior e inferiormente por estratos impermeables. La presión del agua que contiene es mayor que la atmosférica.

Su superficie piezométrica es una superficie imaginaria que está definida por los niveles que alcanza el agua en los pozos que penetran dicho acuífero. Cuando estos niveles ascienden por encima de la superficie del terreno, tendremos un pozo brotante. Los acuíferos confinados pueden llegar a funcionar como libres si el nivel del agua se abate por abajo del estrato superior impermeable limitante.

Una condición intermedia entre un acuífero confinado y uno libre es el acuífero semi-confinado, el cual puede recibir o ceder caudales significativos de agua a través de los estratos que lo limitan.

En la figura IV.2 mostramos los diferentes tipos de acuíferos definidos en los párrafos anteriores.





## TIPOS DE ACUIFEROS

FIG. IV.2

## IV.2. CONCEPTOS BASICOS.

Porosidad (n). Se define a la porosidad como la relación que existe entre el volumen de vacíos (Vv) y el volumen total (Vt) de una roca. La porosidad nos da una idea de la cantidad de agua que puede almacenar un acuífero y se expresa como porcentaje por medio de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Vv}{Vt} \times 100$$

Rendimiento Específico (Sy). Es la cantidad de agua que libera una roca por unidad de volumen, cuando el nivel freático tiene un abatimiento unitario.

Retención Específica (r). Es la cantidad de agua que retiene una roca en contra de la gravedad, por unidad de volumen de una roca.

De acuerdo con las definiciones anteriores, podemos establecer una relación entre la porosidad, el rendimiento específico y la retención específica, por medio de la siguiente ecuación:

$$n = Sy + r$$

### Carga Hidráulica.

El teorema de Bernoulli establece que la energía total, expresada como una carga (h), en un punto dentro del seno de un líquido en movimiento es:

$$h = Z + P/\gamma + v^2/2g$$

o sea, la suma de las cargas de posición (Z), presión  $(p/\gamma)$  y velocidad  $(v^2/2g)$ . Ahora bien, en un medio poroso, ésta última es prácticamente despreciable respecto a las otras dos, debido a que la velocidad de circulación del agua es muy pequeña. Por lo tanto, para fines prácticos, en la gran mayoría de los problemas geohidrológicos la carga total o hidráulica se puede expresar:

$$h = Z + p/\gamma$$

#### Gradiente Hidráulico (i).

Definido como la pendiente de la superficie freática o piezométrica en el punto considerado. Es un concepto de primordial importancia en el fenómeno del flujo subterráneo, ya que su valor depende, en parte, de la velocidad de circulación del agua. Es un parámetro adimensional.

#### Permeabilidad.

La permeabilidad es una de las características de las rocas de mayor importancia en el estudio de las aguas subterráneas y es una medida de la facilidad con que el agua circula a través de un medio poroso. Su valor está dado por el coeficiente de permeabilidad K, que se define como el caudal de agua que circula a través de un área unitaria, transversal al flujo, bajo un gradiente hidráulico unitario. Por medio de pruebas de laboratorio o de campo podemos determinar el valor de K. Dentro de estas últimas, las pruebas de bombeo son las más confiables.

En la siguiente tabla presentamos los materiales más comunes y sus valores representativos de porosidad, rendimiento específico y permeabilidad.

| MATERIAL      | n (%)   | Sy (%)  | K (m/seg.)                              |
|---------------|---------|---------|---|
| ARCILLA       | 45 a 55 | 1 a 10  | $10^{-10}$ a $2 \times 10^{-7}$         |
| ARENA         | 35 a 40 | 10 a 30 | $10^{-5}$ a $3 \times 10^{-4}$          |
| GRAVA         | 30 a 40 | 15 a 30 | $10^{-4}$ a $1.5 \times 10^{-3}$        |
| GRAVA Y ARENA | 20 a 35 | 15 a 25 | $2 \times 10^{-5}$ a $5 \times 10^{-4}$ |
| ARENISCA      | 10 a 20 | 5 a 15  | $10^{-8}$ a $5 \times 10^{-6}$          |
| CALIZA        | 1 a 10  | 0.5 a 5 | muy variable.                           |

Analizando la tabla anterior, podemos observar que una elevada porosidad no necesariamente implica una permeabilidad grande. Además, para que un acuífero sea susceptible de explotarse, no sólo debe ser capaz de almacenar cantidades significativas de agua, sino también permitir su movimiento hacia las captaciones.

Transmisibilidad (T). Es la capacidad de un acuífero -- para transmitir agua a través de todo su espesor y es igual al producto del coeficiente de permeabilidad por el espesor saturado ( $T = K \times b$ ).

Coficiente de Almacenamiento (S).

Se define como la cantidad de agua liberada o almacenada, por unidad de área horizontal y por unidad de variación del nivel piezométrico.

Ley de Darcy.

En 1856, Henry Darcy estudió experimentalmente el fenómeno del flujo a través de filtros de arena. Como resultado de sus observaciones estableció la ley que lleva su nombre, la cual constituye una de las bases de la Teoría del Flujo en Medios Porosos.

De acuerdo con esta ley, la velocidad con que circula - un fluido a través de un material poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga hidráulica e inversamente proporcional a la longitud recorrida, esto es, directamente proporcional al gradiente hidráulico. Matemáticamente, lo anterior puede expresarse de la siguiente manera:  $V = -Ki$  siendo  $v$  la velocidad del fluido;  $i$ , el gradiente hidráulico, y  $K$  el coeficiente de Permeabilidad. El signo negativo indica que el flujo corre en sentido decreciente de la carga hidráulica.

#### IV.3. ECUACIONES GENERALES DE FLUJO.

En forma general, la ley de Darcy puede ser escrita de la siguiente manera:

$$v = -K \frac{\partial h}{\partial s}$$

donde  $v$ ,  $K$  y  $h$  han sido previamente definidos, y  $s$  es la distancia de recorrido del flujo de agua. Para flujo horizontal esta ecuación puede ser generalizada considerando el flujo a través de un elemento cuadrado como lo mostramos en la fig. - IV.3. Las componentes de entrada y salida del flujo en la dirección pueden ser establecidas como sigue:

$$q_x, i = -T_x W \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)_i; q_x, o = -T_x W \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right)_o$$

donde  $T_x$  es la transmisibilidad en la dirección  $x$ ,  $W$  es la longitud de un lado del cuadrado,  $(\partial h / \partial x)_i$  y  $(\partial h / \partial x)_o$  definen el gradiente hidráulico a la entrada y salida del elemento cuadrado, respectivamente.

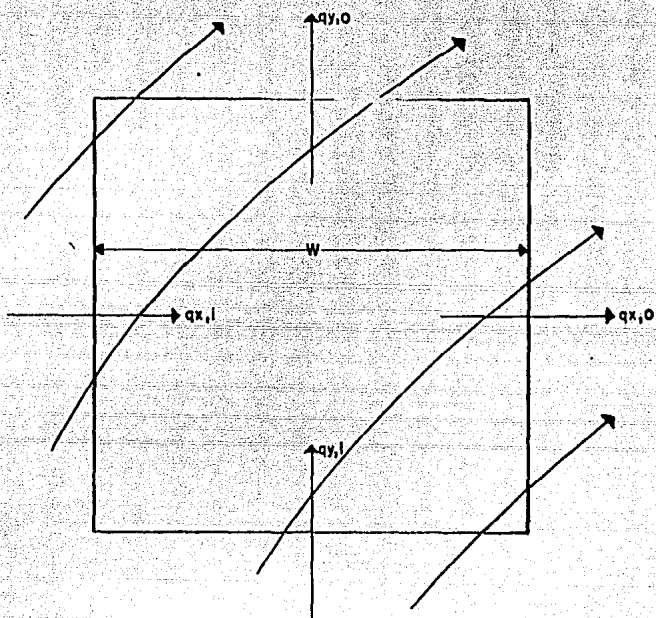


DIAGRAMA DE FLUJO HORIZONTAL  
A TRAVES DE UN ELEMENTO CUADRADO DE UN ACUIFERO

FIG. IV.3

Ecuaciones similares pueden ser escritas para el flujo en la dirección y. El volumen de agua almacenada o liberada en el elemento, como resultado de estos flujos, por continuidad, es igual a:

$$(q_x, i - q_x, o) + (q_y, i - q_y, o) = -S W^2 \frac{\partial h}{\partial t}$$

donde S es el coeficiente de almacenamiento.

Sustituyendo valores tendremos:

$$-T_x \frac{(\partial h / \partial x)_i - (\partial h / \partial x)_o}{W} - T_y \frac{(\partial h / \partial y)_i - (\partial h / \partial y)_o}{W} = -S \frac{\partial h}{\partial t}$$

Si el valor de W llega a ser infinitesimal, la derivada del primer miembro llega a ser la segunda derivada de h, de tal forma que

$$T_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = S \frac{\partial h}{\partial t}$$

Esta es la ecuación diferencial parcial general para flujo no establecido en la dirección horizontal.

En el espacio tridimensional, utilizando un elemento de cubo en lugar de un cuadrado tendremos

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

donde  $S_s$  es el almacenamiento específico, definido como el volumen de agua que libera un acuífero por unidad de volumen cuando la carga hidráulica decrece una unidad.

Si el flujo es establecido,  $\partial h / \partial t = 0$ ; entonces

$$K_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + K_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

y para un acuífero homogéneo e isótropo, la ecuación se reduce a

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$$

que es la ecuación de Laplace para flujo potencial.

En coordenadas radiales la ecuación para flujo no-establecido es

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

donde  $r$  es la coordenada radial del pozo. Para flujo establecido la ecuación anterior se reduce a

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = 0$$



## CAPITULO V

### TEORIAS DEL FLUJO HACIA POZOS

En el capítulo anterior establecimos las ecuaciones fundamentales que gobiernan el flujo de agua hacia un pozo a través de un medio poroso. Con estas ecuaciones estaremos ahora en posibilidad de atacar problemas prácticos, ya que han sido desarrolladas para flujo establecido y no-establecido, para varios tipos de acuíferos y para varias condiciones especiales de frontera. Aunque los resultados obtenidos al aplicar las ecuaciones, muchas veces nos dan sólo aproximaciones a las condiciones de campo, cuando son aplicadas -- con cierto criterio los resultados son satisfactorios.

#### V.1. Mecanismo del Flujo hacia un Pozo

Cuando un pozo es bombeado, la superficie freática o piezométrica del acuífero es abatida en sus alrededores. El abatimiento provocado es máximo en el pozo de bombeo y decrece conforme aumenta la distancia al pozo, hasta ser prácticamente nulo. Como el abatimiento a cierta distancia del pozo es el mismo en todas direcciones, el área de influencia del bombeo es un círculo (si el acuífero es relativamente homogéneo e isótropo) y en un espacio tridimensional la curva de abatimiento describe una forma cónica conocida como cono de depresión.

El agua bombeada por el pozo es tomada del almacenamiento del acuífero. Si no hay recarga vertical en el área afectada por el bombeo, la depresión piezométrica se va expandiendo afectando un área cada vez mayor.

Al crecer el área afectada, los abatimientos necesarios para mantener la extracción del pozo son cada vez menores, alcanzándose un momento en el que la superficie piezométrica se estabiliza en las proximidades del pozo. En estas condiciones se dice que el flujo está establecido.

## V.2. Pruebas de Bombeo con Flujo Establecido.

La solución encontrada por Thiem para el sistema representado en la figura V.1, donde el flujo está establecido, es:

$$h_1 - h_2 = \frac{Q}{2\pi Kb} \ln \frac{r_1}{r_2} \quad V.1$$

donde:  $h_1$  y  $h_2$ , son las elevaciones del nivel del agua en los pozos de observación, en m.

$r_1$  y  $r_2$ , son las distancias de los pozos de observación al pozo de bombeo, en m.

$Q$ , el caudal de extracción, en  $m^3/seg$ .

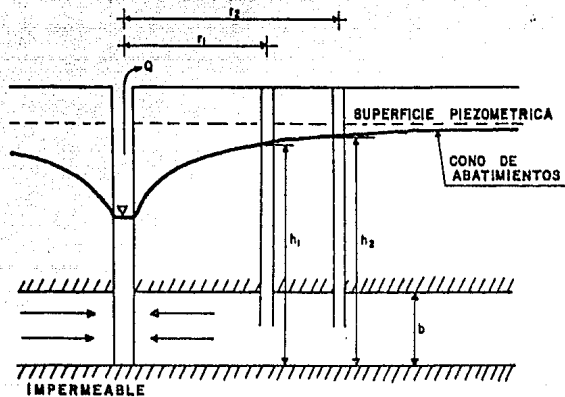
$K$ , la permeabilidad del acuífero, en m/seg.

$b$ , el espesor saturado del acuífero, en m.

Cuando sólo se dispone de un pozo de observación, la permeabilidad se deduce mediante la ecuación:

$$K = \frac{Q}{2\pi b (A_p - A_1)} \ln \frac{r_1}{r_p} \quad V.2$$

donde:  $r_p$  es el radio del pozo de bombeo, en m.



FLUJO RADIAL ESTABLECIDO A UN POZO

FIG. V.1

ap, es el abatimiento registrado en el pozo de bombeo, en m.

La expresión anterior debe ser usada con cierta reserva, debido a que el abatimiento medido en el pozo de bombeo está influido por las pérdidas locales.

La ecuación de Thiem o del flujo establecido se basa en las siguientes hipótesis:

- a) El acuífero es homogéneo e isótropo en el área -- afectada por el bombeo.
- b) El espesor del acuífero es constante.
- c) El pozo penetra totalmente al acuífero.
- d) La superficie piezométrica es horizontal antes de iniciarse el bombeo.
- e) El abatimiento en las proximidades del pozo no varía con el tiempo.

Las pruebas de bombeo con régimen de flujo establecido tienen sus desventajas ya que no podemos conocer el coeficiente de almacenamiento, ni los abatimientos en función del tiempo.

### V.3. Pruebas de Bombeo con Flujo No-Establecido.

La ecuación diferencial aplicable en régimen transitorio en coordenadas polares planas es:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

V.3

donde:  $h$ , es la carga hidráulica, en m.

$r$ , es la distancia al pozo de bombeo, en m.

$S$ , es el coeficiente de almacenamiento.

$T$ , es la transmisibilidad, en  $m^2/\text{seg}$ .

$t$ , es el tiempo en seg.

Fue hasta en años recientes (1935), cuando Theis obtuvo una solución para la ecuación anterior, haciendo una analogía entre el flujo de agua subterránea y la conducción del calor. La solución encontrada es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$$

V.4.

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

V.5.

donde:  $W(u)$ , es conocida como la función de pozo y viene -- tabulada en manuales de matemáticas

$$u, \text{ es igual a } \frac{r^2 S}{4 T t}$$

V.6.

La ecuación V.4. es conocida como la ecuación del no equilibrio o ecuación de Theis y se basa en la siguientes hipótesis:

- a) El acuífero es homogéneo e isótropo.
- b) El espesor saturado del acuífero es constante.
- c) El acuífero tiene extensión lateral infinita.

- d) El caudal bombeado procede del almacenamiento del - acuífero.
- e) El pozo penetra totalmente al acuífero.
- f) El acuífero libera el agua instantáneamente al abatirse la superficie piezométrica.

Debido a las dificultades matemáticas encontradas para aplicar la ecuación V.4, varios investigadores han desarrollado métodos gráfico - numéricos más sencillos que a continuación presentamos.

Teis desarrolló el siguiente método:

a) Trazar la curva tipo en papel logarítmico, teniendo en el eje vertical los valores de  $W(u)$  y en el eje horizontal los valores de  $1/u$ . En la figura V.2 mostramos dicha curva.

b) Trazar la gráfica abatimiento-tiempo también en papel logarítmico, usando los datos obtenidos de la prueba de bombeo.

c) Superponer las dos gráficas construidas como se indicó en los incisos anteriores, manteniendo los ejes paralelos y buscando la coincidencia de la curva tipo y la curva trazada con los datos de campo.

d) Seleccionar un punto cualquiera conocido como punto homólogo, que puede estar dentro de la curva o fuera de ella y obtener los valores correspondientes a ese punto para  $W(u)$ ,  $u$ ,  $a$  y  $t$ .

e) Sustituir los valores en las ecuaciones V.4 y V.6 - despejando los valores de  $T$  y  $S$ .

CURVA TIPO PARA INTERPRETACION DE PRUEBAS DE BOMBEO POR EL METODO DE THEIS

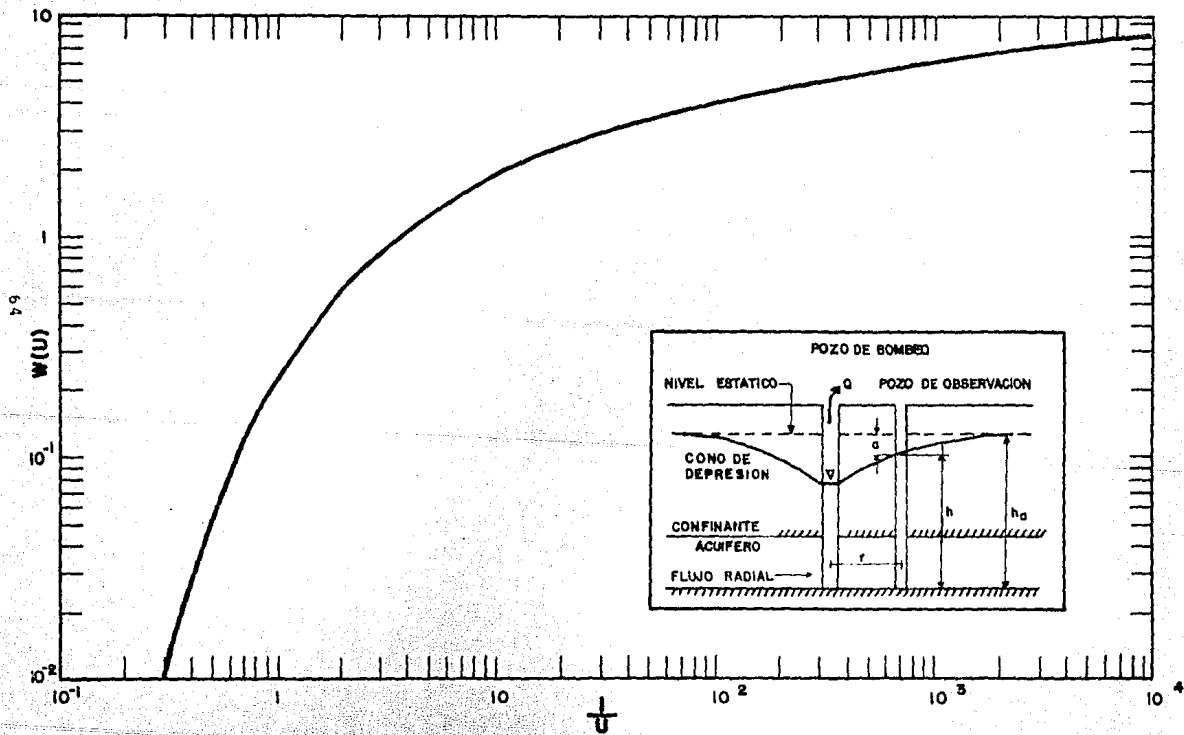


FIG. V.2.

Jacob desarrolló otro método gráfico-numérico ampliamente utilizado debido a su simplicidad. Este método está basado en el hecho de que cuando  $u$  llega a ser pequeño (menor o igual que 0.01), la gráfica de abatimiento contra tiempo describe una línea recta.

El método consiste en lo siguiente:

a) Construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).

b) Pasar una recta por los puntos que se alinean, y determinar su pendiente. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba se apartan generalmente de la recta debido a que corresponden a tiempos cortos ( $t < 5 r^2 S/T$ ) para los cuales no es válido el método de Jacob.

c) Si la pendiente de la recta de ajuste es " $p$ " la transmisibilidad puede obtenerse de la expresión:

$$T = \frac{0.183 Q}{p} \quad \text{V.7}$$

d) Determinar el valor de  $t$ ,  $t_0$ , para el cual la prolongación de la recta de ajuste intersecta la línea donde el abatimiento es nulo.

e) Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión:

$$S = \frac{2.25 T t_0}{r_2} \quad \text{V.8}$$



Para la interpretación de pruebas de bombeo en pozos de gran diámetro (norias), la solución encontrada es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} F(\alpha, u_p)$$

donde:  $F(\alpha, u_p)$ , es conocida como la función de pozo para norias, y

$$u_p = \frac{r_p^2 S}{4Tt}$$

$r_p$ , es el radio del pozo en la zona acuífera.

Papadopoulos y Cooper elaboraron un método gráfico numérico similar al desarrollado por Theis, con la diferencia de que en lugar de que tengamos una curva tipo, -- ahora será una familia de curvas. Una vez trazada la curva de campo, buscaremos la coincidencia de ésta con alguna de las curvas Tipo. Posteriormente se selecciona un punto homólogo encontrando los valores de sus coordenadas y sustituyéndolos en las ecuaciones correspondientes.

En la figura V.2.1. aparece la familia de curvas - tipo utilizadas en este método.

FAMILIA DE CURVAS TIPO PARA INTERPRETACION DE PROBLEMAS DE FONDO EN MARIAS

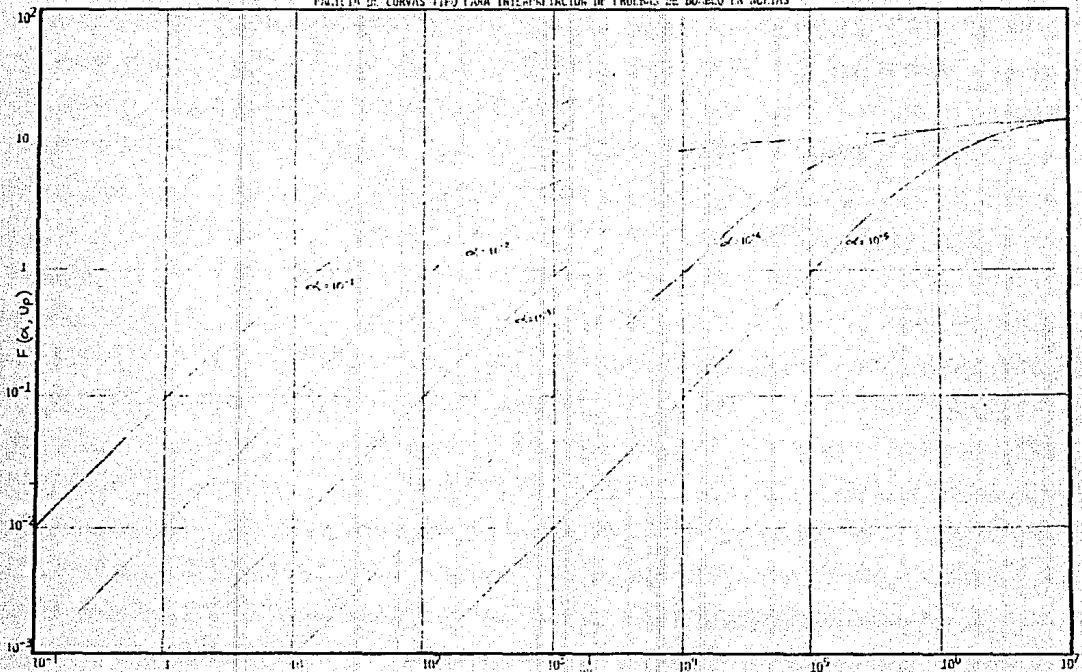


FIG. V.2.1.

