

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESTADO DE GUERRERO  
DE LA BIBLIOTECA  
ADQUISICIONES ALICG

**PROYECTO DE ASOCIACIÓN DE ESPACIOS  
MULTIMEDIA Y MÉTODOS DIDÁCTICOS EN LA  
IMPLANTACIÓN E INSTALACIÓN DEL LABORATORIO DE  
HIDROGEOLOGÍA**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**TESISTA: HÉCTOR MARÍA GARCÍA MÁRQUEZ  
ASESOR: DR. HÉCTOR LEONARDO GONZÁLEZ**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**

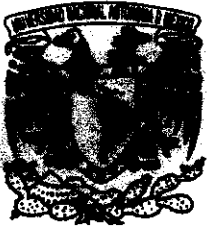


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-I-008

**SE. DIRECTOR MARTIN JIMENEZ MARQUEZ**  
Presente

En atención a su solicitud, me es gusto hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Héctor Luis Méndez González y que aprobó esta Dirección para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de Ingeniero Geólogo:

**PROYECTO DE ASOCIACION DE ESPACIOS MULTIMEDIA Y METODOS DIDACTICOS EN LA IMPLANTACION E INSTALACION DEL LABORATORIO DE HIDROGEOLOGIA**

- I INTRODUCCION
  - II MESA DE PEGHO LAMINAR
  - III MESA DE ARENA
  - IV SEMILABOR DE LA ECUACION DE DARCY
  - V MODELO ANALOGICO DE PLACA CONDUCTIVA
  - VI EQUIPO DE COMPUTO
  - VII PLANOS DE LABORATORIO
  - VIII COSTO DE MANTENIMIENTO Y EQUIPO DE LABORATORIO
  - IX CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo, le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que se deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar examen profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HAN PARA EL ESPERITU"  
Cd. Universitaria, D. F. 06702  
EL DIRECTOR

GFB\*RLLR\*gtg

R

## **INDICE GENERAL**

### **1 - Introducción.**

- 1.1 Justificación.
- 1.2 Objetivos.
- 1.3 Abstracción.

### **2 - Mesa de flujo laminar.**

- 2.1 Características generales del equipo.
- 2.2 Funcionamiento, uso y aplicaciones del equipo.
- 2.3 Tipos de experimentos.
- 2.4 Costo del equipo.
- 2.5 Práctica de laboratorio.
- 2.6 Álbum fotográfico.

### **3 - Mesa de arena.**

- 3.1 Características generales del equipo.
- 3.2 Funcionamiento, uso y aplicaciones del equipo.
- 3.3 Tipos de experimentos.
- 3.4 Costo del equipo.
- 3.5 Práctica de laboratorio.
- 3.6 Álbum fotográfico.

### **4 - Simulador de la ecuación de Darcy.**

- 4.1 Principio teórico.
- 4.2 Características generales del equipo.
- 4.3 Experimento tipo.
- 4.4 Diagramas de dimensiones.
- 4.5 Costo del equipo.



## **5 - Modelo analógico de placa conductiva.**

- 5.1 Principio teórico y aplicaciones.**
- 5.2 Características generales del equipo.**
- 5.3 Experimento tipo.**
- 5.4 Costo del equipo.**

## **6 - Equipo de cómputo.**

- 6.1 Características generales del software y hardware.**
- 6.2 Métodos de evaluación hidrogeológicos.**
- 6.3 Guía del usuario.**

## **7.- Planos del laboratorio.**

- 7.1 Plano de zonificación y ubicación.**
- 7.2 Plano de distribución de mobiliario y equipo.**
- 7.3 Plano de instalación eléctrica.**
- 7.4 Plano de instalación hidráulica sanitaria.**

## **8 - Costo de mobiliario y equipo de laboratorio.**

- 8.1 Presupuesto.**
- 8.2 Resumen de partidas presupuestales por porcentaje y monto.**