#### V.4. Flujo No-Establecido en Acuíferos Semi-Confinados.

En la figura V.3 mostramos un acuífero semi-confinado limitado en su parte inferior por un estrato impermeable y en su parte superior por un estrato saturado de menor permeabilidad que el acuífero y a través del cual tenemos una filtración de agua.

El agua extraída de un sistema de este tipo, procede en parte del volumen almacenado por el acuífero y en parte de la filtración existente a través del estrato semi-confinante, hasta llegar un momento en el cual toda el agua extraída proviene de la filtración, llegando a estabilizarse el flujo.

La solución correspondiente a este sistema se debe a Hantush y Jacob, quienes supusieron que el acuífero es homogéneo, isotrópico, con un área de extensión infinita y un espesor constante. Dicha solución es la siguiente:

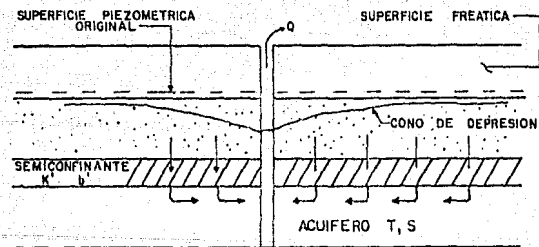
$$a = \frac{Q}{4 \pi T} W(u, r/B)$$

V.9.

donde:  $B = \sqrt{T b' / k'}$

V.10

siendo  $k'$  y  $b'$  la permeabilidad vertical y el espesor del estrato semi-confinante, respectivamente.



ACUIFERO SEMI-CONFINADO

FIG V.3

Los coeficientes de Transmisibilidad y Almacenamiento del acuífero y el coeficiente de Permeabilidad del acuífero limitante, pueden ser determinados por un método gráfico numérico similar al desarrollado por Theis, con la única diferencia de que en lugar de que tengamos una curva tipo, - - ahora tendremos una familia de curvas. Una vez trazada la curva de campo buscaremos la coincidencia de ésta con alguna de las curvas tipo. Después seleccionamos un punto homólogo, sustituyendo los valores de sus coordenadas en las -- ecuaciones correspondientes, obteniendo así, los parámetros de interés para nosotros.

En la figura V.4 mostramos la familia de curvas tipo-utilizadas en este método.

#### V.5. Penetración Parcial.

Un pozo cuya longitud de penetración o cuya zona re-nurada es menor que el espesor del acuífero, se le conoce -- con el nombre de pozo parcialmente penetrante. La figura -- V.5 ilustra este caso.

El flujo hacia los pozos, en estos casos, no es ra -- dial como sucede en un pozo que penetra totalmente al acuífero. Las líneas de flujo recorren trayectorias de mayor -- longitud en la zona que el pozo no penetra al acuífero, y -- como consecuencia, las pérdidas de carga son mayores provocando abatimientos más grandes. Así, por ejemplo, si tene -- mos un pozo que penetra totalmente a un acuífero y otro pozo que penetra parcialmente al mismo acuífero y el caudal -- de extracción es igual para los dos pozos, observaremos que el abatimiento en el pozo con penetración total será menor -- que en el otro pozo.

FAMILIA DE CURVAS TIPO PARA INTERPRETACION  
DE PRUEBAS DE BOMBEO EN ACUIFEROS SEMICONFINADOS

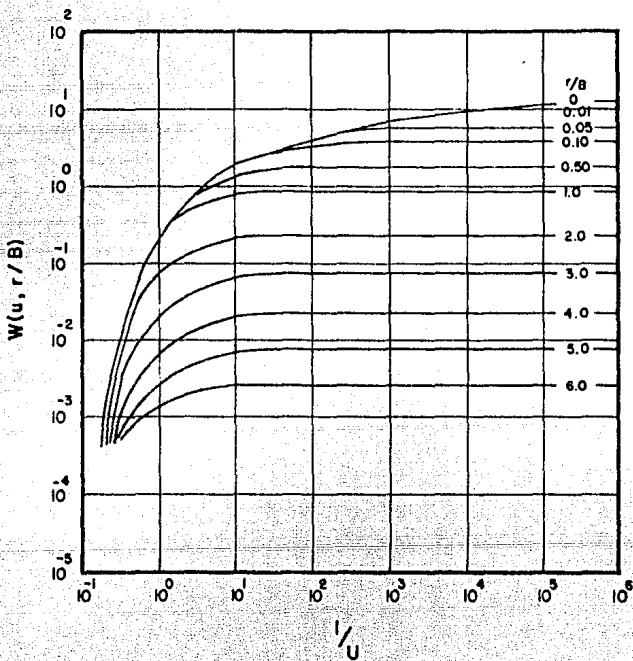
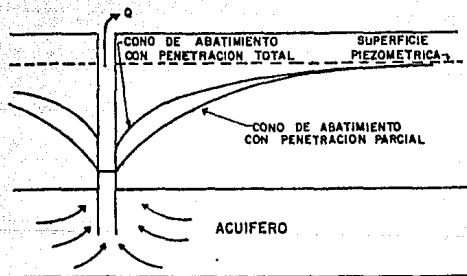


FIG. V. 4.



PENETRACION PARCIAL

FIG. V.5

La ecuación diferencial que gobierna el flujo no establecido de agua hacia un pozo con penetración parcial en un acuífero confinado es

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} + \frac{\partial s}{\partial z^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t}$$

V.11

cuya solución es:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u, r/b, \gamma)$$

V.12

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

$a$ , abatimiento, en m.

$r$ , distancia del pozo de bombeo al de observación - en m.

$Q$ , caudal de descarga, en  $m^3/\text{seg}$ .

$t$ , tiempo después de iniciado el bombeo, en seg.

$S$ , coeficiente de almacenamiento.

$b$ , espesor del acuífero, en m.

$b_d$ , longitud de la sección no ranurada, en m.

$$\gamma = (b - b_d) / b$$

$W(u, r/b, \gamma)$  es conocida como la función de pozo para acuíferos confinados con pozos parcialmente penetrantes.



Los coeficientes de Transmisibilidad y Almacenamiento para acuíferos confinados isótropos con pozos parcialmente penetrantes y condiciones de descarga constantes, pueden ser determinados con los datos obtenidos de la prueba de bombeo por el siguiente método gráfico-numérico.

Los valores de  $W(u, r/b, \gamma)$  son graficados contra -- los valores de  $1/u$  en papel logarítmico, obteniendo familias de curvas tipo para valores seleccionados de  $r/b$  y  $\gamma$ . Los valores de abatimiento graficados contra los valores de tiempo sobre papel logarítmico de la misma escala que las -- curvas tipo, describen una curva que es análoga a una de -- las curvas tipo dependiendo de los valores  $r/b$  y  $\gamma$ . Después seleccionamos un punto homólogo, sustituyendo los valores de sus coordenadas en las ecuaciones correspondientes, -- obteniendo así, los parámetros buscados.

La interpretación de las pruebas de bombeo para pozos que penetran parcialmente al acuífero, es algo laboriosa -- pues hay que construir una curva tipo para las características de los pozos utilizados en la prueba, con excepción de -- dos casos: cuando el pozo de observación está situado a una distancia del pozo de bombeo mayor que 1.5 veces el espesor del acuífero y cuando el pozo de observación penetra al -- acuífero. En estos dos casos los efectos de la penetración -- parcial son despreciables y podemos interpretar los datos -- como si el pozo de bombeo penetrara totalmente al acuífero.

## V.6 Pozos en Acuíferos Libres.

Los acuíferos libres se caracterizan por estar limitados superiormente por una superficie freática; puesto que el espesor saturado del acuífero varía con las fluctuaciones de esta superficie, la transmisibilidad del acuífero es también variable en el área y en el tiempo. Si las fluctuaciones de los niveles son poco significativas con respecto al espesor del acuífero, la transmisibilidad puede suponerse constante, y la interpretación de las pruebas se efectúa como si se tratara de un acuífero confinado.

## CAPITULO VI HIDROLOGIA SUBTERRANEA

### VI.1 NIVELES DEL AGUA SUBTERRANEA.

Para conocer el funcionamiento hidrológico subterráneo de una zona o cuenca, es necesario contar con información relativa a los niveles del agua que tienen los acuíferos bajo diferentes regímenes de funcionamiento.

Entre las características geohidrológicas importantes que se pueden destacar por su relación con la posición de los niveles del agua, se tiene que manifiestan zonas de recarga y de descarga ya que el flujo subterráneo ocurre de las áreas con mayor elevación de nivel a las de más baja.

Por otra parte, si se conoce su variación con el tiempo, se pueden inferir causas y efectos que propician tales cambios.

Así, por ejemplo, si la recarga es mayor a la descarga de un acuífero en un tiempo dado, los niveles del agua se elevan, resultando el efecto contrario en condiciones opuestas.

Las formas más comunes que se utilizan para procesar y determinar características geohidrológicas de un acuífero, consisten en la elaboración de planos conteniendo curvas de igual elevación o evolución piezométrica, o bien, planos de profundidad al nivel del agua.

### VI.1.1 CONFIGURACIONES DE IGUAL ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO.

Una configuración de iguales elevaciones del nivel estático representa la forma de la superficie piezométrica en un acuífero confinado o semiconfinado, y la forma de la superficie freática en un acuífero libre. Las configuraciones se preparan con base en los niveles estáticos referidos a un plano horizontal, generalmente el nivel medio del mar. El procesamiento consiste en trazar curvas de igual elevación piezométrica interpolando entre valores conocidos.

Las configuraciones así obtenidas proporcionan información respecto a las direcciones del flujo subterráneo, localización de zonas de recarga y descarga, gradientes hidráulicos, comportamiento de las fronteras, efectos de explotación, etc.

Por otra parte, las configuraciones piezométricas son básicas para la cuantificación de caudales de flujo subterráneo. Esta cuantificación se basa en el concepto de "red de flujo" y en la Ley de Darcy.

Las curvas de igual elevación del nivel estático corresponden a líneas equipotenciales, por lo que el flujo subterráneo debe ocurrir sobre líneas normales a las equipotenciales.

A las líneas normales se les conoce con el nombre de líneas de flujo y a la malla formada por líneas equipotenciales y a las líneas de flujo, se le llama red de flujo.

Para la realización de este estudio se contó con información piezométrica correspondiente a octubre de 1973, octubre de 1980 y octubre de 1981.

Con base en esta información se trazaron las configuraciones respectivas que se presentan en los planos VI.1 a VI.3.

La configuración de elevación de niveles estáticos para

Octubre de 1973 muestra que, en general, la dirección del movimiento del agua subterránea, aguas arriba de la confluencia de los ríos Zahuapan y Atoyac, es casi paralela a la dirección del escurrimiento de estas corrientes. En la región Occidental de la cuenca la dirección del movimiento del agua subterránea es de Oeste a Este, hasta la población de Huejotzingo donde cambia Noroeste-Sureste hasta la confluencia de los ríos Atoyac y Zahuapan. En la región Oriental de la cuenca la dirección del movimiento del agua es radial, desde la Malinche hasta los ríos mencionados.

Las elevaciones del nivel estático varían entre 2400 m.s.n.m. en las partes altas del valle y 2100 m.s.n.m. aguas abajo de la confluencia de los ríos Atoyac y Zahuapan.

La configuración de elevación de niveles estáticos para Octubre de 1980 y Octubre de 1981 muestra que, en general, la explotación no ha modificado notablemente el esquema natural del flujo subterráneo.

#### VI.1.2 CONFIGURACIONES DE LA EVOLUCION DE LOS NIVELES DEL AGUA.

La información necesaria para conocer la evolución piezométrica es la que se obtiene de la observación sistemática de la posición de los niveles estáticos, cuya comparación, de acuerdo con la diferencia obtenida en un período determinado de tiempo, constituye el elemento básico para elaborar la configuración correspondiente.

La importancia de las curvas de igual evolución reside en que manifiestan los cambios registrados en el almacenamiento de un acuífero, en un período y bajo ciertas condiciones, pues definen áreas de abatimiento o ascenso de los niveles estáticos, es decir, áreas donde ha disminuido o aumentado el volumen de agua subterránea almacenado.

De acuerdo con la información disponible, se analizaron

dos períodos para conocer la evolución de los niveles del agua. El primero fue de Octubre de 1973 a Octubre de 1980 y el segundo de Octubre de 1980 a Octubre de 1981. Las configuraciones trazadas son las que se presentan en los planos VI.4 y VI.5.

Para el primer período (Oct-73-Oct-80), se obtuvo un abatimiento promedio de 3.083 m. y una disminución en el volumen de agua almacenado de 2413.096 millones de metros cúbicos. En la zona situada al Noroeste de San Martín Texmelucan se encontraron los máximos abatimientos con un valor máximo de descenso de los niveles del agua de 60 m. Por otra parte, en la porción Noreste del área de estudio se observaron las recuperaciones mayores con un valor máximo de 40 m. de ascenso de los niveles del agua.

Para el segundo período (Oct-80-Oct-81), se obtuvo una recuperación promedio de 0.596 m. y un aumento en el volumen almacenado de 465.962 millones de metros cúbicos. En este período los abatimientos máximos se observaron en una parte de la zona Noroeste del área de estudio con un valor máximo de 50 m.

Por otra parte, los valores máximos en la recuperación de los niveles del agua se tienen en la zona Noreste, con un valor de 40 m.

### VI.1.3 CONFIGURACIONES DE LA PROFUNDIDAD A LOS NIVELES ESTÁTICOS.

La elaboración de configuraciones de la profundidad al nivel estático es semejante a la comentada en los párrafos anteriores.

La utilidad que tienen este tipo de configuraciones es que definen zonas donde los niveles se encuentran muy próximos a la superficie del terreno, identificándose por consiguiente, áreas de descarga por evapotranspiración. Asimismo, el conocer la posición del nivel del agua subterránea permite en ocasiones saber la profundidad mínima que deben alcanzar las perforaciones y las áreas donde por condiciones económicas relacionadas con la profundidad de bombeo es recomendable perforar pozos.

De acuerdo a la información obtenida de las lecturas del nivel del agua, las mayores profundidades se localizaron sobre la falda Occidental de la Malinche, alcanzando valores de 80 m. Las menores profundidades se observan aguas arriba de la confluencia de los ríos Atoyac y Zahuapan con valores de 1 m.

## VI.2 PRUEBAS DE BOMBEO Y CARACTERISTICAS HIDRODINAMICAS

Una prueba de bombeo tiene como objetivo la determinación de las características hidrodinámicas de un acuífero y, con esto, poder hacer predicciones respecto al comportamiento del almacenamiento de agua subterránea ante las extracciones y recargas que se le vayan hacer.

Para llevar a cabo la prueba es necesario contar con un pozo de bombeo y uno o varios pozos de observación (aunque esto último sólo suceda en el mejor de los casos debido a limitaciones económicas), y registrar los abatimientos que se producen ante la extracción de un caudal conocido.

La duración de una prueba de bombeo puede ser desde varias horas hasta varios días. Depende de las características particulares del acuífero de que se trate y de limitaciones de carácter económico. Con una prueba de larga duración los resultados obtenidos serán más confiables ya que los efectos del bombeo abarcan una área de influencia mayor.

Para verificar los resultados obtenidos en la etapa de bombeo, se lleva a cabo inmediatamente después, la etapa de recuperación, que consiste en observar la variación de los niveles del agua una vez suspendido el bombeo.

La duración de esta etapa es similar a la anterior.

Para llevar a cabo la prueba hay que seguir la secuencia que se presenta a continuación:

- a) Se medirá la profundidad al nivel estático del pozo

de bombeo y de él o los de observación, anotando la hora de iniciación de la prueba y las lecturas iniciales, con el nombre de los pozos a que corresponden.

- b) Se iniciará el bombeo, procurando mantener un caudal constante y procediendo a medir la profundidad al nivel del agua en el pozo de bombeo y en él o los de observación, con la secuela de tiempos que se indica a continuación.

|         |        |
|---------|--------|
| 15 seg. | 1 hora |
| 30 "    | 2 "    |
| 1 min.  | 4 "    |
| 2 "     | 8 "    |
| 4 "     | 16 "   |
| 8 "     | 24 "   |
| 15 "    | 32 "   |
| 30 "    | 40 "   |
|         | 48 "   |

- c) A intervalos de tiempo seleccionados, se harán las observaciones o lecturas necesarias para cuantificar el caudal de bombeo.
- d) Con las observaciones realizadas, se harán, en el sitio de la prueba, las gráficas de variación del nivel dinámico en el tiempo: una para el pozo de bombeo y una para cada uno de los pozos de observación. Se graficarán en papel semilogarítmico, utilizando la escala aritmética para el nivel dinámico.



co, y la escala logarítmica para el tiempo. Estas gráficas son útiles para juzgar el correcto desarrollo de la prueba, ya que permiten detectar errores de medición, variaciones sensibles del caudal y otras anomalías causadas por factores externos. Son un elemento de juicio para continuar o suspender una prueba.

- e) La duración de la etapa de bombeo, fijada inicialmente, podrá modificarse, llegando incluso a suspenderse cuando el caudal de bombeo varíe apreciablemente o cuando en la gráfica nivel dinámico tiempo del pozo bombeado, se observe una estabilización del nivel dinámico por un tiempo mínimo de 4 horas.
- f) Una vez concluida la etapa de bombeo, se iniciará la de recuperación, en la que se efectuarán observaciones con la misma frecuencia que en la etapa de bombeo.

Dentro de la zona de estudio se efectuaron 17 pruebas de bombeo, 2 de las cuales corresponden a norias (pozos de gran diámetro) y las 15 restantes a pozos. En ninguna de las pruebas realizadas se contó con pozos de observación, limitándose las lecturas de los niveles del agua a los pozos de bombeo, por lo que únicamente se pudo determinar los coeficientes de Transmisibilidad.

Para su interpretación se graficaron las observaciones, utilizando el Método de Jacob en pozos y el Método de Papadópulos en norias.

En el cuadro VI.1 se resumen los resultados obtenidos y las observaciones, se presentan en las gráficas VI.1 a VI.31.

Los valores obtenidos varían desde  $0.2 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$  hasta  $46 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ . De la misma forma que con los niveles del agua, se trazó la configuración de transmisibilidades de igual valor

y se presenta en el plano VI.7.

### VI.3 CUANTIFICACION DE LA RECARGA DE LOS ACUIFEROS

Un acuífero es un recipiente subterráneo que tiene recargas, descargas y un cierto almacenamiento. Como respuesta a la acción combinada de las recargas y las descargas, el nivel del agua del recipiente varía, descendiendo si la recarga es menor que la descarga, y ascendiendo, en caso contrario.

La recarga, la descarga y las variaciones en el almacenamiento, en un intervalo de tiempo dado, están relacionadas por un principio universal: el principio de conservación de la materia. El balance del agua subterránea se basa en él y tiene por objetivo principal la determinación del volumen de recarga de un acuífero.

#### VI.3.1 ECUACION DE BALANCE

A la ecuación que expresa el principio de conservación de la materia aplicado a un acuífero, o porción del mismo, se le llama Ecuación de Balance de Agua Subterránea. En su forma más simple, esta ecuación es:

$$\text{RECARGA} - \text{DESCARGA} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO.}$$

La recarga puede ocurrir por flujo subterráneo ( $E_h$ ) -- y/o por recarga vertical ( $R$ ) en el área de balance. La descarga puede tener lugar por flujo subterráneo ( $S_h$ ); aflorando en forma de manantiales, o a una corriente superficial ( $D$ ); - mediante pozos de bombeo ( $B$ ), y por evapotranspiración ( $E_v$ ) - en zonas con nivel freático somero. Si se llama  $\Delta V$  al cambio de almacenamiento, la ecuación puede expresarse también - como:

$$E_h + R - S_h - D - B - E_v = \pm \Delta V$$

que es la ecuación general del balance de agua subterránea.

En cada caso, según el mecanismo de recarga y descarga del acuífero en estudio y del intervalo de tiempo seleccionado para plantear el balance, cada uno de los términos de la -

ecuación podrá o no, aparecer.

El área utilizada para efectuar el balance de agua subterránea depende de varios factores. Por una parte lo ideal sería efectuar el balance para todo el acuífero a fin de conocer su potencialidad total; sin embargo, esto no siempre es posible, debido a que su aplicación requiere del conocimiento del comportamiento del acuífero, observado en pozos, los cuales no siempre se encuentran distribuidos en toda el área, sino sólo en una porción de la misma. Por consiguiente, el área de balance tiene que limitarse al área con datos disponibles, siendo en nuestro caso de 780 Km<sup>2</sup> y los intervalos de tiempo seleccionados para plantear el balance son de Oct-73 a Oct-80 y de Oct-80 a Oct-81.

#### VI.3.2 TERMINOS DE LA ECUACION

Volúmenes de entrada y salida subterráneos (Eh, Sh). - Para conocer los volúmenes de entrada y salida subterráneos, primero se calcularon los caudales de flujo que pasan a través de las celdas señaladas en los planos de configuración al nivel estático. Este cálculo se hizo aplicando la ley de Darcy: --

$$Q = B i T$$

donde B es el ancho medio del canal de flujo; i es el gradiente hidráulico medio del canal considerado y T es la transmisibilidad del acuífero. Los valores de B e i se obtuvieron directamente de las celdas de entrada y salida señaladas en las configuraciones. Los valores de T se obtuvieron superponiendo las configuraciones con el plano de isotransmisibilidades. Los resultados se presentan en los cuadros VI.2 a VI.6. Una vez conocidos los caudales de entrada y salida se multiplicaron por los intervalos de tiempo considerados para aplicar la ecuación de balance y con esto se obtuvieron los volúmenes de entrada y salida subterráneos presentados en el cuadro VI.7.

Volumen de Bombeo (B). Con base en el volumen de bombeo real de extracción obtenido para 1980 a través de un censo hecho con los usuarios se estimó un bombeo promedio anual para el período 1973-80 de  $133.948 \times 10^6$  metros cúbicos y para el período 1980-81 de  $63.436 \times 10^6$  metros cúbicos.

Cambio de almacenamiento (AV). El cambio de almacenamiento se calcula a partir de la evolución piezométrica. Mediante las curvas de igual evolución del nivel estático correspondientes a los dos periodos de tiempo considerados para hacer el balance, se calculó el cambio de almacenamiento. Para el período 1973-80 se obtuvo una disminución en el volumen almacenado de  $2413.096 \times 10^6$  metros cúbicos con una evolución negativa promedio de 3.083 m. Para el período 1980-81 se obtuvo un aumento en el volumen almacenado de  $465.962 \times 10^6$  metros cúbicos con una evolución positiva promedio de 0.596 m. Los resultados obtenidos en los cambios de volumen almacenado se tienen que multiplicar por el Coeficiente de Almacenamiento para conocer el cambio real en el volumen almacenado.

Drenaje del río Atoyac (D). La cuantificación de este término de la ecuación de balance se obtuvo con el análisis del escurrimiento del río Atoyac, para el período 1970-1977. El volumen de flujo base medio anual fue de 93.544 millones de metros cúbicos.

Evapotranspiración (Ev). La lámina media de evapotranspiración utilizada es la que se obtuvo al promediar los resultados obtenidos con las fórmulas de Tourc y Coutagne y es de 0.622 m/año, valor que se aplicó a un área de  $161,5 \text{ km}^2$  que corresponde a una zona con nivel freático somero aguas arriba de la confluencia de los ríos Atoyac y Zahuapan. El volumen de evapotranspiración medio anual fue de 100.453 millones de metros cúbicos.

**Sustitución de valores y solución de ecuaciones:**

**PERIODO:**

$$(Oct-73-Oct-80) \quad 1841.513+ \quad 7R-10.375-654.808-937.636-703.171 = -2413.096S$$

$$(Oct-80-Oct-81) \quad 232.987+ \quad R- 1.671- 93.544- 63.436-100.453 = 465.962S$$

resolviendo por medio de ecuaciones simultáneas tendremos que los valores encontrados de las incógnitas son:

$$R= 49.244 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ Anuales}$$

$$S= 0.050$$

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE  
BOMBEO REALIZADAS EN EL VALLE DE PUEBLA

| POZO No. | T( $\times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ ) |         | DURACION (HRS) |        | T. PROMEDIO<br>( $\times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}.$ ) | METODO<br>USADO. |
|----------|---|---------|----------------|--------|--|------------------|
|          | ABAT.                                   | RECUP.  | ABAT.          | RECUP. |  |                  |
| 842      | 9.717                                   | 12.340  | 3.5            | 3.5    | 11.028   | JACOB.           |
| 1019     | 1.550                                   | -       | 4              | -      | 1.550  | JACOB.           |
| 354      | 6.862                                   | 8.015   | 3              | 4      | 7.438  | JACOB.           |
| 626      | 9.150                                   | 7.840   | 3              | 2.5    | 8.495  | "                |
| 342      | 4.430                                   | -       | 3              | -      | 4.430  | "                |
| 725      | 26.750                                  | 30.230  | 3.5            | 4      | 28.490   | "                |
| 375      | 173.530                                 | 218.800 | 4              | 2      | 196.165  | "                |
| 579      | 1.942                                   | 1.159   | 4.5            | 4      | 1.550  | PAPADOPULOS      |
| 199      | 2.769                                   | 2.123   | 4.5            | 3.5    | 2.466  | "                |
| 374      | 7.608                                   | 8.257   | 4.5            | 4      | 7.932  | JACOB            |
| 88       | 16.406                                  | 7.610   | 3              | 5      | 12.080   | "                |
| 647      | 5.136                                   | 5.577   | 4.5            | 4.5    | 5.356  | "                |
| 1000     | 6.055                                   | 5.347   | 4.5            | 4.5    | 5.701  | "                |
| 105      | 10.460                                  | 14.800  | 4              | 4      | 12.630   | "                |
| 794      | -                                       | 0.213   | -              | 4.5    | 0.213  | "                |
| 827      | 5.382                                   | 5.000   | 3              | 3.5    | 5.191  | "                |
| 605      | 56.410                                  | 35.730  | 3              | 2.5    | 46.070   | "                |

CUADRO VI.1

## CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

| Nº DE CANAL                     | B<br>(mts) | L<br>(mts) | $\Delta h$<br>(mts) | i<br>( $\times 10^{-3}$ ) | T<br>( $\times 10^2 \text{ m}^2/\text{s}$ ) | Q<br>( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) |
|---------------------------------|------------|------------|---------------------|---------------------------|---|----------------------------------|
| 1                               | 8400       | 1200       | 40                  | 33                        | 5   | 1.386                            |
| 2                               | 6400       | 1500       | 40                  | 27                        | 5   | 0.864                            |
| 3                               | 7200       | 1650       | 10                  | 6                         | 8   | 0.346                            |
| 4                               | 3000       | 1150       | 10                  | 9                         | 8   | 0.216                            |
| 5                               | 5350       | 750        | 10                  | 13                        | 5   | 0.348                            |
| 6                               | 6400       | 700        | 10                  | 14                        | 1   | 0.090                            |
| 7                               | 8000       | 600        | 20                  | 33                        | 4   | 1.056                            |
| 8                               | 7800       | 1200       | 20                  | 17                        | 9   | 1.193                            |
| 9                               | 6600       | 1100       | 20                  | 18                        | 7   | 0.832                            |
| 10                              | 3950       | 1150       | 10                  | 9                         | 8   | 0.284                            |
| 11                              | 6900       | 600        | 10                  | 17                        | 8   | 0.938                            |
| 12                              | 4900       | 1400       | 10                  | 7                         | 7   | 0.240                            |
| 13                              | 3650       | 1500       | 10                  | 7                         | 2   | 0.051                            |
|                                 |            |            |                     |                           |   |                                  |
| SUMA DE ENTRADAS HORIZONTALES = |            |            |                     |                           |   | 7.844                            |
|                                 |            |            |                     |                           |   |                                  |
| 14                              | 4600       | 2550       | 10                  | 4                         | 1   | 0.018                            |
| 15                              | 2600       | 2900       | 10                  | 3                         | 2   | 0.016                            |
| 16                              | 3100       | 2900       | 10                  | 3                         | 2   | 0.019                            |
|                                 |            |            |                     |                           |   |                                  |
| SUMA DE SALIDAS HORIZONTALES =  |            |            |                     |                           |   | 0.053                            |

## CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

| Nº DE CANAL | B<br>(mts) | L<br>(mts) | $\Delta h$<br>(mts) | i<br>( $\times 10^{-3}$ ) | T<br>( $\times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}$ ) | Q<br>( $\text{m}^3/\text{seg}$ ) |
|-------------|------------|------------|---------------------|---------------------------|---|----------------------------------|
| 1           | 5750       | 850        | 30                  | 35                        | 5   | 1.006                            |
| 2           | 2900       | 1000       | 30                  | 30                        | 5   | 0.435                            |
| 3           | 2500       | 1350       | 30                  | 22                        | 5   | 0.275                            |
| 4           | 4750       | 1500       | 30                  | 20                        | 6   | 0.570                            |
| 5           | 2350       | 1000       | 30                  | 30                        | 8   | 0.564                            |
| 6           | 1500       | 900        | 30                  | 33                        | 8   | 0.396                            |
| 7           | 1200       | 500        | 10                  | 20                        | 8   | 0.192                            |
| 8           | 3350       | 1100       | 10                  | 9                         | 7   | 0.211                            |
| 9           | 2150       | 950        | 20                  | 21                        | 5   | 0.226                            |
| 10          | 1700       | 1150       | 20                  | 17                        | 2   | 0.056                            |
| 11          | 1600       | 1400       | 20                  | 14                        | 1   | 0.022                            |
| 12          | 2100       | 1650       | 10                  | 6                         | 1   | 0.013                            |
| 13          | 5000       | 5350       | 20                  | 4                         | 4   | 0.080                            |
| 14          | 2150       | 2600       | 40                  | 15                        | 6   | 0.193                            |
| 15          | 2500       | 1650       | 40                  | 24                        | 9   | 0.540                            |
| 16          | 2450       | 1850       | 40                  | 22                        | 15  | 0.808                            |
| 17          | 5400       | 1550       | 40                  | 26                        | 8   | 1.123                            |
| 18          | 1850       | 1400       | 40                  | 29                        | 6   | 0.322                            |
| 19          | 3500       | 1550       | 40                  | 26                        | 7   | 0.637                            |
| 20          | 1450       | 1700       | 40                  | 23                        | 8   | 0.267                            |
| 21          | 4500       | 600        | 20                  | 12                        | 8   | 0.432                            |



CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

| Nº DE CANAL                     | B<br>(m/s) | L<br>(m/s) | $\Delta h$<br>(m/s) | i<br>( $\times 10^{-3}$ ) | T<br>( $\times 10^6$ m/s) | Q<br>(m <sup>3</sup> /seg) |
|---------------------------------|------------|------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 22                              | 7000       | 1550       | 10                  | 6                         | 8                         | 0.336                      |
| 23                              | 3850       | 1100       | 10                  | 9                         | 4                         | 0.137                      |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
| SUMA DE ENTRADAS HORIZONTALES = |            |            |                     |                           |                           | 8.841                      |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
| 24                              | 1950       | 1400       | 10                  | 7                         | 1                         | 0.014                      |
| 25                              | 2900       | 2600       | 10                  | 4                         | 1                         | 0.012                      |
| 26                              | 2200       | 4100       | 10                  | 2                         | 2                         | 0.009                      |
| 27                              | 1350       | 4350       | 10                  | 2                         | 2                         | 0.006                      |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
| SUMA DE SALIDAS HORIZONTALES =  |            |            |                     |                           |                           | 0.041                      |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                                 |            |            |                     |                           |                           |                            |

CUADRO VI.4

CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

| Nº DE CANAL                     | B (mts) | L (mts) | $\Delta h$ (mts) | i ( $\times 10^{-3}$ ) | T ( $\times 10^3 m^2/s$ ) | Q ( $m^3/seg$ ) |
|---------------------------------|---------|---------|------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
| 1                               | 4500    | 900     | 20               | 22                     | 5                         | 0.495           |
| 2                               | 1300    | 1300    | 20               | 15                     | 5                         | 0.097           |
| 3                               | 4450    | 1500    | 20               | 13                     | 5                         | 0.289           |
| 4                               | 2850    | 1250    | 20               | 16                     | 6                         | 0.274           |
| 5                               | 2600    | 1150    | 20               | 17                     | 7                         | 0.309           |
| 6                               | 4900    | 900     | 20               | 22                     | 8                         | 0.862           |
| 7                               | 2000    | 950     | 10               | 10                     | 8                         | 0.160           |
| 8                               | 1850    | 1950    | 10               | 5                      | 8                         | 0.074           |
| 9                               | 3000    | 1650    | 20               | 12                     | 2                         | 0.072           |
| 10                              | 3800    | 1300    | 30               | 23                     | 4                         | 0.350           |
| 11                              | 1500    | 2150    | 30               | 14                     | 4                         | 0.084           |
| 12                              | 1750    | 3100    | 30               | 10                     | 5                         | 0.087           |
| 13                              | 2500    | 1600    | 10               | 6                      | 15                        | 0.225           |
| 14                              | 4550    | 900     | 10               | 11                     | 12                        | 0.601           |
| 15                              | 3750    | 900     | 10               | 11                     | 8                         | 0.330           |
| 16                              | 7750    | 1500    | 30               | 20                     | 8                         | 1.240           |
| 17                              | 5400    | 1650    | 20               | 12                     | 8                         | 0.518           |
| 18                              | 2500    | 1550    | 10               | 9                      | 5                         | 0.112           |
|                                 |         |         |                  |                        |                           |                 |
| SUMA DE ENTRADAS HORIZONTALES = |         |         |                  |                        |                           | 5.935           |
|                                 |         |         |                  |                        |                           |                 |

CUADRO VI.5

CALCULO DE ENTRADAS Y SALIDAS HORIZONTALES

| Nº DE CANAL                  | B<br>(mts) | L<br>(mts) | $\Delta h$<br>(mts) | i<br>( $\times 10^{-3}$ ) | T<br>( $\times 10^3$ m/s) | Q<br>(m <sup>3</sup> /seg) |
|------------------------------|------------|------------|---------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| 19                           | 2500       | 1500       | 10                  | 7                         | 1                         | 0.017                      |
| 20                           | 3850       | 1200       | 10                  | 8                         | 1                         | 0.030                      |
| 21                           | 3000       | 1600       | 10                  | 6                         | 1                         | 0.018                      |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
| SUMA DE SALIDAS HORIZONTALES |            |            | =                   |                           |                           | 0.065                      |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |
|                              |            |            |                     |                           |                           |                            |

CUADRO VI.6

VOLUMEN DE ENTRADAS HORIZONTALES

| FECHA     | Q     | $\frac{Q1 + Q2}{2}$ | $t$<br>$10^6$ seg | Volumen<br>$10^6$ m <sup>3</sup> |
|-----------|-------|---------------------|-------------------|----------------------------------|
| OCT. 1973 | 7.844 |                     |                   |                                  |
| OCT. 1980 | 8.841 | 8.342               | 220.752           | 1841.513                         |
| OCT. 1981 | 5.935 | 7.388               | 31.536            | 232.987                          |

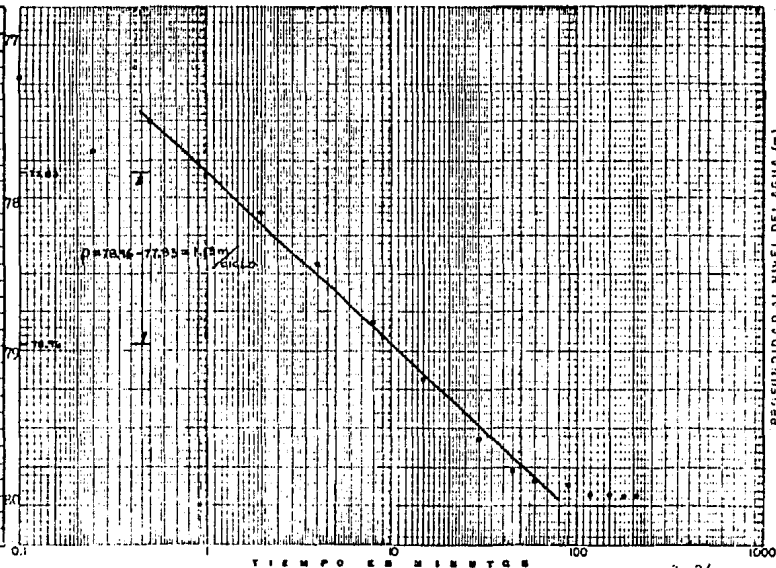
VOLUMEN DE SALIDAS HORIZONTALES

| FECHA     | Q     | $\frac{Q1 + Q2}{2}$ | $t$<br>$10^6$ seg | Volumen<br>$10^6$ m <sup>3</sup> |
|-----------|-------|---------------------|-------------------|----------------------------------|
| OCT. 1973 | 0.053 |                     |                   |                                  |
| OCT. 1980 | 0.041 | 0.047               | 220.752           | 10.375                           |
| OCT. 1981 | 0.065 | 0.053               | 31.536            | 1.671                            |

CUADRO VI.7

94

| REGISTRO DE PRUEBAS DE Bombeo |         |           |
|-------------------------------|---------|-----------|
| TIEMPO                        | LECTURA | ACUMULADO |
| 0:00                          | 77.22   | 0.00      |
| 15"                           | 77.68   | 0.46      |
| 30"                           | 77.51   | 0.29      |
| 45"                           |         |           |
| 1'                            | 77.85   | 0.63      |
| 2'                            | 78.16   | 0.88      |
| 4'                            | 78.47   | 1.22      |
| 6'                            | 78.82   | 1.60      |
| 10'                           | 79.20   | 1.98      |
| 15'                           | 79.56   | 2.34      |
| 20'                           | 79.77   | 2.55      |
| 30'                           | 79.83   | 2.61      |
| 45'                           | 79.86   | 2.64      |
| 1.0h                          | 79.92   | 2.70      |
| 2.0h                          | 79.92   | 2.70      |
| 3.0h                          | 79.94   | 2.72      |
| 4.0h                          | 79.94   | 2.72      |
| 5.0h                          |         |           |
| 6.0h                          |         |           |
| 7.0h                          |         |           |
| 8.0h                          |         |           |
| 9.0h                          |         |           |
| 10.0h                         |         |           |



#### CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO

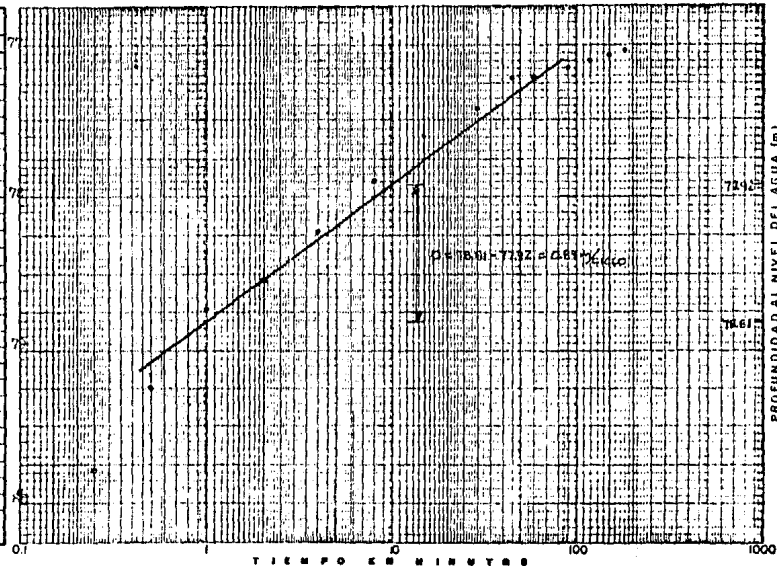
|                                    |   |               |
|------------------------------------|---|---------------|
| POZONO: <u>842</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (m <sup>3</sup> /m): <u>60.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO: <u>TINXERIA</u>            | CAUDAL ESRI (m <sup>3</sup> /m): <u>22.061</u>    |               |
| MUNICIPIO: <u>Sta. Ana Chilate</u> | PROF. TOTAL: <u>125.0</u> m                       |               |
| FECHA: _____                       | PROF. N.E.: <u>77.22</u> m                        |               |
| _____                              | PROF. N.C.: _____ m                               |               |
|                                    | USO DEL AGUA: <u>Agua potable</u>                 |               |

$$T = \frac{0.183 \text{ g}}{P}$$

$$T = 9.717 \times 10^{-3} \text{ M}^2/\text{Seg.}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.060}{1.1}$$

| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |                   |
|-------------------------------|---------|-------------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | DE CARGO (Metros) |
| 0 Seg.                        | 79.94   | 0.00              |
| 10"                           | 79.77   | 0.15              |
| 10"                           | 79.25   | 0.79              |
| 40"                           |         |                   |
| 1'                            | 78.74   | 1.20              |
| 2'                            | 78.53   | 1.41              |
| 4'                            | 78.29   | 1.72              |
| 8'                            | 77.90   | 2.02              |
| 15'                           | 77.60   | 2.32              |
| 30'                           | 77.42   | 2.52              |
| 45'                           | 77.32   | 2.62              |
| 1h                            | 77.20   | 2.74              |
| 1.3h                          | 77.15   | 2.79              |
| 2.0h                          | 77.10   | 2.84              |
| 2.5h                          | 77.07   | 2.87              |
| 3.0h                          | 77.04   | 2.90              |
| 3.5h                          | 77.22   | 2.72              |
| 4.0h                          |         |                   |
| 4.5h                          |         |                   |
| 5.0h                          |         |                   |
| 5.5h                          |         |                   |
| 6.0h                          |         |                   |
| 6.5h                          |         |                   |
| 7.0h                          |         |                   |
| 7.5h                          |         |                   |
| 8.0h                          |         |                   |
| 8.5h                          |         |                   |
| 9.0h                          |         |                   |
| 9.5h                          |         |                   |
| 10.0h                         |         |                   |



### CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                                       |                                    |               |
|---------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| FOZON: <u>842</u>                     | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>60.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO: <u>Tlaxcala</u>               | CAUDAL ESPIGA (m) <u>2.06</u>      |               |
| MUNICIPIO: <u>Santa Ana Chautapan</u> | PROF. TOTAL <u>125.0</u> m         |               |
| FECHA: _____                          | PROF. N.E. <u>77.22</u> m          |               |
|                                       | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                                       | USO DEL AGUA: <u>Agua Potable</u>  |               |

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

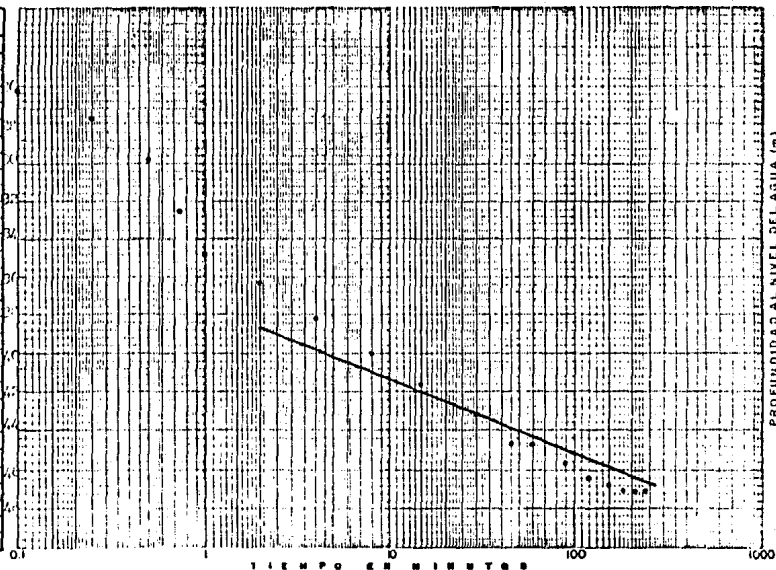
$$T = 12.340 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.060}{0.80}$$

GRAFICA VI.2

96

| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |             |
|-------------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | PROFUNDIDAD |
| 0.5h                          | 27.32   | 0.00        |
| 1h                            | 27.70   | 1.82        |
| 10'                           | 28.05   | 3.63        |
| 45'                           | 32.50   | 6.18        |
| 1'                            | 34.81   | 7.70        |
| 2'                            | 36.77   | 9.22        |
| 4'                            | 38.16   | 11.05       |
| 8'                            | 40.60   | 13.07       |
| 15'                           | 41.61   | 15.29       |
| 30'                           | 43.18   | 16.86       |
| 45'                           | 44.62   | 18.31       |
| 1h                            | 44.71   | 18.78       |
| 1.5h                          | 45.65   | 19.53       |
| 2.0h                          | 46.20   | 20.07       |
| 2.5h                          | 46.78   | 20.66       |
| 3.0h                          | 46.91   | 20.50       |
| 3.5h                          | 46.95   | 20.62       |
| 4.0h                          | 46.97   | 20.62       |
| 4.5h                          |         |             |
| 5.0h                          |         |             |
| 5.5h                          |         |             |
| 6.0h                          |         |             |
| 6.5h                          |         |             |
| 7.0h                          |         |             |
| 7.5h                          |         |             |
| 8.0h                          |         |             |
| 8.5h                          |         |             |
| 9.0h                          |         |             |
| 9.5h                          |         |             |
| 10.0h                         |         |             |



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                          |                                    |               |
|--------------------------|------------------------------------|---------------|
| FOZ No. <u>1010</u>      | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>30.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Terminal</u>   | CAUDAL ESP (lps/m) <u>1.55</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>Miangua</u> | PROF. TOTAL _____ m                |               |
| FECHA: _____             | PROF. N.E. <u>20.50</u> m          |               |
|                          | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                          | USO DEL AGUA <u>Industrial</u>     |               |