## **9 - Conclusiones.**

## **- Bibliografía.**

## **1.- Introducción.**

### **1.1 Justificación.**

### **1.2 Objetivos.**

### **1.3 Alcance.**

## 1 - Introducción.

La Hidrogeología es la ciencia que estudia el agua subterránea, su nacimiento, movimiento, su recarga y descarga, las propiedades de las rocas que influyen en su almacenamiento, así como de todas aquellas materias que se investigan, estudian, utilizan y conservan. Esta usa de otras ciencias para complementar y apoyar su estudio, como es la geología, matemáticas, topografía, geofísica, perforación de pozos, geología mecánica de suelos, mecánica de fluidos, probabilidad y estadística, así mismo de laboratorios, equipos, instrumentos y tecnología de punta, que permite llevar a cabo investigaciones, mediciones, procesamiento, interpretación y análisis de los recursos y potencial Geohidrológico de aquellas zonas o regiones de estudio.

La percepción histórica que se tiene referente son la de distintos filósofos y científicos que han aportado diferentes ideas, conceptos y teorías a través de los siglos, por mencionar a algunos tenemos a:

**Homero (1000 a.c.)** mencionó en el libro 21 de la Iliada el origen del agua subterránea.

**Anaxágoras (500-428 a.c.)** reconoce la importancia de la evaporación y la lluvia como fuentes de la alimentación de los ríos.

**Platón (350 a.c.)** estableció respecto al ciclo hidrológico, lluvia, almacenamiento, infiltración del agua superficial y almacenamiento subterráneo e hizo propuestas respecto a los orígenes de manantiales y arroyos.

**Aristóteles (384-322 a.c.)** reconoció la trayectoria cíclica del agua entre la tierra y la atmósfera, evaporación y condensación así como la importancia de la precipitación.

**Vitrivius** vivió en tiempos de Cristo, estableció clara y correctamente la importancia de la evaporación, precipitación e infiltración en el origen del agua subterránea.

**Leonardo da Vinci** identificó los sistemas subterráneos artesianos.

**Darcy (1856)** realizó trabajo experimental sobre flujo de agua en arena, derivando la ley que lleva su nombre, que expresa la relación entre la velocidad de percolación, permeabilidad de los materiales que constituyen el medio y el gradiente hidráulico. Esta ley ha sido utilizada en la cuantificación del agua subterránea.

**Dupuit (1863)** primer científico que desarrolló la fórmula de flujo sustentado en un pozo.

**Forchinger (1886)** introdujo los conceptos de configuración y continuidad de redes de flujo, el método de las imágenes y el uso de funciones de valores complejos. Fue el primero en resolver problemas de flujo de agua subterránea en formaciones productoras semi-infinitas con la frontera de un acuífero limitado y el problema de un pozo que descarga de una formación con recarga uniforme.

**DuBois-Reyoud (1889)** estableció las leyes de equilibrio entre el agua de mar y el agua dulce.

**Mitschlik (1905), Ebert (1907), Hantush (1931) y Meinzer (1933)** realizaron hidrogramas de escurrimiento superficial para determinar la recarga del almacenamiento de agua subterránea y la descarga de ésta en arroyos.

**G. Thiem (1906)** desarrolló un método de campo para determinar la permeabilidad de formaciones productoras y el efecto, mediante el bombeo en un pozo y el abatimiento resultante en un pozo de observación.

**Thia (1935)** una de las más importantes aportaciones en la explotación de los recursos de aguas subterráneas fue la concepción del flujo no establecido desde un pozo.

**Habbert (1940)** derivó de las ecuaciones de Navier-Stokes, la ley de Darcy e introdujo el concepto de fuerza potencial de la derivación matemática.

**Wenzel y Gantner (1943), Casper y Jacob (1946)** desarrollaron métodos para analizar la interferencia ocasionada por la operación de varios pozos.

**Jacob (1946)** dio solución al estado transitorio de un pozo en un sistema confinado artesiano.

**Henry (1959), Barr y Banta (1963)** desarrollaron ecuaciones referentes a la intrusión salina en acuíferos de agua dulce.

**Hantush (1964)** aportó soluciones a muchos problemas de interacción de pozos.

**Walton (1967)** analizó con conceptos analíticos la recarga lateral por infiltración del lecho de un río para distintos niveles piezométricos y condiciones del río.