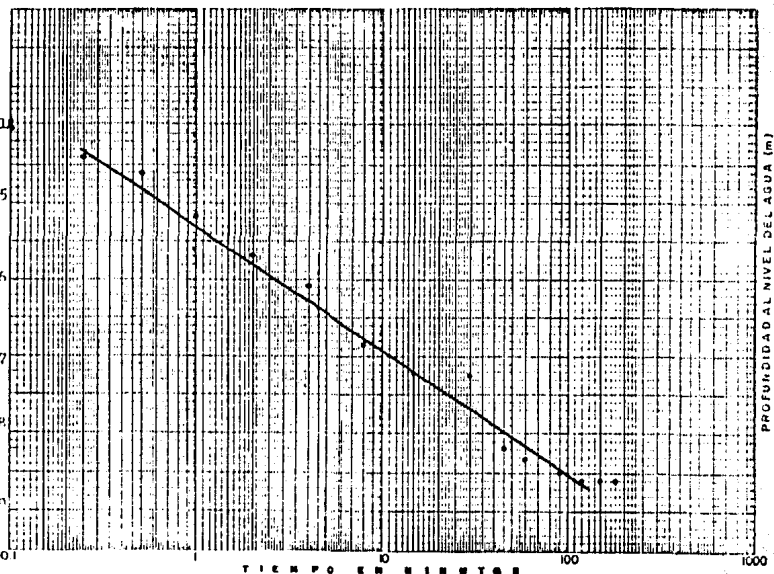
$$T = \frac{0.125}{p}$$

$$T = 1.55 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg.}$$

$$T = \frac{0.125 \times 0.032}{3.08}$$

GRAFICA N.º 2

| REGISTRO DE FUENTES DE POCIEO |         |                |
|-------------------------------|---------|----------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | ABASTECIMIENTO |
| 0 seg                         | 17.00   | 0.00           |
| 10"                           | 17.70   | 0.70           |
| 20"                           | 17.61   | 0.61           |
| 40"                           |         |                |
| 1'                            | 15.14   | 1.79           |
| 2'                            | 15.68   | 1.68           |
| 4'                            | 16.08   | 2.08           |
| 8'                            | 16.82   | 2.82           |
| 15'                           | 17.53   | 3.23           |
| 30'                           | 17.25   | 3.75           |
| 45'                           | 18.70   | 4.20           |
| 1h                            | 18.35   | 4.35           |
| 1.15h                         | 18.51   | 4.51           |
| 2.0h                          | 18.61   | 4.61           |
| 2.15h                         | 18.61   | 4.61           |
| 3.0h                          | 18.61   | 4.61           |
| 3.15h                         |         |                |
| 4.0h                          |         |                |
| 4.15h                         |         |                |
| 5.0h                          |         |                |
| 5.15h                         |         |                |
| 6.0h                          |         |                |
| 6.15h                         |         |                |
| 7.0h                          |         |                |
| 7.15h                         |         |                |
| 8.0h                          |         |                |
| 8.15h                         |         |                |
| 9.0h                          |         |                |
| 9.15h                         |         |                |
| 10.0h                         |         |                |



| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| FONTO No <u>354</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>60.6</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>                | CAUDAL ESP (lps/m) <u>11.73</u>    |               |
| MUNICIPIO <u>Huixtla</u>            | PROF. TOTAL <u>34.40</u> m         |               |
|                                     | PROF. N.E. <u>34.40</u> m          |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>riego</u>          |               |

$$T = 0.1242$$

$$T = 0.862 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

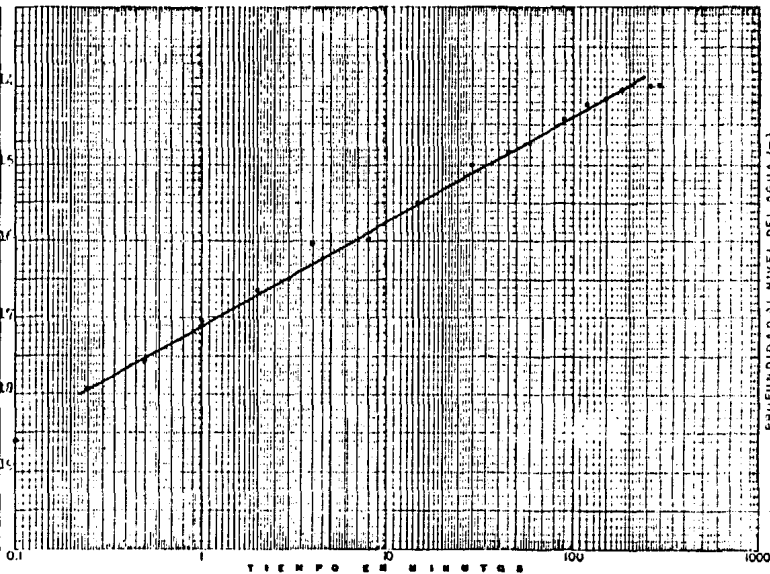
$$T = \frac{0.1242 \times 0.064}{1.60}$$

GRAFICA VI.1



86

| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |             |
|-------------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | OBSERVACION |
| 0 seg.                        | 17.61   | 0.00        |
| 15"                           | 17.95   | 0.66        |
| 30"                           | 17.55   | 1.06        |
| 45"                           |         |             |
| 1'                            | 17.04   | 1.57        |
| 2'                            | 16.62   | 1.99        |
| 3'                            | 16.03   | 2.52        |
| 4'                            | 15.94   | 2.60        |
| 5'                            | 15.50   | 3.11        |
| 10'                           | 15.00   | 3.61        |
| 15'                           | 14.81   | 3.80        |
| 1h                            | 14.70   | 3.91        |
| 1.30h                         | 14.40   | 4.21        |
| 2.0h                          | 14.25   | 4.39        |
| 2.30h                         | 14.38   | 4.43        |
| 3.0h                          | 14.65   | 4.56        |
| 3.30h                         | 14.00   | 4.61        |
| 4.0h                          | 14.00   | 4.61        |
| 4.30h                         |         |             |
| 5.0h                          |         |             |
| 5.30h                         |         |             |
| 6.0h                          |         |             |
| 6.30h                         |         |             |
| 7.0h                          |         |             |
| 7.30h                         |         |             |
| 8.0h                          |         |             |
| 8.30h                         |         |             |
| 9.0h                          |         |             |
| 9.30h                         |         |             |
| 10.0h                         |         |             |



### CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

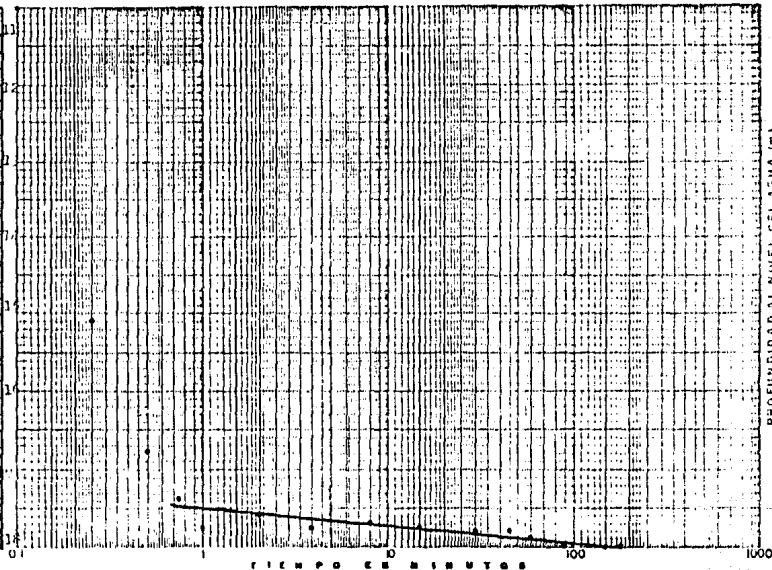
|           |            |                                      |         |               |
|-----------|------------|--------------------------------------|---------|---------------|
| POZO No.  | 74         | CAUDAL DE PRUEBA (m <sup>3</sup> /h) | 60.0    | OBSERVACIONES |
| ESTADO    | Prctico    | CAUDAL ESP (m <sup>3</sup> /h)       | 13.01   |               |
| MUNICIPIO | Huatatzimo | PROF. TOTAL                          | 17.00 m |               |
|           |            | PROF. N.E.                           | 17.00 m |               |
|           |            | PROF. N.D.                           | m       |               |
| FECHA:    |            | USO DEL AGUA                         | Regio   |               |

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

$$T = \frac{0.183 \times 0.060}{1.37}$$

$$T = 8.015 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

| REGISTRO DE PUNTA DE BOMBEO |         |             |
|-----------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                      | LECTURA | PROFUNDIDAD |
| 0 Seg.                      | 11.00   | 6.00        |
| 10"                         | 15.10   | 6.10        |
| 20"                         | 16.75   | 6.75        |
| 30"                         | 17.32   | 6.32        |
| 4"                          | 17.76   | 6.76        |
| 6"                          | 17.60   | 6.60        |
| 4"                          | 17.77   | 6.77        |
| 8"                          | 17.70   | 6.70        |
| 18"                         | 17.77   | 6.77        |
| 30"                         | 17.80   | 6.80        |
| 48"                         | 17.80   | 6.80        |
| 1h                          | 17.94   | 6.94        |
| 1.30h                       | 18.00   | 7.00        |
| 2.0h                        | 18.00   | 7.00        |
| 2.30h                       | 18.00   | 7.00        |
| 3.0h                        | 18.00   | 7.00        |
| 3.30h                       |         |             |
| 4.0h                        |         |             |
| 4.30h                       |         |             |
| 5.0h                        |         |             |
| 5.30h                       |         |             |
| 6.0h                        |         |             |
| 6.30h                       |         |             |
| 7.0h                        |         |             |
| 7.30h                       |         |             |
| 8.0h                        |         |             |
| 8.30h                       |         |             |
| 9.0h                        |         |             |
| 9.30h                       |         |             |
| 10.0h                       |         |             |



#### CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

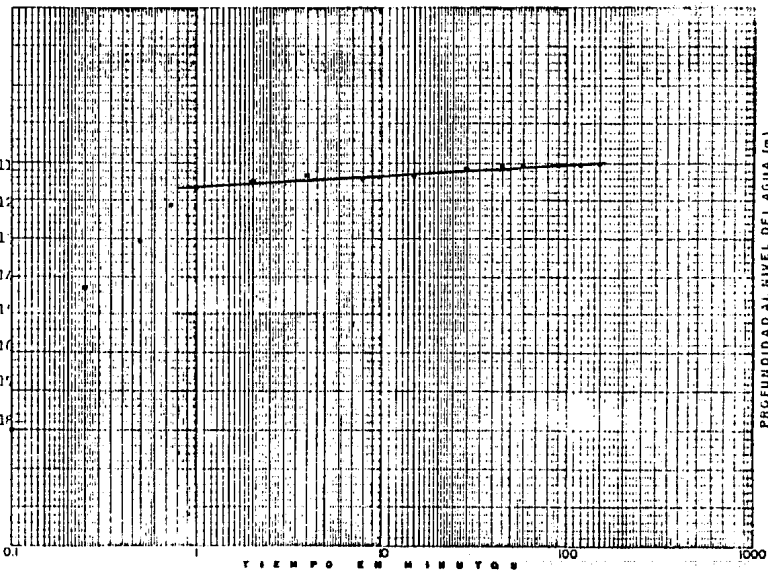
|                                 |                              |               |
|---------------------------------|------------------------------|---------------|
| POZONO 626                      | CAUDAL DE PRUEBA (lps) 11.00 | OBSERVACIONES |
| ESTADO Puebla                   | CAUDAL ESP (lps/m) 1.71      |               |
| MUNICIPIO San Martín Texmelucan | PROF. TOTAL 80.00 m          |               |
|                                 | PROF. N.E. 11.00 m           |               |
|                                 | PROF. N.O. m                 |               |
| FFCIA:                          | USO DEL AGUA Agua Potable    |               |

$$T = \frac{0.163}{P}$$

$$T = 6.150 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.163 \times 0.072}{0.27}$$

| REGISTRO DE LECTURAS DE BOMBEO |         |           |
|--------------------------------|---------|-----------|
| TIEMPO                         | LECTURA | OPERACION |
| 0 Seg.                         | 18.00   | 0.00      |
| 15"                            | 12.30   | 3.70      |
| 30"                            | 13.05   | 4.95      |
| 45"                            | 12.08   | 5.92      |
| 1'                             | 11.67   | 6.33      |
| 2'                             | 11.50   | 6.50      |
| 3'                             | 11.38   | 6.62      |
| 4'                             | 11.70   | 6.60      |
| 5'                             | 11.30   | 6.70      |
| 10'                            | 11.38   | 6.82      |
| 15'                            | 11.36   | 6.84      |
| 1h                             | 11.10   | 6.90      |
| 1.5h                           | 11.05   | 6.95      |
| 2.0h                           | 11.02   | 6.98      |
| 2.5h                           | 11.00   | 7.00      |
| 3.0h                           |         |           |
| 3.5h                           |         |           |
| 4.0h                           |         |           |
| 4.5h                           |         |           |
| 5.0h                           |         |           |
| 5.5h                           |         |           |
| 6.0h                           |         |           |
| 6.5h                           |         |           |
| 7.0h                           |         |           |
| 7.5h                           |         |           |
| 8.0h                           |         |           |
| 8.5h                           |         |           |
| 9.0h                           |         |           |
| 9.5h                           |         |           |
| 10.0h                          |         |           |



001

PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO    |                                    |               |
|--|------------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>676</u>                    | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>12.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>                   | CAUDAL ESP (lps/m) <u>1.71</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>San Martín Texmelucan</u> | PROF. TOTAL <u>20.0</u> m          |               |
|  | PROF. N.E. <u>11.0</u> m           |               |
|  | PROF. N.D. _____ m                 |               |
| FECHA: _____                           | USO DEL AGUA <u>Agua Potable</u>   |               |

$$T = \frac{0.1074}{p}$$

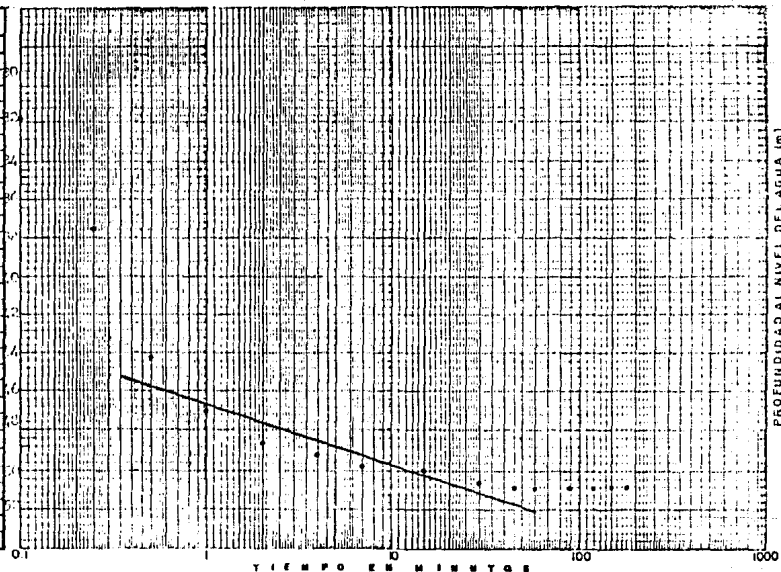
$$T = 7.840 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.183 \times 0.012}{0.28}$$

GRAFICA VI.7

| REGISTRO DE PRUEBAS DE PUNDEO |         |              |
|-------------------------------|---------|--------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | AVANCEMIENTO |
| 0 seg                         | 31.80   | 0.00         |
| 15"                           | 37.60   | 5.80         |
| 30"                           | 44.30   | 12.50        |
| 45"                           |         |              |
| 1'                            | 49.60   | 17.80        |
| 2'                            | 49.55   | 17.75        |
| 4'                            | 49.20   | 17.40        |
| 8'                            | 49.80   | 18.00        |
| 15'                           | 50.60   | 18.80        |
| 30'                           | 50.54   | 18.74        |
| 45'                           | 50.82   | 19.02        |
| 1h                            | 50.82   | 19.02        |
| 1.30h                         | 50.82   | 19.02        |
| 2.0h                          | 50.82   | 19.02        |
| 2.30h                         | 50.82   | 19.02        |
| 3.0h                          | 50.82   | 19.02        |
| 3.30h                         |         |              |
| 4.0h                          |         |              |
| 4.30h                         |         |              |
| 5.0h                          |         |              |
| 5.30h                         |         |              |
| 6.0h                          |         |              |
| 6.30h                         |         |              |
| 7.0h                          |         |              |
| 7.30h                         |         |              |
| 8.0h                          |         |              |
| 8.30h                         |         |              |
| 9.0h                          |         |              |
| 9.30h                         |         |              |
| 10.0h                         |         |              |

101



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|           |              |                        |       |               |
|-----------|--------------|------------------------|-------|---------------|
| POTONo    | 342          | CAUDAL DE PRUEBA (lps) | 38.0  | OBSERVACIONES |
| ESTADO    | buena        | CAUDAL ESP (lps/m)     | 38.0  |               |
| MUNICIPIO | Juan Pongjje | PROF. TOTAL            | 19.02 |               |
|           |              | PROF. N.E.             | 30.00 |               |
|           |              | PROF. N.O.             | 19.02 |               |
| FECHA:    |              | USO DEL AGUA           | Riego |               |

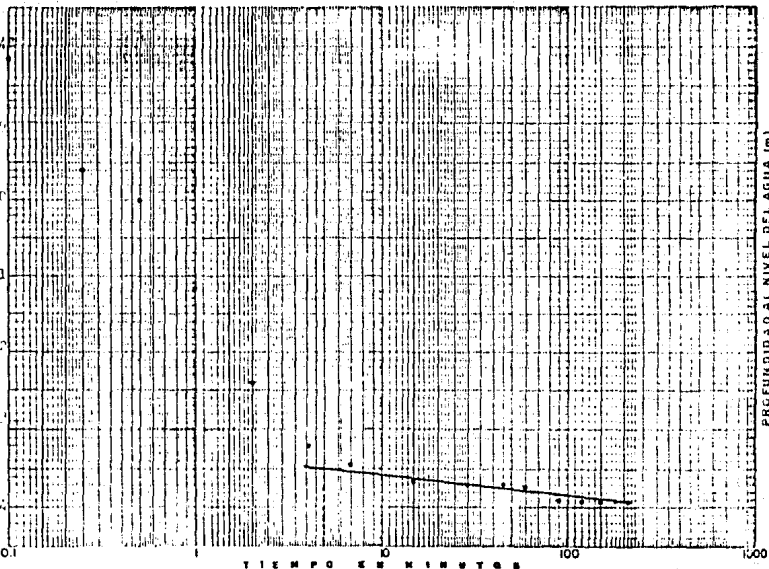
$$T = \frac{0.1974}{T}$$

$$T = 4.43 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.1974 \times 0.002}{1.57}$$

GRAFICA N.1.B

| RESULTADOS DE LA PRUEBA DE BOMBEO |         |            |
|-----------------------------------|---------|------------|
| TIEMPO                            | LECTURA | ALTIMETRÍA |
| 0:00                              | 50.15   | 0.15       |
| 15'                               | 49.60   | 1.45       |
| 30'                               | 49.00   | 1.85       |
| 45'                               |         |            |
| 1'                                | 51.18   | 3.03       |
| 2'                                | 52.41   | 4.26       |
| 3'                                | 53.20   | 5.05       |
| 4'                                | 53.45   | 5.30       |
| 15'                               | 53.77   | 5.53       |
| 30'                               | 53.60   | 5.54       |
| 45'                               | 53.60   | 5.54       |
| 1h                                | 53.22   | 5.57       |
| 1:30h                             | 53.00   | 5.55       |
| 2:00h                             | 53.00   | 5.55       |
| 2:30h                             | 53.00   | 5.55       |
| 3:00h                             | 53.00   | 5.55       |
| 3:30h                             | 53.00   | 5.55       |
| 4:00h                             |         |            |
| 4:30h                             |         |            |
| 5:00h                             |         |            |
| 5:30h                             |         |            |
| 6:00h                             |         |            |
| 6:30h                             |         |            |
| 7:00h                             |         |            |
| 7:30h                             |         |            |
| 8:00h                             |         |            |
| 8:30h                             |         |            |
| 9:00h                             |         |            |
| 9:30h                             |         |            |
| 10:00h                            |         |            |
| 10:30h                            |         |            |



| CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                              |               |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|
| POZONA: 225                         | CAUDAL DE PRUEBA (lps): 35.0 | OBSERVACIONES |
| CANTO: Diabla                       | CAUDAL ESP (lps/m): 6.22     |               |
| MUNICIPIO: Tlanahuapán              | PROF. TOTAL: 15 (4.5) m      |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.E.: 42.15 m          |               |
|                                     | PROF. N.D.: _____ m          |               |
|                                     | USO DEL AGUA: Agua Potable   |               |

$$T = \frac{0.15^2}{p}$$

$$T = 20.75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.153 \times 0.075}{0.15}$$

103

| REGISTRO DE FRECUAS DE POMEO |         |               |
|------------------------------|---------|---------------|
| EP. MEG.                     | LECTURA | RECORRIMIENTO |
| 0 Seg.                       | 53.92   | 0.00          |
| 15"                          | 53.89   | 0.03          |
| 30"                          | 53.89   | 0.03          |
| 45"                          |         |               |
| 1'                           | 53.86   | 0.06          |
| 2'                           | 53.86   | 0.06          |
| 4'                           | 53.86   | 0.06          |
| 8'                           | 53.83   | 0.09          |
| 15'                          | 53.83   | 0.09          |
| 30'                          | 53.80   | 0.12          |
| 45'                          | 53.80   | 0.12          |
| 1h                           | 53.78   | 0.14          |
| 1.30h                        | 53.77   | 0.15          |
| 2.00h                        | 53.74   | 0.18          |
| 2.30h                        | 53.68   | 0.24          |
| 3.00h                        | 53.72   | 0.20          |
| 3.30h                        | 53.74   | 0.18          |
| 4.00h                        | 48.12   | 5.72          |
| 4.30h                        |         |               |
| 5.00h                        |         |               |
| 5.30h                        |         |               |
| 6.00h                        |         |               |
| 6.30h                        |         |               |
| 7.00h                        |         |               |
| 7.30h                        |         |               |
| 8.00h                        |         |               |
| 8.30h                        |         |               |
| 9.00h                        |         |               |
| 9.30h                        |         |               |
| 10.00h                       |         |               |



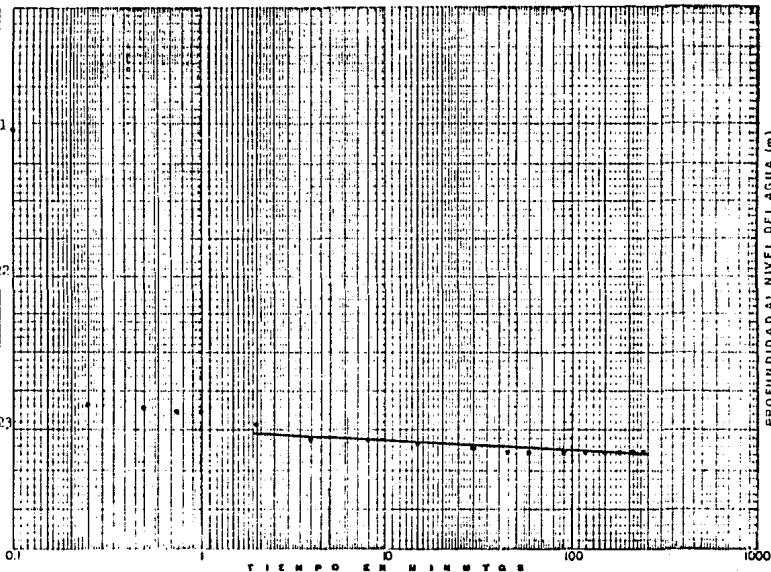
| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |  |               |
|-------------------------------------|--|---------------|
| POZO No. <u>725</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (m <sup>3</sup> /d) <u>0.01</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>                | CAUDAL ESP. (m <sup>3</sup> /m) <u>0.01</u>      |               |
| MUNICIPIO <u>Tlahuacan</u>          | PROF. TOTAL <u>15.00</u> m                       |               |
|                                     | PROF. N.C. <u>28.15</u> m                        |               |
|                                     | PROF. N.D. _____ m                               |               |
| FECHA: _____                        | USO DEL AGUA <u>Agua Potable</u>                 |               |

$T = \frac{0.1824}{p}$   
 $T = 38.23 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg.}$   
 $T = \frac{0.183 \times 0.033}{0.21}$

GRAFICA VI.10

104

| RESUMEN DE PRUEBAS DE BOMBEO |          |              |
|------------------------------|----------|--------------|
| TIEMPO                       | LEGUMBRA | CAUDAL (lpm) |
| 0 Seg.                       | 21.04    | 0.00         |
| 15"                          | 22.84    | 1.80         |
| 30"                          | 22.85    | 1.81         |
| 45"                          | 22.86    | 1.82         |
| 1'                           | 22.87    | 1.83         |
| 2'                           | 22.97    | 1.93         |
| 4'                           | 23.05    | 2.01         |
| 8'                           | 23.06    | 2.02         |
| 15'                          | 23.08    | 2.04         |
| 30'                          | 23.10    | 2.06         |
| 45'                          | 23.12    | 2.08         |
| 1h                           | 23.12    | 2.08         |
| 1.30h                        | 23.13    | 2.09         |
| 2.30h                        | 23.13    | 2.09         |
| 3.30h                        | 23.13    | 2.09         |
| 4.30h                        | 23.13    | 2.09         |
| 5.30h                        |          |              |
| 6.30h                        |          |              |
| 7.30h                        |          |              |
| 8.30h                        |          |              |
| 9.30h                        |          |              |
| 10 Ch                        |          |              |



## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                                 |                                   |               |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>375</u>             | CAUDAL DE PRUEBA (ps) <u>55.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>            | CAUDAL ESP (ps/m) <u>21.32</u>    |               |
| MUNICIPIO <u>Tecali Jalisco</u> | PROF. TOTAL <u>60.0</u> m         |               |
|                                 | PROF. N.E. <u>21.04</u> m         |               |
|                                 | PROF. N.D. _____ m                |               |
| FECHA: _____                    | USO DEL AGUA <u>Riego</u>         |               |

$$T = \frac{0.163}{P}$$

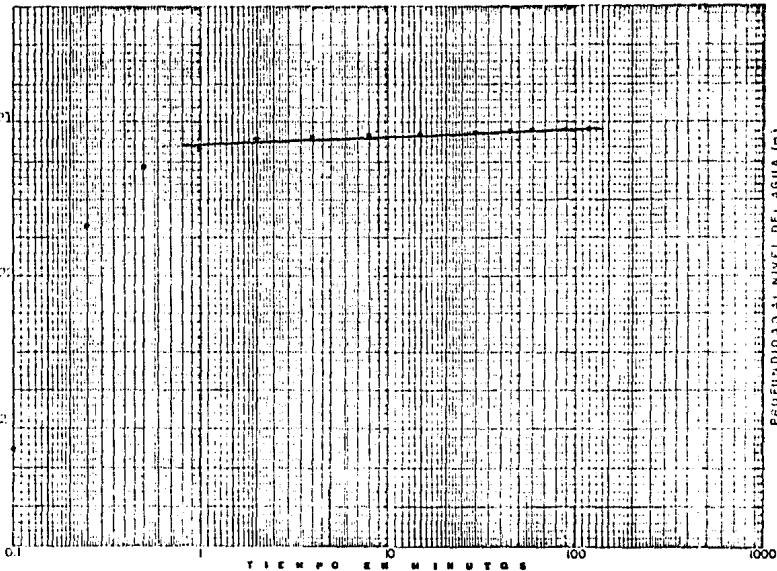
$$T = 173.53 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.163 \times 0.055}{0.06}$$

GRAFICA VI.11

105

| REGISTRO DE GRUPOS DE PUNDEO |         |                 |
|------------------------------|---------|-----------------|
| TIEMPO                       | LECTURA | PROFUNDIDAD (m) |
| 0.30g.                       | 21.11   | 0.00            |
| 15"                          | 21.17   | 1.16            |
| 30"                          | 21.26   | 1.27            |
| 45"                          |         |                 |
| 1'                           | 21.16   | 1.07            |
| 2'                           | 21.10   | 2.03            |
| 4'                           | 21.09   | 2.04            |
| 8'                           | 21.08   | 2.05            |
| 15'                          | 21.07   | 2.06            |
| 30'                          | 21.06   | 2.07            |
| 45'                          | 21.04   | 2.09            |
| 1h                           | 21.04   | 2.09            |
| 1.30h                        | 21.04   | 2.09            |
| 2.00h                        | 21.04   | 2.09            |
| 2.30h                        |         |                 |
| 3.00h                        |         |                 |
| 3.30h                        |         |                 |
| 4.00h                        |         |                 |
| 4.30h                        |         |                 |
| 5.00h                        |         |                 |
| 5.30h                        |         |                 |
| 6.00h                        |         |                 |
| 6.30h                        |         |                 |
| 7.00h                        |         |                 |
| 7.30h                        |         |                 |
| 8.00h                        |         |                 |
| 8.30h                        |         |                 |
| 9.00h                        |         |                 |
| 9.30h                        |         |                 |
| 10.00h                       |         |                 |



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

TIEMPO EN MINUTOS

| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                   |               |
|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------|
| FOZO No. <u>396</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>4.7</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Tubifin</u>               | CAUDAL ESP (lps/m) <u>4.7</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>Tec. Jalisco</u>       | PROF. TOTAL _____ m               |               |
|                                     | PROF. N.E. <u>21.04</u> m         |               |
|                                     | PROF. N.D. _____ m                |               |
| FECHA: _____                        | USO DEL AGUA <u>Algo</u>          |               |

$$T = \frac{L \cdot H \cdot S}{I}$$

$$T = \frac{0.133 \times 0.055}{0.05}$$

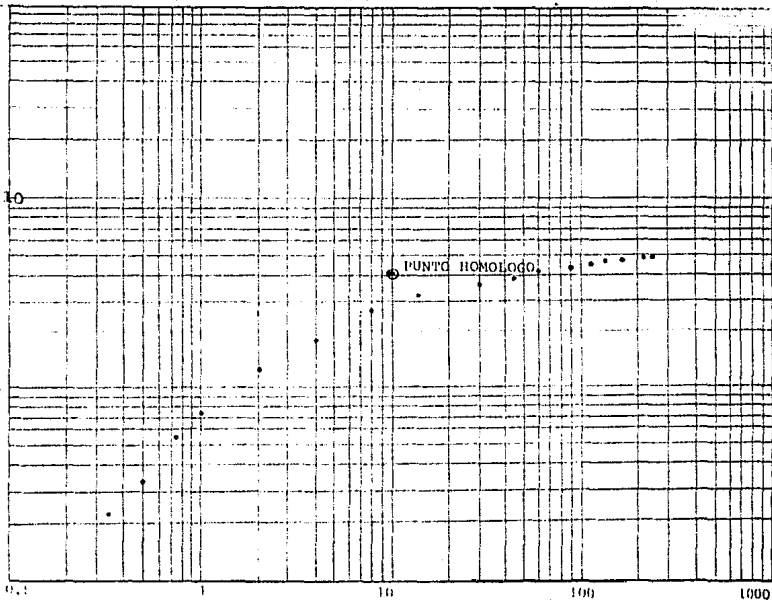
$$T = 712.0 \times 10^{-3} \text{ seg.}$$

GRAFICA VI.3



REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO

| Tiempo | Lectura | Abatim. |
|--------|---------|---------|
| 0 Seg. | 6.85    | 0.90    |
| 15"    | 5.03    | 0.23    |
| 30"    | 5.20    | 0.35    |
| 45"    | 5.41    | 0.56    |
| 1'     | 5.60    | 0.75    |
| 2'     | 6.18    | 1.33    |
| 4'     | 6.70    | 1.85    |
| 8'     | 7.56    | 2.71    |
| 15'    | 8.00    | 3.15    |
| 30'    | 8.49    | 3.64    |
| 45'    | 8.79    | 3.93    |
| 1h     | 9.04    | 4.10    |
| 1.5 h  | 9.35    | 4.50    |
| 2.0 h  | 9.51    | 4.66    |
| 2.5 h  | 9.61    | 4.76    |
| 3.0 h  | 9.70    | 4.85    |
| 3.5 h  | 9.79    | 4.91    |
| 4.0 h  | 9.79    | 4.93    |
| 4.5 h  |         |         |
| 5.0 h  |         |         |



ABATIMIENTO EN MTS.

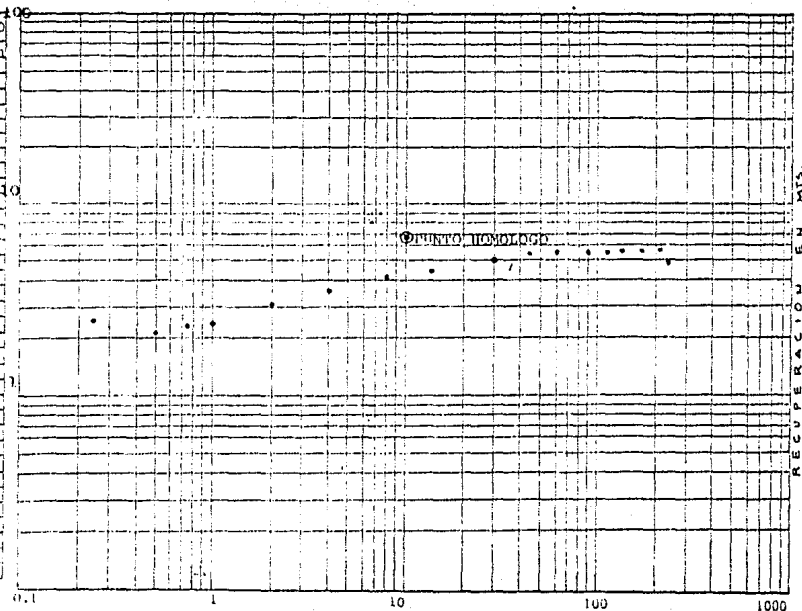
| CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO |        |                   |       |
|------------------------------|--------|-------------------|-------|
| POZO No.                     | 579    | 10.0              | NOBIA |
| ESTAD                        | PUEBLA | 2.03              |       |
|                              | PUEBLA | 25.0              |       |
|                              |        | 4.95              |       |
|                              |        | COMUNIDAD INDIALE |       |

TIEMPO EN MINUTOS

$$T = \frac{Q}{4\pi a} F(\alpha, u_p) \quad \alpha = 1.942 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.010 \times 10}{4\pi \times 4.1}$$

| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |              |
|-------------------------------|---------|--------------|
| Tiempo                        | Lectura | Recuperación |
| 0 Seg.                        | 9.78    | 0.0          |
| 15"                           | 7.20    | 2.58         |
| 30"                           | 7.59    | 2.19         |
| 45"                           | 7.42    | 2.36         |
| 1'                            | 7.33    | 2.45         |
| 2'                            | 6.70    | 3.08         |
| 4'                            | 6.15    | 3.63         |
| 8'                            | 5.60    | 4.18         |
| 15'                           | 5.30    | 4.48         |
| 30'                           | 4.71    | 5.05         |
| 45'                           | 4.32    | 5.46         |
| 1h                            | 4.18    | 5.60         |
| 1.5 h                         | 4.18    | 5.60         |
| 2.0 h                         | 4.18    | 5.60         |
| 2.5 h                         | 4.10    | 5.68         |
| 3.0 h                         | 4.08    | 5.70         |
| 3.5 h                         | 4.06    | 5.72         |
| 4.0 h                         | 4.85    | 4.93         |
| 4.5 h                         |         |              |
| 5.0 h                         |         |              |



| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                              | Observaciones |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|
| POZO No. 579                        | Caudal de prueba (lps.) 10.0 | Noria         |
| ESTADO PUEBLA                       | Caudal Esp. (lps/m) 2.03     |               |
| MUNICIPIO PUEBLA                    | Prof. Total 5.0              |               |
|                                     | Prof. N. E. 4.85             |               |
| FECHA                               | Prof. N. P.                  |               |
|                                     | Uso del agua Agua Potable    |               |

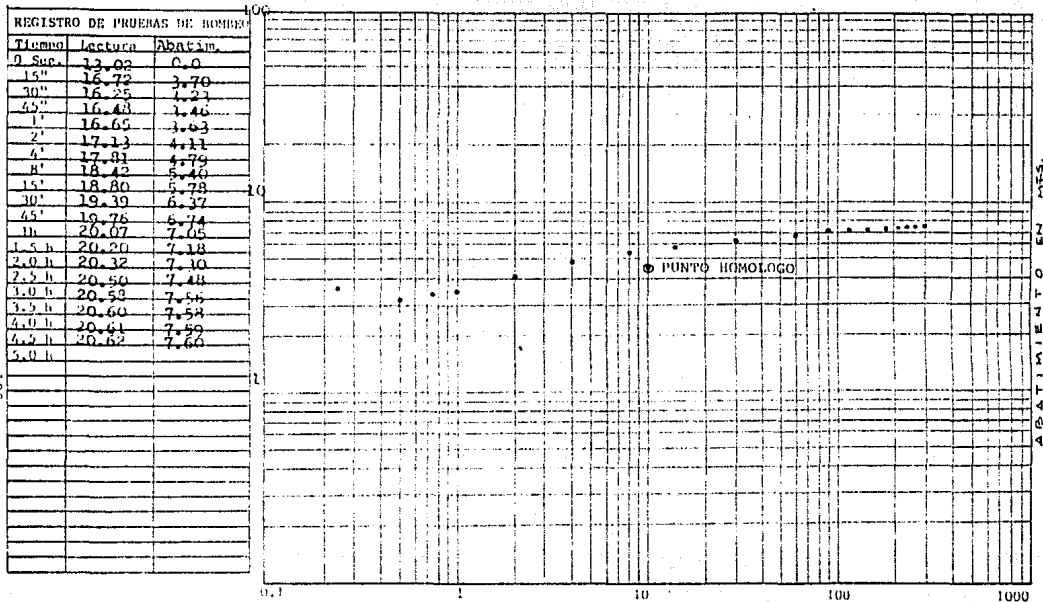
TIEMPO EN MINUTOS

$$T = \frac{Q}{4\pi a} \cdot r^2 (s, up)$$

$$T = 1.159 \times 10^{-3} \text{ m}^2 / \text{seg.}$$

$$T = \frac{0.010}{4\pi \times 6.87} \times 10$$

GRAFICA VI.14



| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                             |                        |
|-------------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| POZO No.                            | Caudal de prueba (lps) 16.0 | Observaciones<br>Noria |
| ESTADO PUEBLA                       | Caudal Exp. (lps/m) 2.10    |                        |
| MUNICIPIO ATlixco                   | Prof. Total 30.0 m          |                        |
|                                     | Prof. N.T. 13.02 m          |                        |
| FECHA                               | Prof. N.P. m                |                        |
|                                     | Uso del agua Riego          |                        |

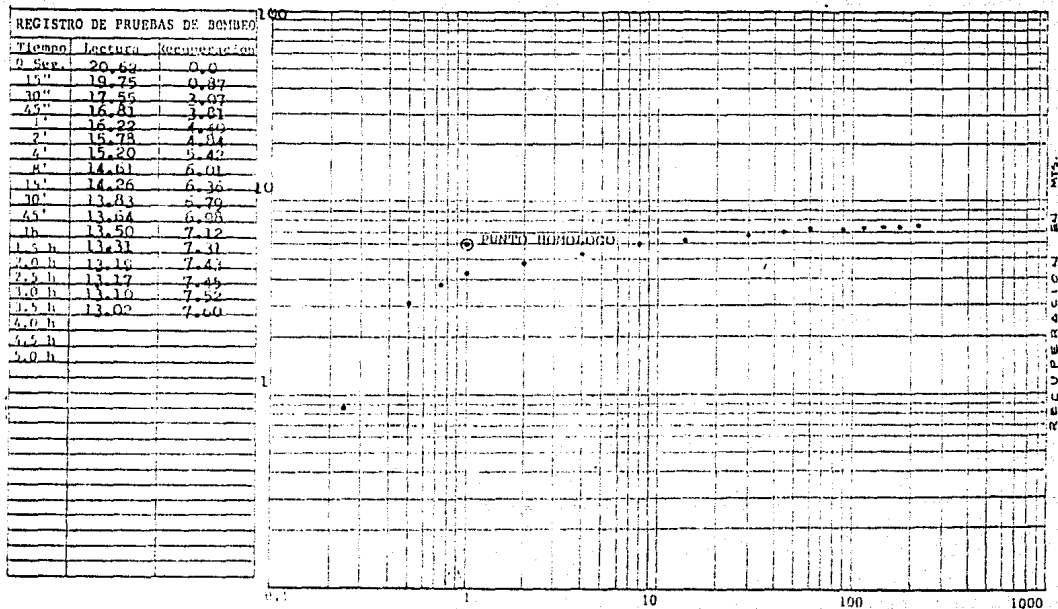
TIEMPO EN MINUTOS

$$T = \frac{Q}{4\pi a} F(u, u_p)$$

$$T = 2.769 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.016 \times 10}{4\pi \times 4.6}$$

GRAFICA VI.15



| CARACTERISTICAS DEL APROXIMAMIENTO |                                    |                        |
|------------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| POZO No. <u>199</u>                | Caudal de prueba (lps) <u>1670</u> | Observaciones<br>Noria |
| ESTADO <u>PUEBLA</u>               | Caudal Esp. (lps/m) <u>2.10</u>    |                        |
| MUNICIPIO <u>AELIXCO</u>           | Prof. Total <u>30.0</u> m          |                        |
|                                    | Prof. N.P. <u>13.02</u> m          |                        |
| FECHA                              | Prof. N.P. _____ m                 |                        |
|                                    | Mo del. <u>Diego</u>               |                        |

TIEMPO EN MINUTOS

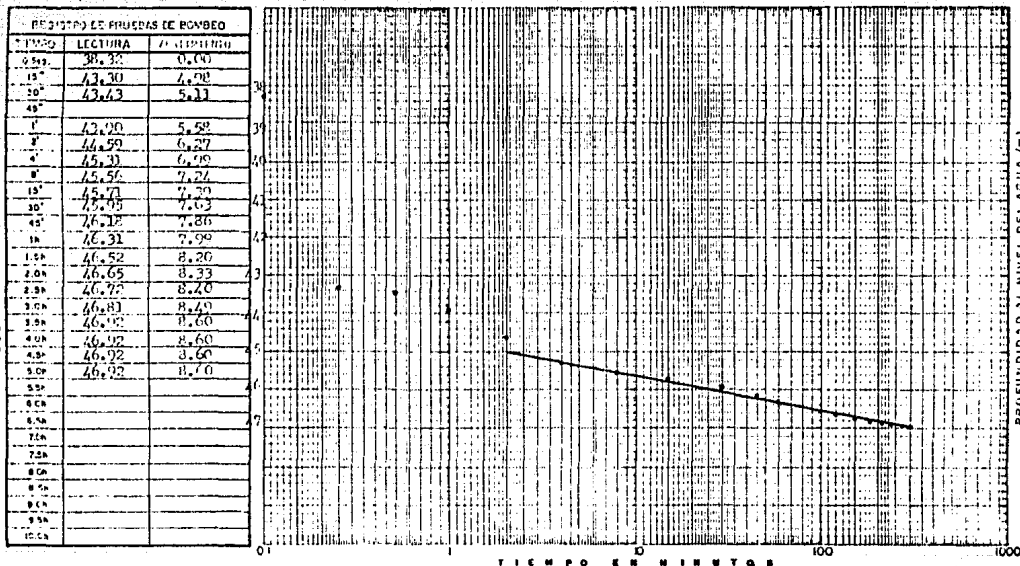
$$T = \frac{Q}{4\pi a} F(\alpha, u_p)$$

$$T = 0.123 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{neg.}$$

$$T = 0.016 \times 10$$

$$4\pi \times 6.0$$

GRAFICA VI.16



## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|  |  |               |
|--|--|---------------|
| POZONO. <u>774</u>                     | CAUDAL DE PRUEBA (m <sup>3</sup> /s) <u>77.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Problema</u>                 | CAUDAL ESP. (lps/m) <u>4.30</u>                  |               |
| MUNICIPIO <u>San Martín Texmelucan</u> | PROF. TOTAL <u>130.0</u> m                       |               |
| FECHA: _____                           | PROF. H.E. <u>72.32</u> m                        |               |
|  | PROF. N.D. _____ m                               |               |
|  | USO DEL AGUA <u>Hidro</u>                        |               |

$$T = 7.6 \cdot 10^{-3} \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

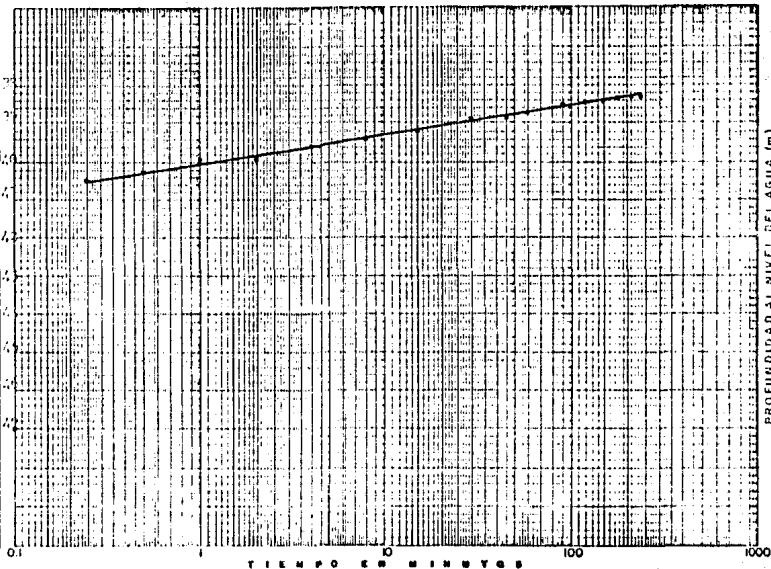
$$T = \frac{0.1874}{0.89}$$

$$T = \frac{0.187 \times 0.007}{0.89}$$

GRAFICA VI.17

III

| REGISTRO DE PRUEBAS LC BOMBEO |         |             |
|-------------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | PROFUNDIDAD |
| 0 seg.                        | 40.22   | 0.00        |
| 15"                           | 40.42   | 0.50        |
| 30"                           | 40.23   | 1.00        |
| 45"                           |         |             |
| 1'                            | 39.03   | 1.50        |
| 2'                            | 38.60   | 2.00        |
| 4'                            | 37.54   | 2.50        |
| 6'                            | 37.20   | 3.00        |
| 15'                           | 36.50   | 3.50        |
| 30'                           | 35.96   | 4.00        |
| 45'                           | 35.82   | 4.50        |
| 1h                            | 35.91   | 5.00        |
| 1.30h                         | 35.56   | 5.50        |
| 2.00h                         | 35.66   | 6.00        |
| 2.30h                         | 35.71   | 6.50        |
| 3.00h                         | 35.71   | 7.00        |
| 3.30h                         | 35.72   | 7.50        |
| 4.00h                         | 35.72   | 8.00        |
| 4.30h                         |         |             |
| 5.00h                         |         |             |
| 5.30h                         |         |             |
| 6.00h                         |         |             |
| 6.30h                         |         |             |
| 7.00h                         |         |             |
| 7.30h                         |         |             |
| 8.00h                         |         |             |
| 8.30h                         |         |             |
| 9.00h                         |         |             |
| 9.30h                         |         |             |
| 10.00h                        |         |             |



## CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                             |                                  |               |
|-----------------------------|----------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>372</u>         | CAUDAL DE PRUEBA (ps) <u>7.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Fuefles</u>       | CAUDAL ESP (ps/m) <u>7.0</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>San Martín</u> | PROF. TOTAL _____ m              |               |
| <u>Jueves</u>               | PROF. N.E. <u>7.0</u> _____ m    |               |
| FECHA: _____                | PROF. N.D. _____ m               |               |
|                             | USO DEL AGUA _____               |               |

$$T = 0.027 \times 10^{-3} \text{ seg.}$$

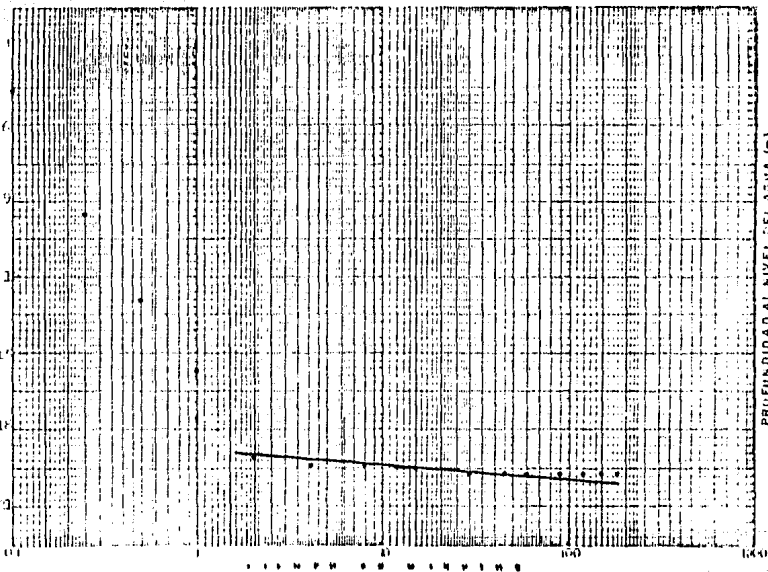
$$I = \frac{0.1024}{10}$$

$$T = \frac{0.1024 \times 0.027}{0.027}$$

GRÁFICA VI.18

112

| RESISTENCIA DE FUENTES DE BOMBEO |       |       |
|----------------------------------|-------|-------|
| 10'                              | 11.10 | 10.00 |
| 0.5'                             | 4.75  | 5.00  |
| 15'                              | 9.50  | 5.00  |
| 20'                              | 12.00 | 8.41  |
| 45'                              |       |       |
| 1'                               | 16.71 | 11.33 |
| 2'                               | 16.11 | 14.53 |
| 4'                               | 16.36 | 14.76 |
| 6'                               | 16.8  | 14.76 |
| 15'                              | 16.57 | 14.99 |
| 20'                              | 16.70 | 15.12 |
| 45'                              | 16.70 | 15.12 |
| 1h                               | 16.70 | 15.12 |
| 1.5h                             | 16.70 | 15.12 |
| 2.0h                             | 16.70 | 15.12 |
| 2.5h                             | 16.70 | 15.12 |
| 3.0h                             | 16.70 | 15.12 |
| 3.5h                             |       |       |
| 4.0h                             |       |       |
| 4.5h                             |       |       |
| 5.0h                             |       |       |
| 5.5h                             |       |       |
| 6.0h                             |       |       |
| 6.5h                             |       |       |
| 7.0h                             |       |       |
| 7.5h                             |       |       |
| 8.0h                             |       |       |
| 8.5h                             |       |       |
| 9.0h                             |       |       |
| 9.5h                             |       |       |
| 10.0h                            |       |       |



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

| CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>88</u>                  | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>1.12</u> | OBSERVACIONES |
| CANTO <u>Puella</u>                 | CAUDAL E SP (lps/m) <u>1.12</u>    |               |
| MUNICIPIO <u>San Antonio</u>        | PROF. TOTAL <u>12.1</u> m          |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.E. <u>6.52</u> m           |               |
|                                     | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>Idrog.</u>         |               |

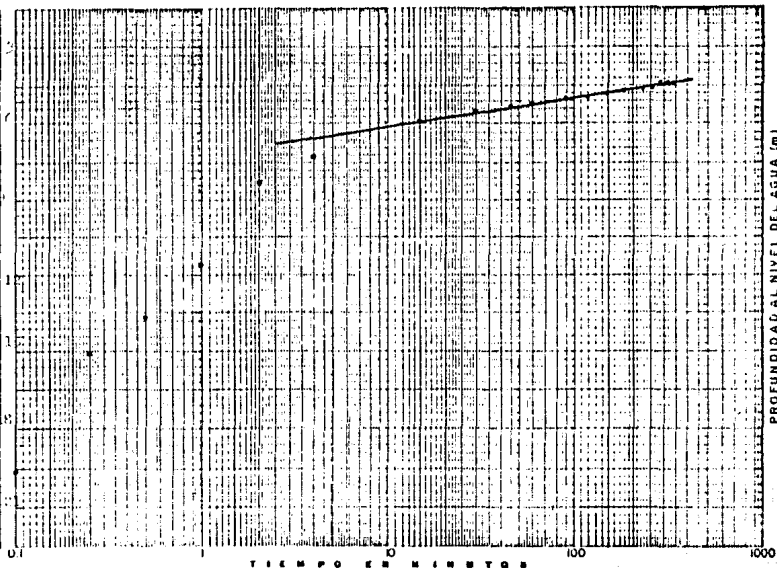
$$= \frac{0.112}{1}$$

$$= 0.112 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$= \frac{0.112 \times 0.002}{0.20}$$

GRAFICA N.º 10

| REGISTRO DE PRUEBAS DE INMBLO |         |             |
|-------------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | DEFORMACION |
| 0 Seg.                        | 13.70   | 0.00        |
| 15"                           | 13.82   | 1.12        |
| 30"                           | 13.88   | 1.18        |
| 45"                           |         |             |
| 1'                            | 13.89   | 1.19        |
| 2'                            | 13.76   | 11.06       |
| 4'                            | 13.72   | 11.02       |
| 8'                            | 13.62   | 10.92       |
| 15'                           | 13.51   | 10.81       |
| 30'                           | 13.43   | 10.73       |
| 45'                           | 13.25   | 10.55       |
| 1h                            | 13.10   | 10.40       |
| 1.30h                         | 12.95   | 10.25       |
| 2.00h                         | 12.84   | 10.14       |
| 2.30h                         | 12.77   | 10.07       |
| 3.00h                         | 12.69   | 9.99        |
| 3.30h                         | 12.63   | 9.93        |
| 4.00h                         | 12.51   | 9.81        |
| 4.30h                         | 12.40   | 9.70        |
| 5.00h                         | 12.28   | 9.58        |
| 5.30h                         |         |             |
| 6.00h                         |         |             |
| 6.30h                         |         |             |
| 7.00h                         |         |             |
| 7.30h                         |         |             |
| 8.00h                         |         |             |
| 8.30h                         |         |             |
| 9.00h                         |         |             |
| 9.30h                         |         |             |
| 10.00h                        |         |             |

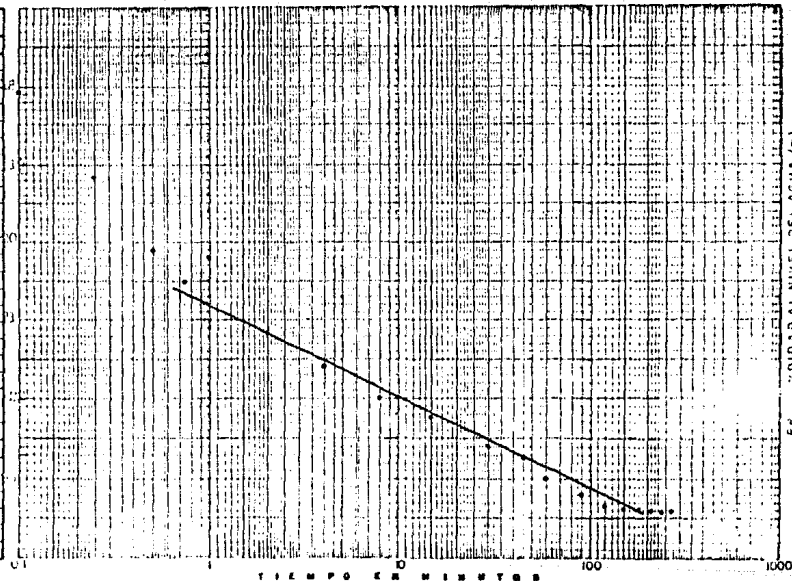


| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                              |               |
|-------------------------------------|------------------------------|---------------|
| FOZONO. _____                       | CAUDAL DE PRUEBA (l/s) _____ | OBSERVACIONES |
| ESTADO _____                        | CAUDAL ESP. (l/s/m) _____    |               |
| MUNICIPIO _____                     | PROF. TOTAL _____ m          |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.O. _____ m           |               |
| _____                               | USO DEL AGUA _____           |               |

$T = \frac{0.2724}{1}$   
 $T = \frac{0.2724 \times 1.000}{1.25}$   
 $T = 0.2179 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$



| DATOS DE LAS LECCIONES |         |           |
|------------------------|---------|-----------|
| TIEMPO                 | LECTURA | ALTIMETRO |
| 05m                    | 18.02   | 0.65      |
| 15"                    | 19.18   | 1.16      |
| 10"                    | 20.13   | 2.07      |
| 45"                    | 20.50   | 2.16      |
| 7"                     | 21.00   | 2.16      |
| 2"                     | 21.15   | 2.11      |
| 4"                     | 21.52   | 2.55      |
| 6"                     | 22.00   | 2.90      |
| 15"                    | 22.24   | 4.20      |
| 30"                    | 22.52   | 4.54      |
| 45"                    | 22.58   | 4.71      |
| 1h                     | 23.01   | 4.87      |
| 1.30h                  | 23.06   | 5.16      |
| 1.00h                  | 23.17   | 5.29      |
| 2.30h                  | 23.15   | 5.23      |
| 3.00h                  | 23.17   | 5.23      |
| 3.30h                  | 23.10   | 5.36      |
| 4.00h                  | 23.10   | 5.36      |
| 4.30h                  | 23.10   | 5.36      |
| 5.00h                  |         |           |
| 5.30h                  |         |           |
| 6.00h                  |         |           |
| 6.30h                  |         |           |
| 7.00h                  |         |           |
| 7.30h                  |         |           |
| 8.00h                  |         |           |
| 8.30h                  |         |           |
| 9.00h                  |         |           |
| 9.30h                  |         |           |
| 10.00h                 |         |           |



| CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| LOCC No. <u>662</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>2.21</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Quebec</u>                | CAUDAL ESP (lps/m) <u>5.57</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>St. Yvoine</u>         | PROF. TOTAL <u>10.0</u> m          |               |
|                                     | PROF. N.E. <u>15.0</u> m           |               |
|                                     | PROF. N.O. _____ m                 |               |
| FECHA _____                         | USO DEL AGUA <u>1.000</u> m        |               |

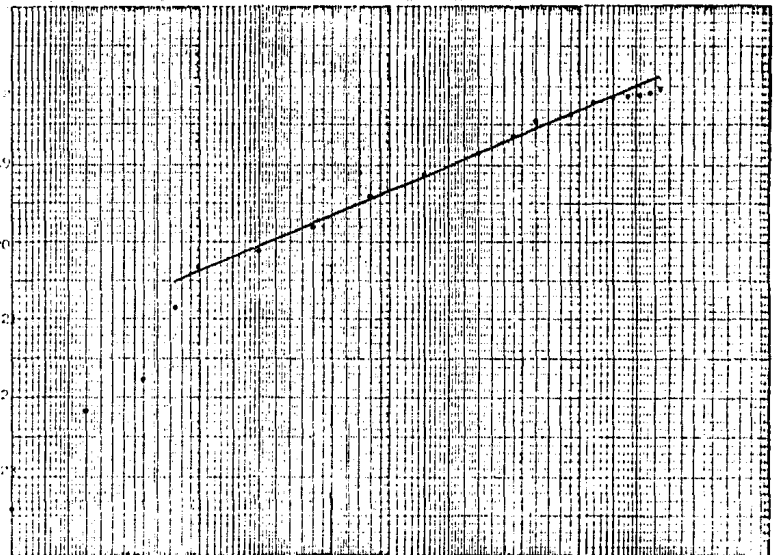
$$T = \frac{L \cdot Q}{P}$$

$$T = 2.176 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.122 \times 1.032}{1.12}$$

SII

| REGISTRO DE TIEMPOS DE BOMBEO |         |           |
|-------------------------------|---------|-----------|
| TIEMPO                        | LECTURA | OPERACION |
| 0 seg.                        | 00.00   | 0.00      |
| 15"                           | 00.15   | 0.74      |
| 30"                           | 00.30   | 1.16      |
| 45"                           | 00.45   | 2.55      |
| 1'                            | 01.00   | 3.68      |
| 2'                            | 01.15   | 5.25      |
| 3'                            | 01.30   | 6.62      |
| 4'                            | 01.45   | 7.99      |
| 5'                            | 02.00   | 9.36      |
| 10'                           | 02.15   | 10.73     |
| 15'                           | 02.30   | 12.10     |
| 20'                           | 02.45   | 13.47     |
| 25'                           | 03.00   | 14.84     |
| 30'                           | 03.15   | 16.21     |
| 35'                           | 03.30   | 17.58     |
| 40'                           | 03.45   | 18.95     |
| 45'                           | 04.00   | 20.32     |
| 50'                           | 04.15   | 21.69     |
| 55'                           | 04.30   | 23.06     |
| 1.00                          | 04.45   | 24.43     |
| 1.05                          | 05.00   | 25.80     |
| 1.10                          | 05.15   | 27.17     |
| 1.15                          | 05.30   | 28.54     |
| 1.20                          | 05.45   | 29.91     |
| 1.25                          | 06.00   | 31.28     |
| 1.30                          | 06.15   | 32.65     |
| 1.35                          | 06.30   | 34.02     |
| 1.40                          | 06.45   | 35.39     |
| 1.45                          | 07.00   | 36.76     |
| 1.50                          |         |           |
| 1.55                          |         |           |
| 2.00                          |         |           |
| 2.05                          |         |           |
| 2.10                          |         |           |
| 2.15                          |         |           |
| 2.20                          |         |           |
| 2.25                          |         |           |
| 2.30                          |         |           |
| 2.35                          |         |           |
| 2.40                          |         |           |
| 2.45                          |         |           |
| 2.50                          |         |           |
| 2.55                          |         |           |
| 3.00                          |         |           |
| 3.05                          |         |           |
| 3.10                          |         |           |
| 3.15                          |         |           |
| 3.20                          |         |           |
| 3.25                          |         |           |
| 3.30                          |         |           |
| 3.35                          |         |           |
| 3.40                          |         |           |
| 3.45                          |         |           |
| 3.50                          |         |           |
| 3.55                          |         |           |
| 4.00                          |         |           |
| 4.05                          |         |           |
| 4.10                          |         |           |
| 4.15                          |         |           |
| 4.20                          |         |           |
| 4.25                          |         |           |
| 4.30                          |         |           |
| 4.35                          |         |           |
| 4.40                          |         |           |
| 4.45                          |         |           |
| 4.50                          |         |           |
| 4.55                          |         |           |
| 5.00                          |         |           |



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                      |               |
|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------|
| POZONO. <u>14</u>                   | CAUDAL DE PRUEBA (lps.) <u>12.61</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Excelente</u>             | CAUDAL ESP. (lps/m) <u>0.97</u>      |               |
| MUNICIPIO <u>El Valle</u>           | PROF. TOTAL <u>10.00</u> m           |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.E. <u>10.00</u> m            |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>14.00</u> m          |               |

$$T = \frac{C_1 \cdot M^2}{N}$$

$$T = 5.577 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

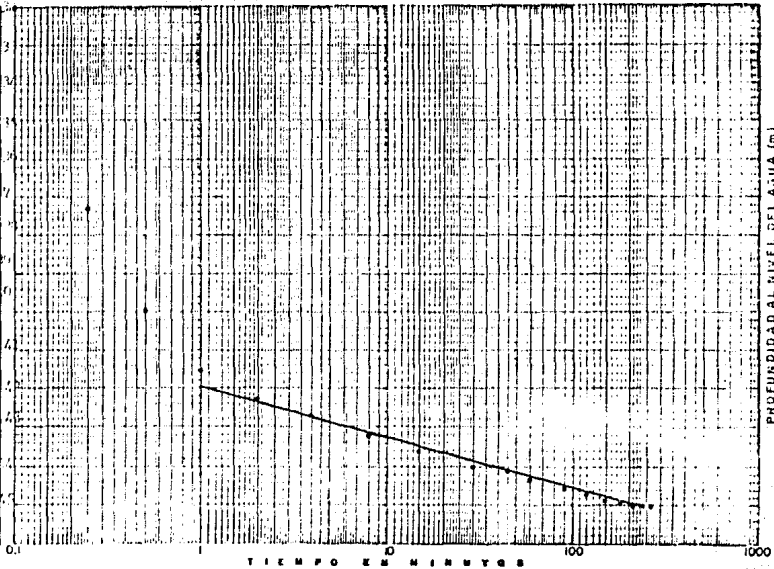
$$T = \frac{C_2 \cdot M^2 \cdot C_3 \cdot C_4}{1.05}$$

GRAFICA VI.22

RESERVA DE FUENTES DE BOMBEO

| TIEMPO | LECTURA | PROFUNDIDAD |
|--------|---------|-------------|
| 0 seg. | 37.00   | 0.00        |
| 15"    | 37.38   | 4.38        |
| 30"    | 37.90   | 7.90        |
| 45"    |         |             |
| 1'     | 41.65   | 9.65        |
| 2'     | 45.27   | 10.27       |
| 4'     | 48.64   | 10.64       |
| 6'     | 53.20   | 11.20       |
| 15'    | 63.00   | 11.60       |
| 30'    | 63.00   | 11.60       |
| 45'    | 64.10   | 12.10       |
| 1h     | 66.30   | 12.30       |
| 1.30h  | 66.50   | 12.50       |
| 2.00h  | 66.68   | 12.68       |
| 2.30h  | 66.86   | 12.86       |
| 3.00h  | 66.90   | 12.90       |
| 3.30h  | 65.00   | 13.00       |
| 4.00h  | 65.00   | 13.00       |
| 4.30h  | 65.00   | 13.00       |
| 5.00h  |         |             |
| 5.30h  |         |             |
| 6.00h  |         |             |
| 6.30h  |         |             |
| 7.00h  |         |             |
| 7.30h  |         |             |
| 8.00h  |         |             |
| 8.30h  |         |             |
| 9.00h  |         |             |
| 10.00h |         |             |

119



| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |               |               |
|-------------------------------------|---------------|---------------|
| POZONO                              | 1100          | OBSERVACIONES |
| ESTADO                              | Tierras Bajas |               |
| MUNICIPIO                           | Zacatepec     |               |
| FECHA:                              |               |               |
| CAUDAL DE PRUEBA (lps)              | 25.0          |               |
| CAUDAL ESP (lps/m)                  | 1.46          |               |
| PROF. TOTAL                         | 13.0          |               |
| PROF. N.E.                          | 0             |               |
| PROF. N.D.                          |               |               |
| USO DEL AGUA                        | AGRIC.        |               |

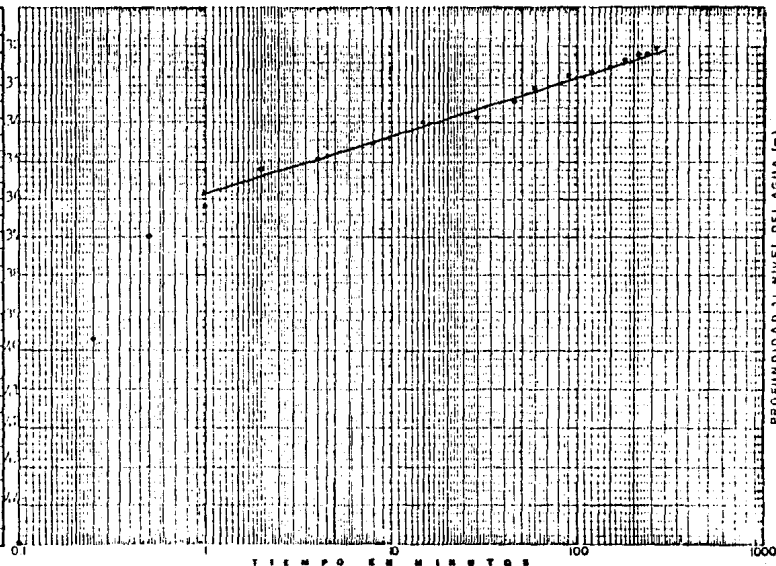
$$T = \frac{L \cdot N^2}{H^3}$$

$$T = 6.055 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$F = \frac{L \cdot N \cdot S \cdot C}{1.36}$$

GRAFICA 97.23

| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |                         |
|-------------------------------|---------|-------------------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | ALT. DEL NIVEL DEL AGUA |
| 0 hrs.                        | 75.00   | 0.00                    |
| 15'                           | 37.65   | 5.37                    |
| 30'                           | 37.00   | 8.00                    |
| 45'                           |         |                         |
| 1'                            | 36.10   | 8.90                    |
| 2'                            | 35.20   | 9.80                    |
| 3'                            | 34.30   | 10.70                   |
| 4'                            | 34.50   | 10.50                   |
| 5'                            | 34.00   | 11.00                   |
| 10'                           | 33.85   | 11.15                   |
| 30'                           | 33.25   | 11.75                   |
| 45'                           | 32.35   | 12.65                   |
| 1h                            | 31.00   | 14.00                   |
| 1.30h                         | 30.70   | 14.30                   |
| 2.00h                         | 30.65   | 14.35                   |
| 2.30h                         | 30.40   | 14.60                   |
| 3.00h                         | 30.20   | 14.80                   |
| 3.30h                         | 30.10   | 14.90                   |
| 4.00h                         | 30.10   | 14.90                   |
| 4.30h                         | 30.05   | 14.95                   |
| 5.00h                         |         |                         |
| 5.30h                         |         |                         |
| 6.00h                         |         |                         |
| 6.30h                         |         |                         |
| 7.00h                         |         |                         |
| 7.30h                         |         |                         |
| 8.00h                         |         |                         |
| 8.30h                         |         |                         |
| 9.00h                         |         |                         |
| 9.30h                         |         |                         |
| 10.00h                        |         |                         |



## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                      |  |               |
|----------------------|--|---------------|
| POZONO: 1000         | CAUDAL DE PRUEBA (m <sup>3</sup> /h): 45.0 | OBSERVACIONES |
| ESTADO: Tlaxcala     | CAUDAL ESP (m <sup>3</sup> /h): 1.47       |               |
| MUNICIPIO: Zacatecas | PROF. TOTAL: 14.90 m                       |               |
|                      | PROF. N.E.: 14.90 m                        |               |
|                      | PROF. N.D.: 14.90 m                        |               |
| FECHA: _____         | USO DEL AGUA: 100%                         |               |