En años recientes se han realizado muchos otros estudios en un sentido más amplio de la ley de Darcy, solución de problemas de flujo en acuíferos de flujo subterráneo. En la década de los 60 se retomaron los estudios de flujo subterráneo. En la geofísica se tuvo un suplemento a los métodos sísmicos, métodos gravimétricos, de gravedad, los de rayos gamma neutrones, los métodos eléctricos, métodos de resistividad de pozo y los estudios para análisis de estratos de aquicluidos, los estudios de flujo y los estudios de campo para relacionar la geología con la distribución y magnitud de la permeabilidad.

Recibieron atención en 1968 temas como efectos de la urbanización, intrusión salina, corrosión de ademas, recarga artificial.

Los ingenieros Carlos Cruzblanca Villanueva y Rubén Chaves Guillén de la Dirección de Aguas Subterráneas de la antigua Secretaría de Recursos Hidráulicos desarrollaron el modelo matemático DAS, que se aplicó a los acuíferos de distintas zonas de la República Mexicana. El ingeniero Cruzblanca escribió sobre un método para relacionar la lluvia al recargamiento de una cuenca y la forma de incluir el efecto de la explotación de aguas subterráneas, así como artículos como el cálculo del flujo de filtración en un sistema de fracturas de una roca, infiltración por un engravado sobre ademe ciego.

Podríamos mencionar a numerosos científicos, ingenieros, estadísticos, investigadores que han contribuido al estudio de la hidrogeología, destacando la importancia de la búsqueda, conocimiento y manejo de los yacimientos subterráneos, como única fuente capaz de suministrar AGUA, como un recurso que ofrece la naturaleza indispensable para la vida humana, animal, vegetal, importante para realizar actividades, agrícolas, industriales, domésticas.

En la actualidad la importancia de su estudio como lo indica el Dr. Ismael Herrera R. en su artículo (El Sistema Acuífero de la Cuenca de México, revista Geológica Internacional Vol. 28 No.2), es que los recursos subterráneos son la opción más económica para el abasto de agua, sustituyendo a sistemas de conducción para la introducción de agua de otras cuencas, a poblaciones y ciudades en donde por su desarrollo económico y social existe una necesidad creciente de consumo que pronto superará sus disponibilidad.

En nuestro país, un ejemplo particularmente importante es el de la Ciudad de México, donde la precipitación media anual es cercana a los mil milímetros y sin embargo, debido al enorme crecimiento, el ochenta por ciento del agua que aquí se consume proviene del subsuelo. Por su población, México es la ciudad más grande del mundo, el volumen de agua que requiere para mantener su actividad es muy grande siendo de alrededor de cincuenta metros cúbicos por segundo, de los cuales el 80 % proviene de subsuelo y el 20%, son suministrados por medio de obras de muy alto costo: los sistemas de Temascaltepec, Lerma y Cutzamala.

Siendo las aguas subterráneas un recurso almacenado en la naturaleza, que es necesario localizar y administrar con metodologías científicas y tecnológicas avanzadas, de su predicción depende la planeación adecuada de la actividad económica y social, indispensable para evitar desperdicio de los recursos económicos y subsistencia humano.

### 1.1 Justificación

**La Universidad Nacional Autónoma de México a través de su historia ha sido impulsora del sistema educativo nacional, formando académicos, profesionales, investigadores con el objeto común de enseñar, preservar y transmitir el conocimiento y la cultura al servicio de la sociedad.**

Como institución educativa pública, tiene el compromiso social con todos los mexicanos, de apoyar al país a transitar hacia una sociedad más justa y equitativa, obligada a mantener su liderazgo académico en la docencia, investigación y difusión de la cultura, ampliar las fronteras del conocimiento y las innovaciones a la enseñanza propiamente universitaria con sentido de responsabilidad hacia las retos actuales y futuros, transformando modelos educativos con enfoques pedagógicos que desarrollen capacidades creativas, habilidades para la investigación, faciliten la comprensión, fomenten el hábito de estudio, sustituyendo métodos convencionales y esquemas de enseñanza por aquellos que faciliten mayor participación y acción.

Igualmente la Ingeniería no es exclusiva de los ingenieros, es también un patrimonio de la sociedad y para la sociedad, es prioritaria la preparación de ingenieros cada vez más actualizados con el desarrollo de la ciencia y la tecnología, para ello es fundamental que desde los niveles básicos de la formación del ingeniero se incrementen su interés por la ciencia y la tecnología mediante el uso de simulaciones, laboratorios, equipos, instrumental y material de vanguardia a fin de que sirva de herramienta para la comprensión de todos aquellos conceptos físicos, químicos, matemáticos que se relacionan con el área de estudio.

De esta forma el proyecto de instalar e instalar un laboratorio para apoyar la labor didáctica y de docencia para el estudio de la **hidrología** que apoye a los estudiantes de las carreras de **Ingeniería en Recursos Hidráulicos**, **Ingeniería Ambiental**, **Ingeniería Hidráulica**, a comprender, analizar, evaluar y aplicar los conocimientos que se derivan del comportamiento del agua, la mecánica de fluidos, su movimiento superficial y subterráneo, asimismo coadyuvará la comprensión de diversos conceptos técnicos de asignaturas que por su naturaleza convergen con el estudio de la **hidrología**, como es el caso de la **estratigrafía**, **sedimentología**, **geología**, **geomorfología**, **meteorología**, mediante la utilización de equipos e instrumentos que permitirá llevar a cabo simulaciones, mediciones, construcciones, sustentando de una manera práctica todos aquellos conceptos técnicos enseñados en los programas de estudio, apoyados a su vez con sistemas computacionales y software, para desarrollar una infraestructura didáctica y docente que fomente en los alumnos el espíritu de investigación, creatividad y gusto por las ciencias y la tecnología, lo anterior con el propósito de crear una **Ingeniería y tecnología** que haga frente a los retos de la modernidad y la globalización en los ámbitos de este nuevo milenio.

De no ser así como lo señaló el Sr. Jorge Rodríguez Domínguez en su artículo El Futuro de México sin Tecnología, sin apoyo al desarrollo de las ciencias, sin autodeterminación tecnológica, el gobierno mexicano se convierte cada vez más en un país maquilador, exportador de mano de obra barata, de cerebros de bajo precio, siendo rehenes de los grandes consorcios transnacionales que intervienen y participan en los grandes proyectos nacionales desplazando a empresas mexicanas.

Es por lo inaplazable el modificar nuestros modelos de desarrollo hacia una ingeniería propia, nacional, sustentada, con liderazgo de científicos y tecnólogos a la altura de nuestros retos nacionales para poder así posicionarse en el mundo de la modernidad y la globalización y no ser sólo compara.

## 1.2 Objetivos.

- **Implantar e impulsar el laboratorio de Hidrogeología.**
- **Dotar a los alumnos de los cursos de Ingeniería Geológica, Ingeniería Geofísica e Ingeniería Petrolera de mejores medios para llevar a cabo sus estudios.**
- **Proporcionar al profesor mayor apoyo didáctico que le facilite en el proceso de enseñanza-aprendizaje.**
- **Reforzar la vinculación de la teoría y la práctica mediante el uso de modernos equipos de laboratorio.**
- **Fomentar el desarrollo de las capacidades creativas y habilidades para la investigación, comprensión y diseño de obras de ingeniería.**



### **1.3 Alcances.**

- **Al terminar el curso el alumno tendrá una visión más real y experimental de aquellos fenómenos que se derivan del comportamiento del agua subterránea.**
- **En el campo profesional el alumno eleva su capacidad para enfrentar los diversos retos que plantea la solución de los múltiples problemas del comportamiento del agua subterránea.**

## **2 - Mesa de flujo laminar.**

**2.1 Características generales del equipo.**

**2.2 Fundamentación, uso y aplicaciones del equipo.**

**2.3 Tipos de experimentos.**

**2.4 Costo del equipo**

**2.5 Prácticas de laboratorio.**

**2.6 Álbum fotográfico.**

## 2 - Mesa de flujo laminar.

### 2.1 Características generales del equipo.

La mesa de flujo laminar es un equipo de laboratorio de física, que nos permite llevar a cabo estudios, análisis, experimentos, simulaciones relacionadas con el comportamiento y movimiento de fluidos en un régimen de flujo laminar.