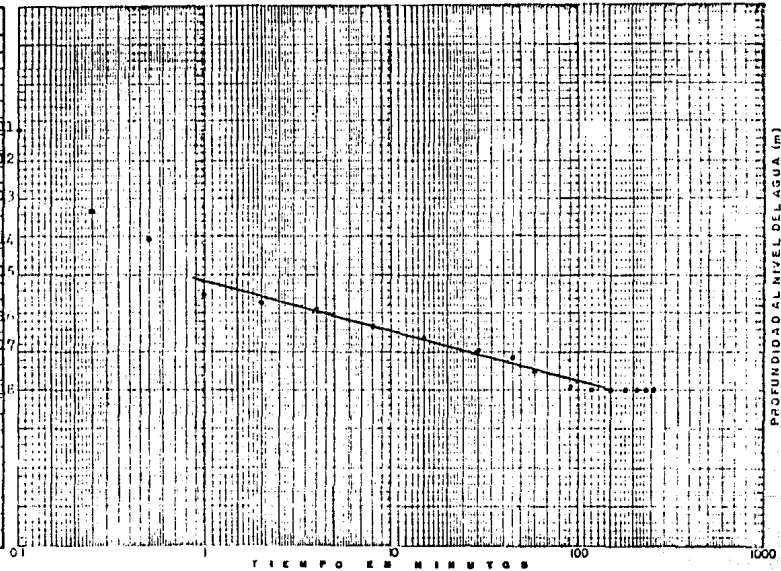
$$T = \frac{0.305}{P}$$

$$T = 5.977 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{cm}^2$$

$$T = \frac{0.305 \times 0.005}{1.5\%}$$

| REGISTRO DE PRUEBAS EL BOMBEO |         |           |
|-------------------------------|---------|-----------|
| TIEMPO                        | LECTURA | ACUMULADO |
| C. Sig.                       | 11.23   | 0.00      |
| 15"                           | 13.77   | 2.54      |
| 30"                           | 14.07   | 2.84      |
| 45"                           |         |           |
| 1'                            | 15.60   | 4.37      |
| 2'                            | 15.67   | 4.44      |
| 4'                            | 15.95   | 4.72      |
| 8'                            | 16.37   | 5.14      |
| 15'                           | 16.60   | 5.37      |
| 30'                           | 16.95   | 5.72      |
| 45'                           | 17.13   | 5.90      |
| 1h                            | 17.43   | 6.20      |
| 1.30h                         | 17.82   | 6.59      |
| 2.0h                          | 18.00   | 6.77      |
| 2.30h                         | 18.00   | 6.77      |
| 3.0h                          | 18.00   | 6.77      |
| 3.30h                         | 18.00   | 6.77      |
| 4.0h                          | 18.00   | 6.77      |
| 4.30h                         |         |           |
| 5.0h                          |         |           |
| 5.30h                         |         |           |
| 6.0h                          |         |           |
| 6.30h                         |         |           |
| 7.0h                          |         |           |
| 7.30h                         |         |           |
| 8.0h                          |         |           |
| 8.30h                         |         |           |
| 9.0h                          |         |           |
| 9.30h                         |         |           |
| 10.0h                         |         |           |

118



## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                            |                                    |               |
|----------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZONA <u>105</u>          | CAUDAL DE PRUEBA (l/s) <u>72.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>       | CAUDAL ESP. (l/s/m) <u>17.62</u>   |               |
| MUNICIPIO <u>Coxcohuco</u> | PROF. TOTAL <u>170.6</u> m         |               |
| FECHA: _____               | PROF. N.E. <u>11.23</u> m          |               |
|                            | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                            | USO DEL AGUA <u>180.00</u>         |               |

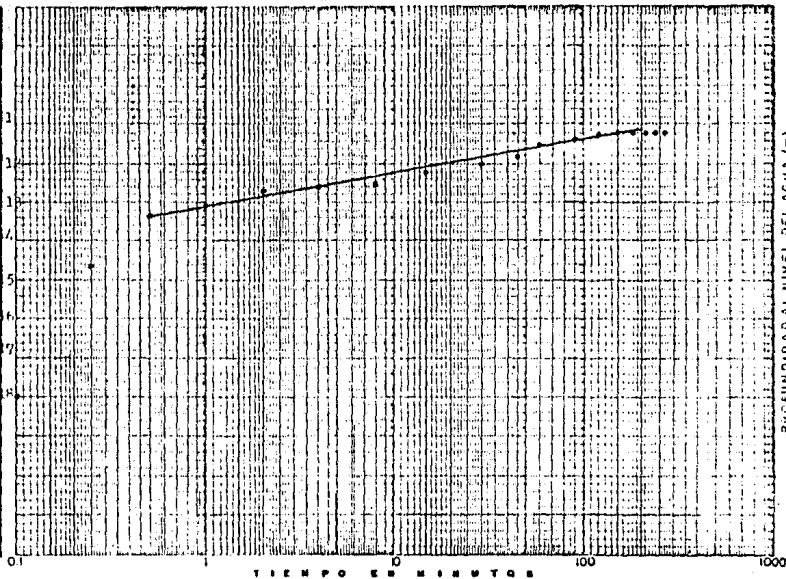
$$T = \frac{0.383}{Q}$$

$$T = 10.46 \times 10^{-2} \psi / D^2$$

$$T = \frac{0.183 \times (0.002)}{1.26}$$

GRAFICA VI.25

| REGISTRO DE FOLIAS DE BOMBEO |         |                 |
|------------------------------|---------|-----------------|
| TIEMPO                       | LECTURA | PROFUNDIDAD (m) |
| 0 seg.                       | 18.77   | 0.00            |
| 15"                          | 17.63   | 1.14            |
| 30"                          | 13.36   | 7.41            |
| 45"                          |         |                 |
| 1'                           | 11.05   | 4.05            |
| 2'                           | 12.75   | 5.25            |
| 4'                           | 12.02   | 5.32            |
| 6'                           | 12.56   | 5.66            |
| 15'                          | 12.21   | 5.71            |
| 30'                          | 12.00   | 6.00            |
| 45'                          | 11.98   | 6.22            |
| 1h                           | 11.53   | 6.47            |
| 1.5h                         | 11.40   | 6.60            |
| 2.0h                         | 11.25   | 6.75            |
| 2.5h                         | 11.25   | 6.75            |
| 3.0h                         | 11.24   | 6.74            |
| 3.5h                         | 11.24   | 6.74            |
| 4.0h                         | 11.23   | 6.77            |
| 4.5h                         | 11.24   | 6.76            |
| 5.0h                         | 11.24   | 6.76            |
| 5.5h                         | 11.23   | 6.77            |
| 6.0h                         |         |                 |
| 6.5h                         |         |                 |
| 7.0h                         |         |                 |
| 7.5h                         |         |                 |
| 8.0h                         |         |                 |
| 8.5h                         |         |                 |
| 9.0h                         |         |                 |
| 9.5h                         |         |                 |
| 10.0h                        |         |                 |



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

TIEMPO EN MINUTOS

## CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

|                          |                                    |               |
|--------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>105</u>      | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>72.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>     | CAUDAL ESP. (lps/m) <u>16.66</u>   |               |
| MUNICIPIO <u>Catpaco</u> | PROF. TOTAL <u>170.0</u> m         |               |
| FECHA: _____             | PROF. N.E. <u>11.2</u> m           |               |
|                          | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                          | USO DEL AGUA <u>Idrigo</u>         |               |

$$T = \frac{0.187}{1}$$

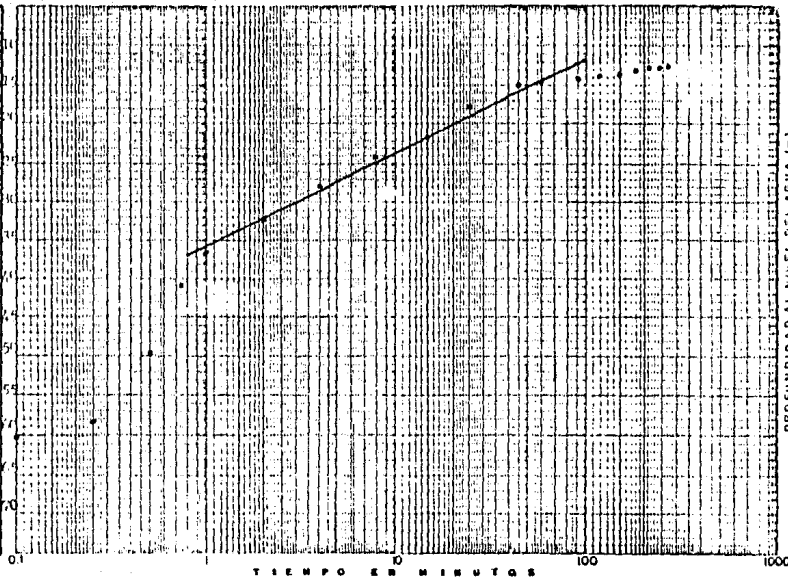
$$T = 1.270 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.187 + 0.072}{0.87}$$

CIJFICA VI.26

| REGISTRO DE MEDIDAS DE BOMBEO |         |                 |
|-------------------------------|---------|-----------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | PROFUNDIDAD (m) |
| 0 m                           | 60.10   | 0.00            |
| 15"                           | 58.71   | 1.60            |
| 30"                           | 50.70   | 10.40           |
| 45"                           | 40.83   | 19.27           |
| 1'                            | 36.91   | 23.50           |
| 2'                            | 32.28   | 27.82           |
| 4'                            | 28.00   | 32.10           |
| 6'                            | 24.05   | 36.05           |
| 10'                           | 21.78   | 39.60           |
| 30'                           | 17.80   | 43.30           |
| 45'                           | 15.40   | 45.10           |
| 1h                            | 14.44   | 45.64           |
| 1.30h                         | 14.13   | 45.87           |
| 2.00h                         | 13.96   | 46.14           |
| 2.30h                         | 13.91   | 46.19           |
| 3.00h                         | 13.02   | 47.08           |
| 3.30h                         | 12.98   | 47.12           |
| 4.00h                         | 12.90   | 47.20           |
| 4.30h                         | 12.85   | 47.25           |
| 5.00h                         |         |                 |
| 5.30h                         |         |                 |
| 6.00h                         |         |                 |
| 6.30h                         |         |                 |
| 7.00h                         |         |                 |
| 7.30h                         |         |                 |
| 8.00h                         |         |                 |
| 8.30h                         |         |                 |
| 9.00h                         |         |                 |
| 9.30h                         |         |                 |
| 10.00h                        |         |                 |

120



PROFUNDIDAD AL NIVEL DEL AGUA (m)

| CARACTERÍSTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZONO <u>707</u>                   | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>12.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>7087</u>                  | CAUDAL ESP (lps/m) <u>0.4</u>      |               |
| MUNICIPIO <u>San José</u>           | PROF. TOTAL <u>47.25</u> m         |               |
|                                     | PROF. N.E. <u>23.50</u> m          |               |
|                                     | PROF. N.D. <u>23.75</u> m          |               |
| FECHA: _____                        | USO DEL AGUA <u>Agua Potable</u>   |               |

$$T = \frac{0.1234}{1}$$

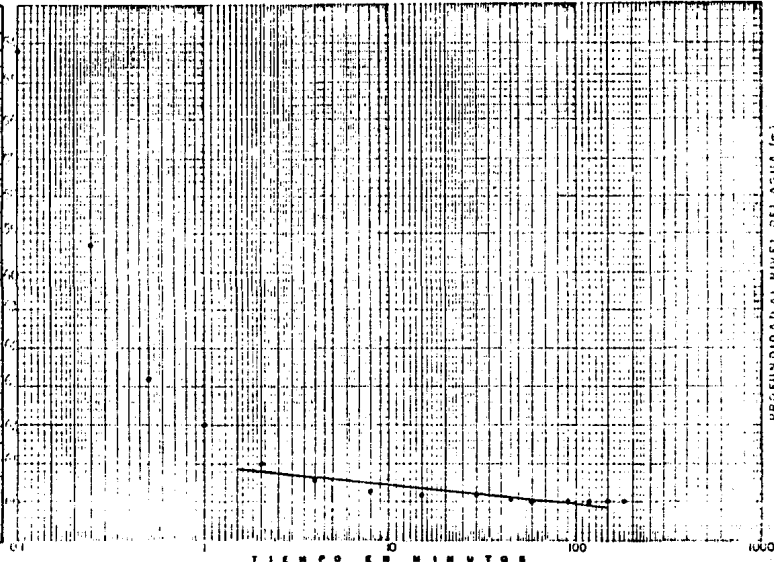
$$T = 0.123 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ seg.}$$

$$T = \frac{0.123 \times 0.014}{12.0}$$

GRAFICA VI.27

121

| REGISTRO DE COLUMNAS DE BOMBEO |         |             |
|--------------------------------|---------|-------------|
| TIEMPO                         | LECTURA | PROFUNDIDAD |
| 0 Seg.                         | 59.30   | 7.00        |
| 15"                            | 59.30   | 7.10        |
| 30"                            | 62.30   | 7.70        |
| 45"                            |         |             |
| 1'                             | 65.00   | 8.30        |
| 2'                             | 65.00   | 10.20       |
| 4'                             | 65.00   | 11.30       |
| 6'                             | 65.70   | 11.60       |
| 15'                            | 65.80   | 11.60       |
| 20'                            | 65.85   | 11.65       |
| 45'                            | 66.00   | 11.80       |
| 1h                             | 66.00   | 11.80       |
| 1.30h                          | 66.00   | 11.80       |
| 2.00h                          | 66.00   | 11.80       |
| 2.30h                          | 66.00   | 11.80       |
| 3.00h                          | 67.00   | 11.80       |
| 3.30h                          |         |             |
| 4.00h                          |         |             |
| 4.30h                          |         |             |
| 5.00h                          |         |             |
| 5.30h                          |         |             |
| 6.00h                          |         |             |
| 6.30h                          |         |             |
| 7.00h                          |         |             |
| 7.30h                          |         |             |
| 8.00h                          |         |             |
| 8.30h                          |         |             |
| 9.00h                          |         |             |
| 9.30h                          |         |             |
| 10.00h                         |         |             |

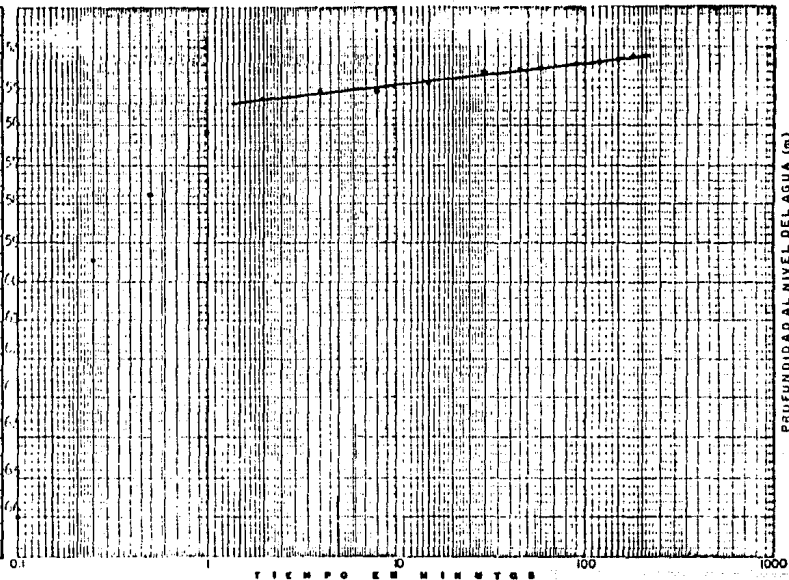


| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| FORMA No. <u>827</u>                | CAUDAL DE PRUEBA (l/s) <u>2.50</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>San Salvador</u>          | CAUDAL L.S.P.I (l/s/m) <u>2.50</u> |               |
| MUNICIPIO <u>Tlaxcala</u>           | PROF. TOTAL _____ m                |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.E. <u>54.50</u> m          |               |
|                                     | PROF. H.O. _____ m                 |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>Riego</u>          |               |

$Q = 2.50 \text{ l/s}$   
 $Q = 2.50 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$   
 $Q = 2.50 \times 60 \times 0.015$   
 $Q = 2.25 \text{ m}^3/\text{min}$



| REGISTRO DE PRUEBAS DE BOMBEO |         |                |
|-------------------------------|---------|----------------|
| TIEMPO                        | LECTURA | DE PROFUNDIDAD |
| 15"                           | 56.66   | 8.86           |
| 10"                           | 56.75   | 8.55           |
| 1"                            | 56.85   | 8.22           |
| 2"                            | 56.89   | 7.91           |
| 4"                            | 56.96   | 7.60           |
| 6"                            | 56.99   | 7.30           |
| 15"                           | 56.99   | 7.12           |
| 10"                           | 56.60   | 7.40           |
| 45"                           | 56.59   | 7.71           |
| 1h                            | 56.50   | 7.50           |
| 1.5h                          | 56.70   | 7.60           |
| 2.0h                          | 56.36   | 7.65           |
| 2.5h                          | 56.30   | 7.70           |
| 3.0h                          | 56.20   | 7.80           |
| 3.5h                          | 56.20   | 7.80           |
| 4.0h                          |         |                |
| 4.5h                          |         |                |
| 5.0h                          |         |                |
| 5.5h                          |         |                |
| 6.0h                          |         |                |
| 6.5h                          |         |                |
| 7.0h                          |         |                |
| 7.5h                          |         |                |
| 8.0h                          |         |                |
| 8.5h                          |         |                |
| 9.0h                          |         |                |
| 9.5h                          |         |                |
| 10.0h                         |         |                |



#### CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO

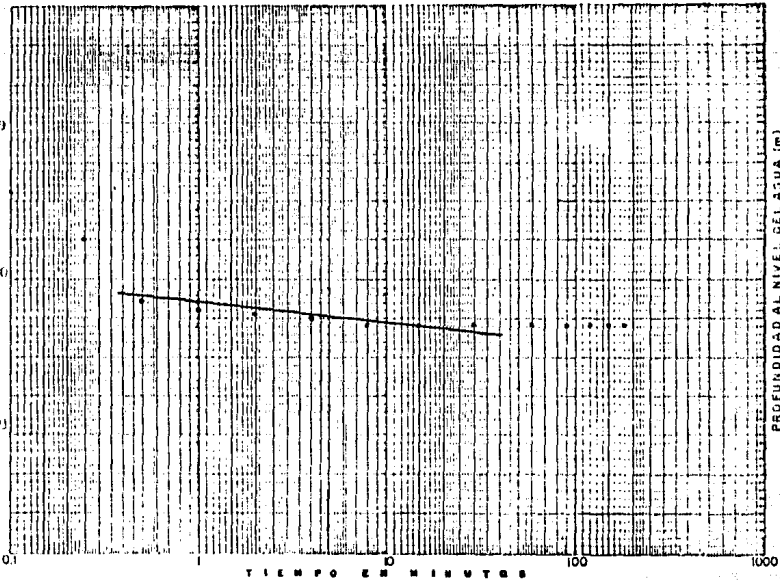
|                           |                                    |               |
|---------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZONO. <u>227</u>        | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>15.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>SAN DIEGO</u>   | CAUDAL ESP (lps/m) <u>1.27</u>     |               |
| MUNICIPIO <u>Tlaxcala</u> | PROF. TOTAL _____ m                |               |
| FECHA: _____              | PROF. N.E. <u>56.20</u> _____ m    |               |
|                           | PROF. N.O. _____ m                 |               |
|                           | USO DEL AGUA <u>irrig</u>          |               |

$$T = 5.0 \times 11.3 \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.1874}{P}$$

$$T = \frac{0.187 \times 0.015}{0.55}$$

| TIEMPO | ALTURA | CAUDAL (L/SEG) |
|--------|--------|----------------|
| 0 Seg. | 29.25  | 0.00           |
| 15"    | 29.76  | 0.30           |
| 30"    | 30.27  | 0.60           |
| 45"    |        |                |
| 1'     | 30.28  | 0.75           |
| 2'     | 30.29  | 0.77           |
| 4'     | 30.29  | 0.80           |
| 6'     | 30.29  | 0.82           |
| 15'    | 30.29  | 0.84           |
| 30'    | 30.29  | 0.84           |
| 45'    |        |                |
| 1h     | 30.29  | 0.84           |
| 1.30h  | 30.29  | 0.84           |
| 1.60h  | 30.29  | 0.84           |
| 1.90h  | 30.29  | 0.84           |
| 2.20h  | 30.29  | 0.84           |
| 2.50h  | 30.29  | 0.84           |
| 3.0h   |        |                |
| 3.30h  |        |                |
| 4.0h   |        |                |
| 4.30h  |        |                |
| 5.0h   |        |                |
| 5.30h  |        |                |
| 6.0h   |        |                |
| 6.30h  |        |                |
| 7.0h   |        |                |
| 7.30h  |        |                |
| 8.0h   |        |                |
| 8.30h  |        |                |
| 9.0h   |        |                |
| 9.30h  |        |                |
| 10.0h  |        |                |



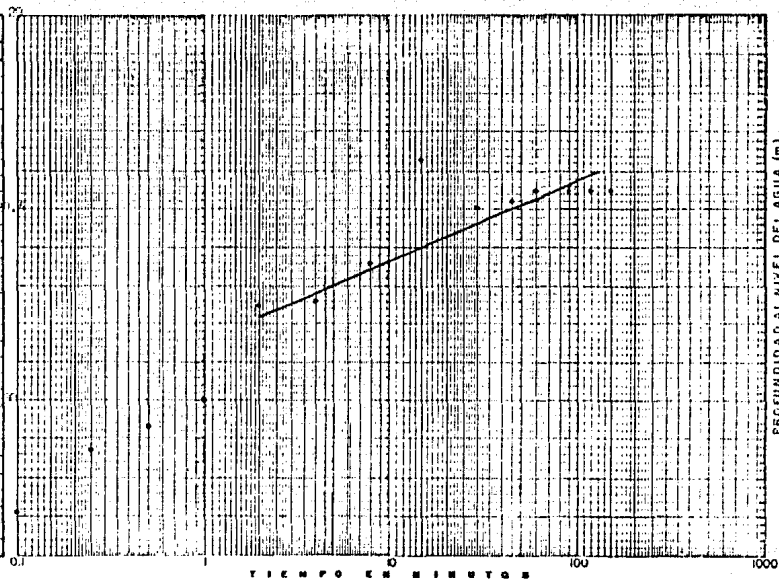
| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| POZO No. <u>605</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>0.84</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>                | CAUDAL ESP (lps/m) <u>70.83</u>    |               |
| MUNICIPIO <u>Puebla</u>             | PROF. TOTAL <u>30.29</u> m         |               |
|                                     | PROF. H.C. <u>29.25</u> m          |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>Industria</u>      |               |

$$= \frac{0.84 \times 60}{1}$$

$$= 50.21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$= \frac{0.84 \times 60}{0.1}$$

| REGISTRO DE TIJERAS DE POMBO |         |             |
|------------------------------|---------|-------------|
| TIRANCO                      | LECTURA | PROFUNDIDAD |
| 0 Seg.                       | 30.29   | 0.00        |
| 15"                          | 30.11   | 0.16        |
| 30"                          | 30.07   | 0.22        |
| 45"                          |         |             |
| 1'                           | 30.00   | 0.29        |
| 2'                           | 29.75   | 0.54        |
| 4'                           | 29.74   | 0.55        |
| 8'                           | 29.64   | 0.65        |
| 15'                          | 29.37   | 0.92        |
| 30'                          | 29.20   | 0.79        |
| 45'                          | 29.19   | 0.81        |
| 1h                           | 29.15   | 0.84        |
| 1.30h                        | 29.15   | 0.84        |
| 2.00h                        | 29.15   | 0.84        |
| 2.30h                        | 29.15   | 0.84        |
| 3.00h                        |         |             |
| 3.30h                        |         |             |
| 4.00h                        |         |             |
| 4.30h                        |         |             |
| 5.00h                        |         |             |
| 5.30h                        |         |             |
| 6.00h                        |         |             |
| 6.30h                        |         |             |
| 7.00h                        |         |             |
| 7.30h                        |         |             |
| 8.00h                        |         |             |
| 8.30h                        |         |             |
| 9.00h                        |         |             |
| 9.30h                        |         |             |
| 10.00h                       |         |             |