- el equipo tiene unas dimensiones de 0.71 m de ancho, 1.32 m de largo y altura de 0.88 m.
- presenta dos placas de cristal de 9 mm de espesor, la placa inferior es fija y la placa superior es abatible, con una separación entre ambas de aproximadamente 3 mm.
- sistema de pozos (3 células), que dan origen a fuentes y sumideros, distribuidos al centro de las placas de cristal en forma de cruz, ubicándose dos de ellos al centro de la cruz.
- dos tableros de control y válvulas instalados uno en la parte superior (control de fuentes y múltiple de fugas) y otro en la parte inferior (control de sumideros y múltiple de sumideros), calibrador de fuentes ubicado por debajo de la placa fija.
- sistema de alimentación y desagüe, consistente en una válvula de alimentación, válvula de control de entrada y diluente de salida (tubo alimentador con perforaciones), válvula de desagüe, vertedor ajustable y desagüe, así como las respectivas canalotas de llenado y desagüe ubicadas en los extremos de la mesa.
- sistema de inyección de colorante, consistente en un vaso o recipiente para el depósito del pergamino de potasio, una manguera y diecinueve tapadores conectados a un tubo alimentador.

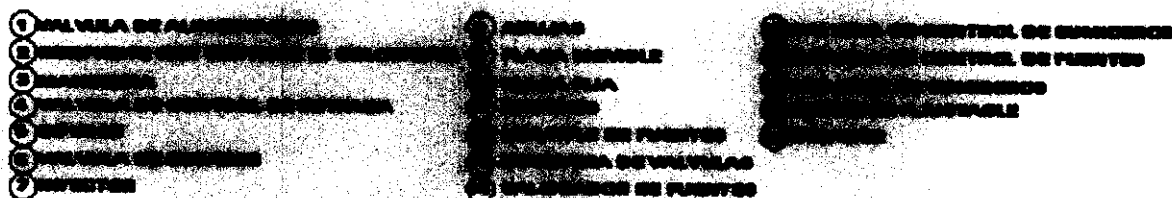
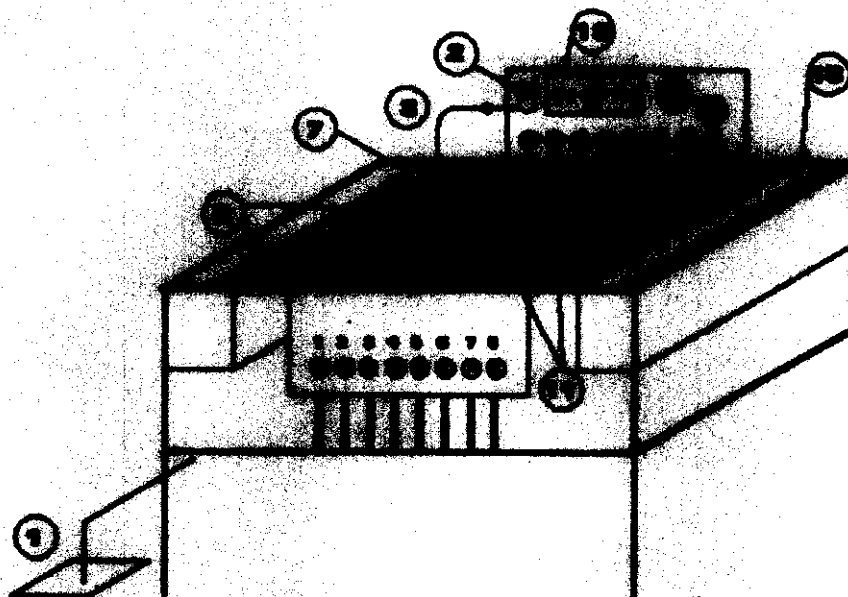
### 2.2 Funcionamiento, uso y aplicaciones del equipo.

Nos permite llevar a cabo dos experimentos principalmente, para sistemas de flujo de fluidos en un régimen laminar (partículas fluidas que siguen trayectorias paralelas, formando el conjunto de ellas capas o láminas, con número de Reynolds menor de 2000), el primero a través de manipular el sistema de fuentes y sumideros, obteniendo un número de arreglos y configuraciones, que nos permiten las trazas y direcciones de las líneas de corriente, cuyo comportamiento y movimiento se hace más visible al utilizar como el pergamino de potasio (sustancia con densidad aproximada a la del agua), investigando las trazas y configuraciones obtenidas en el experimento podemos conocer más del flujo laminar y sus características.

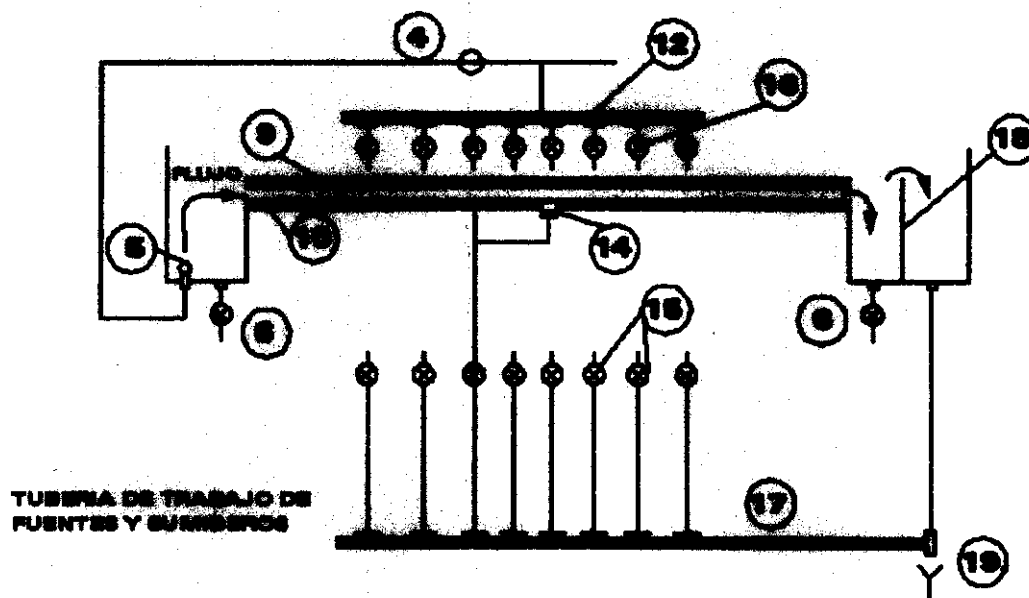
Asimismo utilizando partículas o esferas (bidimensionales), que se intercalan entre las dos placas de cristal, observamos también diferentes arreglos y configuraciones de líneas de corriente, estudiando así modelos previamente establecidos.

Aunque la mesa está diseñada para demostrar condiciones equivalentes al flujo ideal (valor de viscosidad cero, valor de fricción cero, no existencia de aire etc.), sus aplicaciones pueden extenderse para cubrir el flujo de un fluido real.

Nota: ver diagrama anexo.



**LINEA DE FLUJO EXPERIMENTAL**



- |  |                          |                                  |
|--|--------------------------|----------------------------------|
| 1 VALVULA DE ALIMENTACION              | 8 ARIAS                  | 12 VALVULA DE CONTROL DE FUENTES |
| 2 RESERVORTE QUE CONTIENE EL SOLAPASTE | 9 PLACA MOVIBLE          | 13 VALVULA DE CONTROL DE FUENTES |
| 3 MANGUERA                             | 10 PLACA FLUJA           | 14 MANIFESTO DE FUENTES          |
| 4 VALVULA DE CONTROL DE ENTRADA        | 11 DEPÓSITO              | 15 MANIFESTO AJUSTABLE           |
| 5 EFUSOR                               | 12 MULTIPLE DE FUENTES   | 16 MANIFESTO                     |
| 6 VALVULA DE BOMBEO                    | 13 MANIFESTO DE VALVULAS |                                  |
| 7 INYECTOR                             | 14 REGULADOR DE FUENTES  |                                  |

### MESA DE FLUJO LAMINAR

## 2.3 Tipos de experimentos. (contenido general)

- 1.- Flujo ideal alrededor de cuerpos de roca.
  - a).- Flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca cilíndrico.
  - b).- Flujo ideal sobre un lecho onduloso.
  - c).- Flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca rectangular.
  