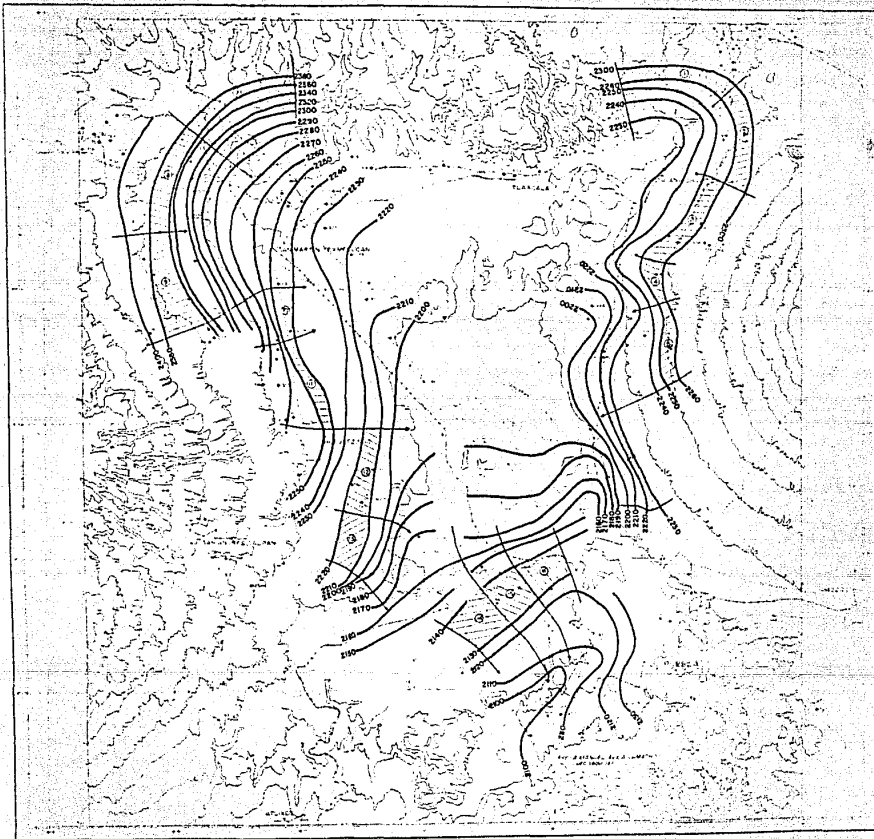


| CARACTERISTICAS DEL APROVECHAMIENTO |                                    |               |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| FOZO No. <u>605</u>                 | CAUDAL DE PRUEBA (lps) <u>41.0</u> | OBSERVACIONES |
| ESTADO <u>Puebla</u>                | CAUDAL ESRI (lps/m) <u>49.83</u>   |               |
| MUNICIPIO <u>Puebla</u>             | PROF. TOTAL <u>150.0</u> m         |               |
|                                     | PROF. N.E. <u>29.15</u> m          |               |
| FECHA: _____                        | PROF. N.D. _____ m                 |               |
|                                     | USO DEL AGUA <u>1.1000</u> m       |               |

$$q = 39.75 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$$

$$T = \frac{0.3265}{p}$$

$$T = \frac{0.3265 \times (0.04)}{0.29}$$



**PROJECCIA**

PROJECCIA: \_\_\_\_\_

ESCALA: \_\_\_\_\_

FECHA DE ELABORACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE ACTUALIZACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE REVISION: \_\_\_\_\_

FECHA DE APROBACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE EMISION: \_\_\_\_\_

FECHA DE CANCELACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE VIGENCIA: \_\_\_\_\_

FECHA DE EXPIRACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE OBSERVACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE COMPROBACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE VERIFICACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE VALIDACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE AUTENTICACION: \_\_\_\_\_

FECHA DE FIRMADO: \_\_\_\_\_

FECHA DE SELLO: \_\_\_\_\_

FECHA DE OTRO: \_\_\_\_\_

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS**

**IN E C**

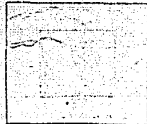
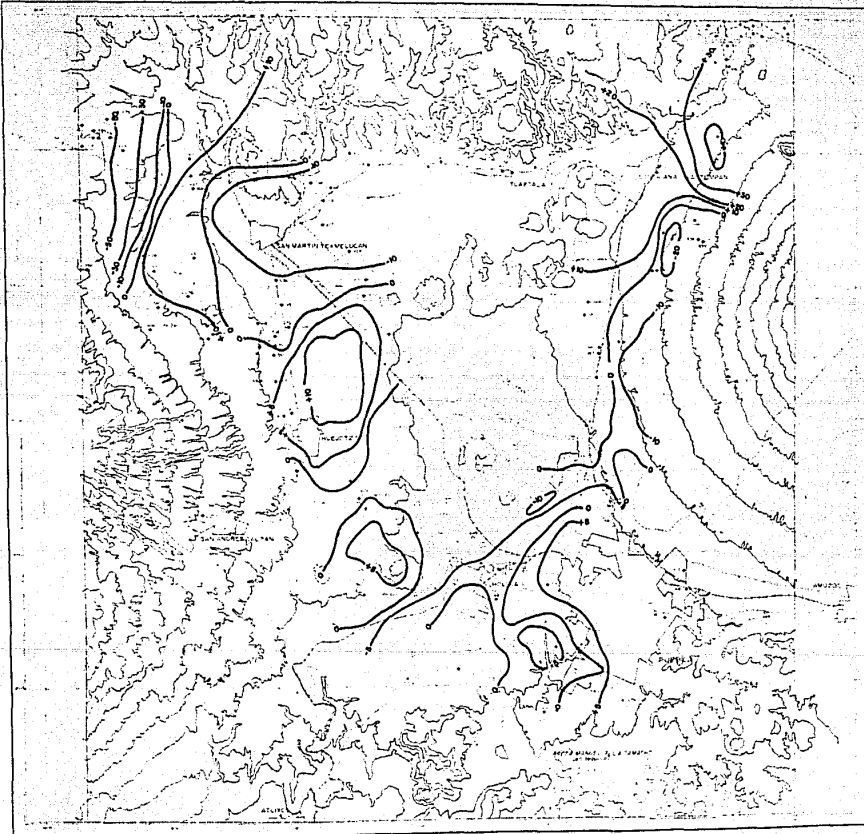
INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS

COMPLAZA DE PEZZINI FINCA

ATACAMA 2012

**TESIS PROFESIONAL**

198 1987 1988 1989



RESUMEN

OBJETIVO: ...

JUSTIFICACION: ...

ALCANCE: ...

METODOS: ...

RESULTADOS: ...

CONCLUSIONES: ...

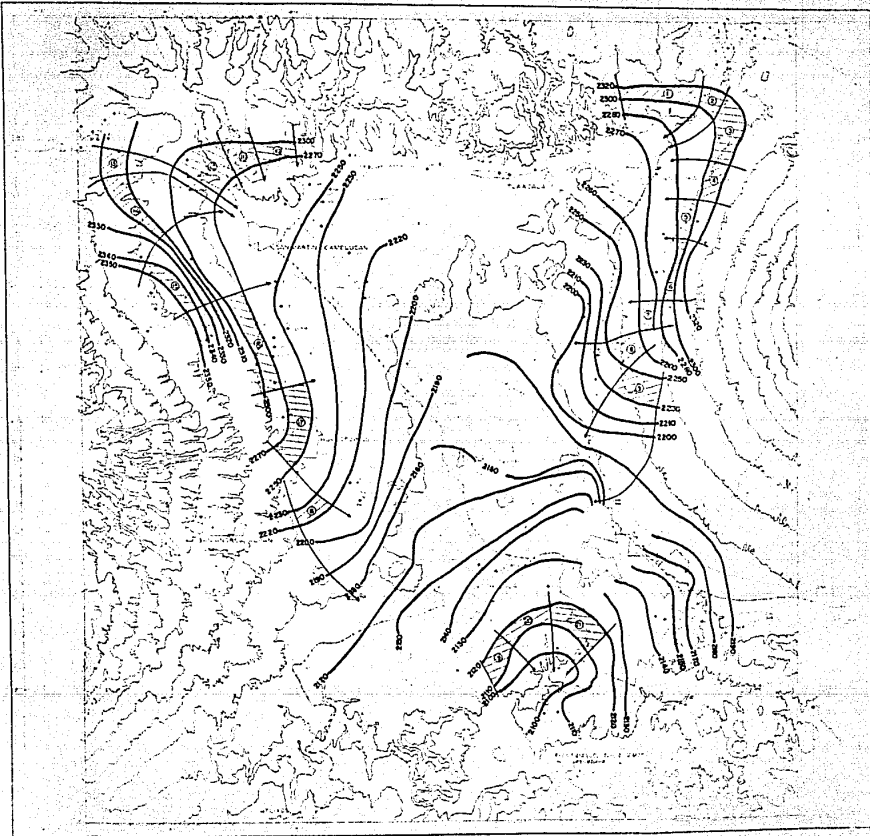
RECOMENDACIONES: ...

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES UNIV. DEL MAGDALENA

EVOLUCION DEL NIVEL ESTADICO OCT - 1982 - DIC - 1983

TRABAJO PROFESIONAL

INGENIERO ALBERTO HERRERA BRANDA



PROPOSED ROAD ROUTE

1. ROAD ROUTE

2. ROAD ROUTE

3. ROAD ROUTE

4. ROAD ROUTE

5. ROAD ROUTE

6. ROAD ROUTE

7. ROAD ROUTE

8. ROAD ROUTE

9. ROAD ROUTE

10. ROAD ROUTE

PROJECT

1. ROAD ROUTE

2. ROAD ROUTE

3. ROAD ROUTE

4. ROAD ROUTE

5. ROAD ROUTE

6. ROAD ROUTE

7. ROAD ROUTE

8. ROAD ROUTE

9. ROAD ROUTE

10. ROAD ROUTE

**LIN**  
**AM**

REGISTERED ARCHITECT

REGISTERED CIVIL ENGINEER

REGISTERED ELECTRICAL ENGINEER

REGISTERED MECHANICAL ENGINEER

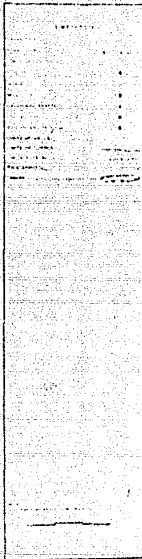
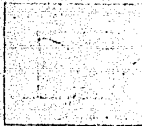
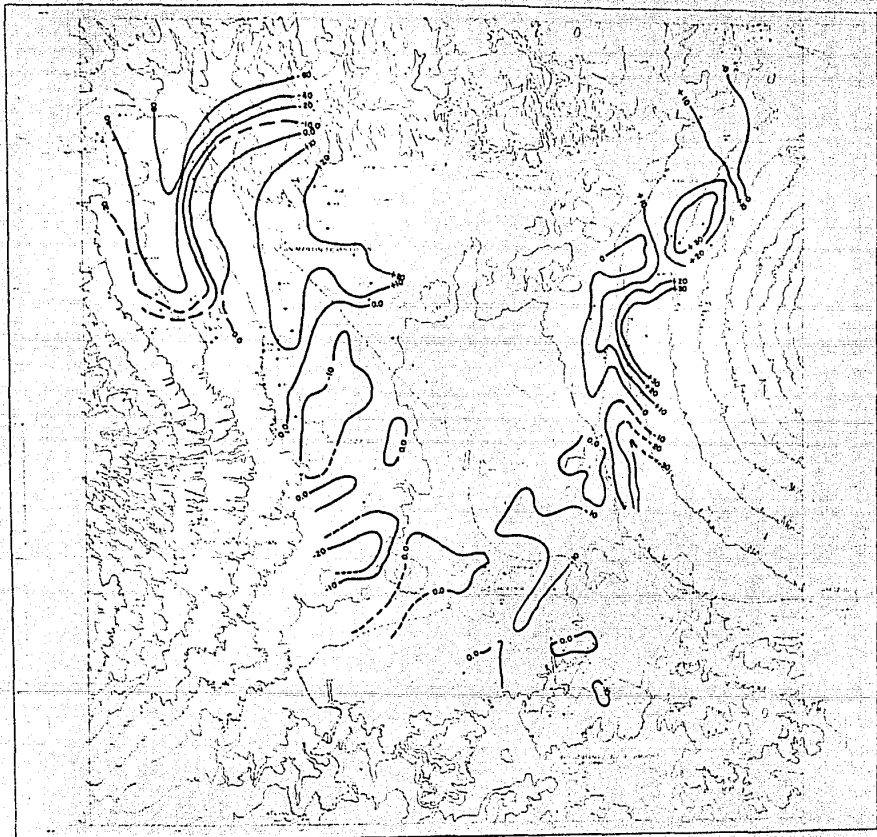
REGISTERED SURVEYOR


DIVISION OF HIGHWAYS

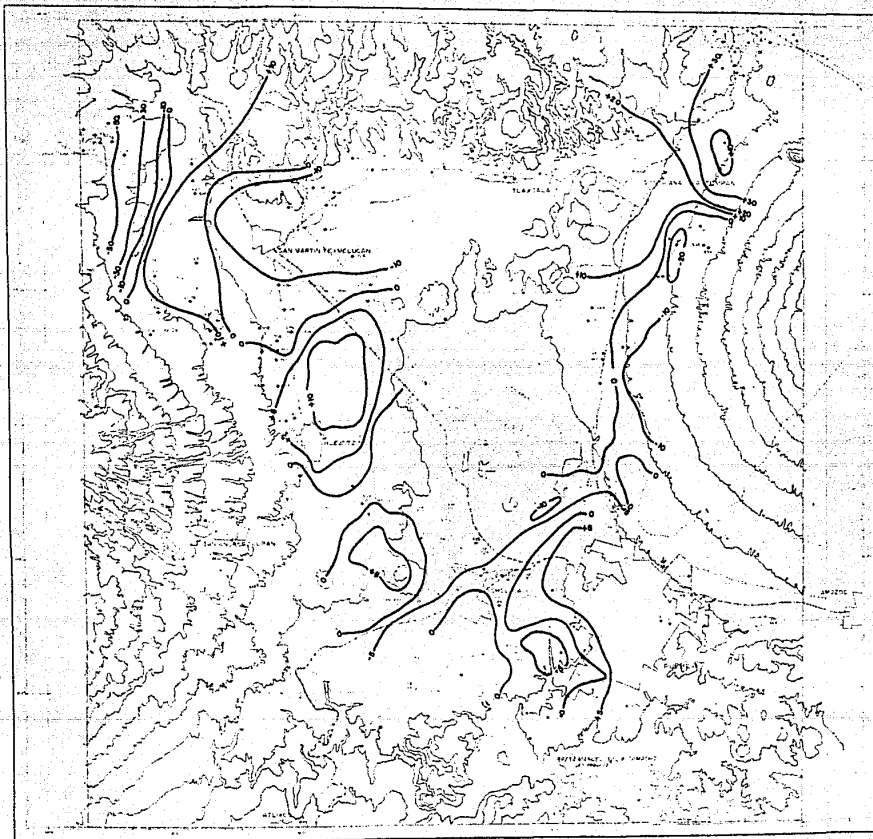
TORONTO, ONTARIO

PROJECT NO. 1234

DATE: 1998-12-31




**Sociedad Chilena de Topografía**  
 INSTITUCIÓN DE FOMENTO TECNOLÓGICO Y PROFESIONAL  
 EVOLUCIÓN DEL NIVEL USTAPCO  
 OCT 1973-OCT 1980  
**TESIS PROFESIONAL**  
 TÍTULO: EVOLUCIÓN DEL NIVEL USTAPCO  
 AUTOR: [Illegible]  
 FECHA: [Illegible]



**CONTENIDO**

|                  |    |
|------------------|----|
| INTRODUCCION     | 1  |
| 1. OBJETIVO      | 2  |
| 2. JUSTIFICACION | 3  |
| 3. METODOLOGIA   | 4  |
| 4. RESULTADOS    | 5  |
| 5. CONCLUSIONES  | 6  |
| 6. BIBLIOGRAFIA  | 7  |
| 7. ANEXOS        | 8  |
| 8. GLOSARIO      | 9  |
| 9. INDICE        | 10 |

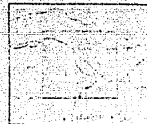
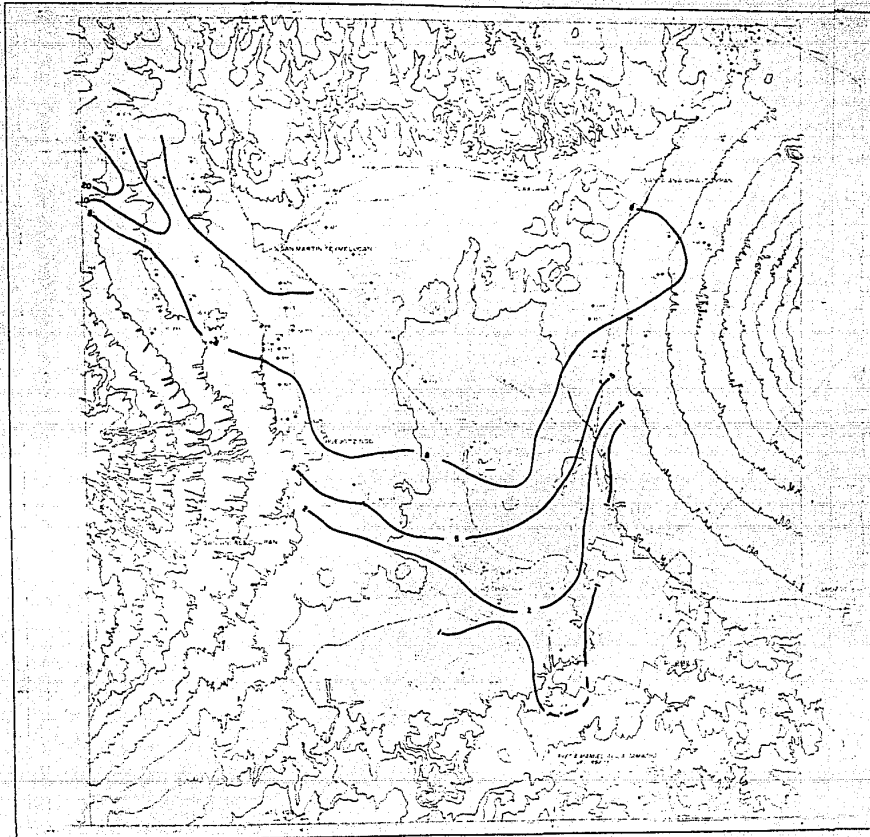
**UNAM** ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES UNDES MAPLEN MATRIZ B. 1981

TRABAJO DE INVESTIGACION EN EL AREA DE LA  
**EVOLUCION DEL NIVEL ESTRATICO**  
 OCT. 1980 - OCT. 1981

**TESIS PROFESIONAL**

ING. EN CIENCIAS DE LA TIERRA





**PROYECTO**

TITULO: \_\_\_\_\_  
 AUTOR: \_\_\_\_\_  
 FECHA: \_\_\_\_\_  
 ESCALA: \_\_\_\_\_  
 MATERIAL: \_\_\_\_\_  
 INSTRUMENTOS: \_\_\_\_\_  
 METODOS: \_\_\_\_\_  
 OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_  
 OBSERVADOR: \_\_\_\_\_  
 REVISOR: \_\_\_\_\_  
 APROBADO: \_\_\_\_\_  
 FECHA DE APROBACION: \_\_\_\_\_  
 LUGAR DE APROBACION: \_\_\_\_\_  
 INSTITUCION: \_\_\_\_\_  
 DIRECCION: \_\_\_\_\_  
 DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_  
 MUNICIPIO: \_\_\_\_\_

**UNAM**  
 ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS  
 PROFESIONALES Y SOCIALES  
 MEXICO D.F.  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
 CIENTIFICAS Y TECNICAS  
**CONTRALIBRERIAS**  
 TEXAS PROFESIONAL  
 DR. LUIS MIGUEL MARTINEZ

## CAPITULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores de los coeficientes de Transmisibilidad resultantes de las pruebas de bombeo variaron desde - - -  $0.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$  hasta  $46.070 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{seg.}$

El coeficiente de almacenamiento promedio calculado resolviendo las ecuaciones de balance simultáneas planteadas para los dos periodos que se analizaron fue de 0.050.

De acuerdo a los resultados de los análisis químicos la calidad del agua es buena para abastecimiento a industrias, agua potable y riego, sin encontrarse aun indicios de contaminación o alto contenido de sales.

Los cambios de almacenamiento calculados para los dos periodos que se analizaron nos muestran que al acuífero aún no se le ha sometido a condiciones de sobreexplotación.

El valor promedio anual de la recarga que se obtuvo fue de  $49.244 \times 10^6$  metros cúbicos.

Las entradas horizontales debidas a flujo subterráneo calculadas en base a la ley de Darcy y con las redes de flujo dibujadas fueron de  $1841.513 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el periodo OCT.1973-OCT.1980 y de  $232.987 \times 10^6 \text{ m}^3$  para el periodo OCT.1980-OCT.1981.

De acuerdo con el censo de los aprovechamientos localizados en el área de estudio, el 49% de las captaciones se destina al riego, el 30% al abastecimiento de agua potable y el 21% para la industria.

El volumen de flujo base anual que drena el río Atoyac es de  $93.544 \times 10^6$  metros cúbicos.

Es necesario la aplicación de métodos geofísicos para tener un mejor conocimiento de la geometría del acuífero y sus características físicas.

Se recomiendan campañas piezométricas (medición de los niveles de agua) con una frecuencia anual, aunque esto estará en función de las limitaciones económicas, con objeto de contar con información histórica del acuífero para que en un futuro se pueda elaborar un modelo matemático que nos permita predecir el comportamiento del acuífero.

Hacer análisis químicos del agua en forma periódica a fin de determinar su calidad y usos en industrias, agua potable y riego.

Se recomienda que en la perforación de nuevos pozos siempre se obtenga el perfil litológico de dicha perforación con objeto de contar con mayor información geológica del acuífero.

## BIBLIOGRAFIA

GROUNDWATER HYDROLOGY. DAVID TODD

APUNTES DEL CURSO DE EXPLORACION, CUANTIFICACION Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS SUBTERRANEOS. DIVISION DE EDUCACION CONTINUA. FACULTAD DE INGENIERIA. UNAM.

METODOLOGIA PARA LOS ESTUDIOS DE AGUA SUBTERRANEAS.  
IGNACIO SAINZ ORTIZ. S.R.H.

DIVERSOS ARTICULOS DEL ING. GERMAN FIGUEROA EN LA REVISTA --  
INGENIERIA HIDRAULICA EN MEXICO.

GEOHYDROLOGY. ROGER DE WIEST

GROUNDWATER RESOURCE EVALUATION. WILLIAM WALTON

INVENTARIO REGIONAL DE AGUAS SUBTERRANEAS. COMISION DEL PLAN  
NACIONAL HIDRAULICO.