- 2.- Flujo ideal en cauces y Estrechos.
  - a).- Flujo ideal en un cauce convergente
  - b).- Flujo ideal de un cauce divergente
  - c).- Flujo ideal a través de un cambio de dirección del cauce de 90°
  - d).- Flujo ideal a través de una contracción brusca del cauce
  - e).- Flujo ideal a través de un ensanchamiento repentino del cauce
  - f).- Reemplazamiento de una línea de corriente por una frontera sólida.
  
- 3.- Demostación de flujo real en cuerpos caudíferos.
  - a).- Flujo real alrededor de un cuerpo de roca cilíndrico
  - b).- Flujo real sobre un lecho onduloso
  - c).- Flujo real en un cauce convergente
  - d).- Flujo real en un cauce divergente
  - e).- Flujo real a través de una contracción brusca del cauce
  - f).- Flujo real a través de un ensanchamiento repentino del cauce
  
- 4.- Flujo real asociado con zonas de descarga y recarga.
  - a).- Formación de zonas de recarga
  - b).- Formación de zonas de descarga y recarga
  - c).- Líneas de corriente circulares de un doblete
  - d).- Superposición de descarga y recarga
  - e).- Simulación de una red de flujo subterráneo en una cuenca geohidrológica.
  
- 1.- Flujo ideal alrededor de cuerpos de roca.

En el desarrollo de esta serie de experimentos, las válvulas de control de sumideros y fuentes tendrán que permanecer cerradas, el vertedor y la válvula de control de entrada se ajustarán para obtener la condición mínima de flujo permanente que sea posible, sin admitir aire entre las placas de vidrio. La baja velocidad producida en la sección de prueba aguas abajo, proporcionará las condiciones más cercanas al flujo ideal, el sistema de inyección de tinta se instalará cuidadosamente.

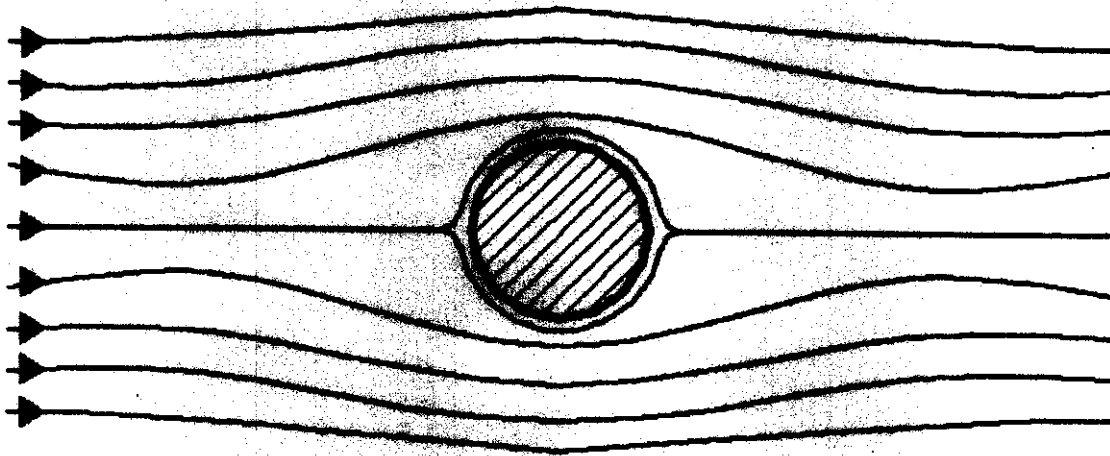
Cuando se introduzcan los modelos dentro de la sección de prueba, se tendrán que colocar en el centro de la misma usando el trazo reticular marcado en la mesa, sobre la parte inferior de la placa de vidrio, para definir las características importantes con auxilio de las marcas de tinta inyectada. Se debe tener mucho cuidado al bajar la parte superior de la placa de vidrio.

Ya establecido el procedimiento de un experimento particular, la válvula reguladora de tinta tendrá que permanecer abierta y se le dará un ajustado fino a fin de que se observe un flujo de tinta bien definido. La posición de las líneas de tinta relativas a los modelos deberán ser finamente ajustadas, desplazando cuidadosamente las manecillas respectivas a ambos lados de la posición deseada.

#### 1.a).- Flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca cilíndrico.

Se coloca un cilindro (cuerpo de roca cilíndrico) en el centro de la sección de pruebas con un eje alineado sobre una línea de color. La configuración de las líneas de corriente obtenidas en la prueba se muestran en la figura No 1, la cual es simétrica si no hay formación de vórtices o separación.

El estrechamiento de las líneas de corriente a ambos lados del cilindro nos indica una región en donde se produce una reducción de presión.



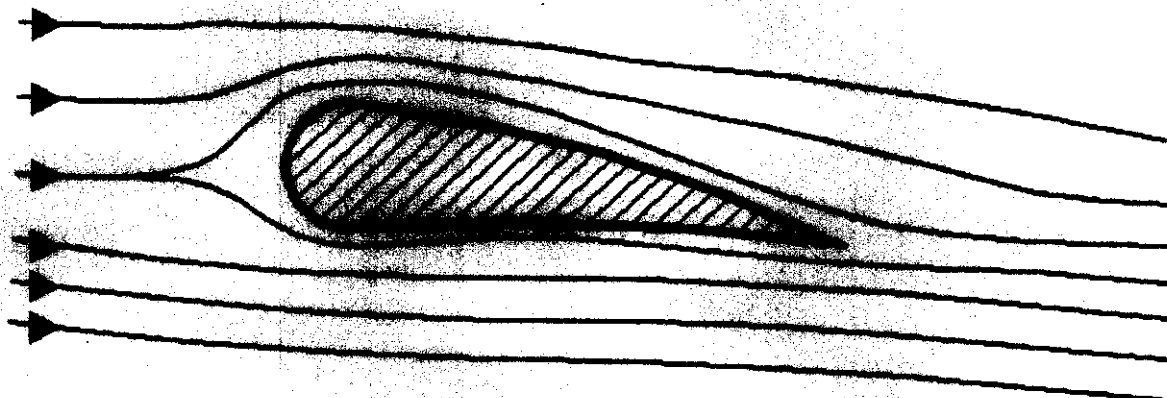
**figura 1**

#### 1.b).- Flujo ideal sobre un lente acilicoso.

El modelo de un lente acilicoso se coloca en el centro de la sección de pruebas con un pequeño ángulo de inclinación respecto al flujo, el punto de estancamiento (velocidad de flujo igual a cero) en el modelo debe estar alineado cuidadosamente a una línea de tinta.

La configuración resultante de las líneas de corriente en lo alto de la superficie y en el estancamiento de las líneas demuestran que existen diferentes valores de presión y velocidad de corriente que afectan al lente acilicoso.

Este experimento puede repetirse con diferentes ángulos de inclinación respecto al flujo, a fin de demostrar el cambio en el punto de estancamiento. ver figura No 2.



**Figura 2**

**1.c).- Flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca rectangular.**

Se coloca un rectángulo (cuerpo de roca rectangular) en el centro de la sección con su eje mayor colineal a la dirección que lleva el flujo. Las líneas de tinta centrales deben coincidir con éste eje. Este experimento está diseñado para actuar como una prueba de las condiciones de flujo presentes en la mesa.

Para las condiciones de flujo ideal las líneas de corriente deben ser simétricas en ambos lados como ocurre en el caso 1.a (flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca cilíndrico), cualquier tendencia a la separación del fluido sobre la cara del rectángulo en la sección aguas abajo indicará que la velocidad del fluido es excesiva y que el flujo ideal no se presenta.

**2.- Flujo ideal en un canal y canales.**

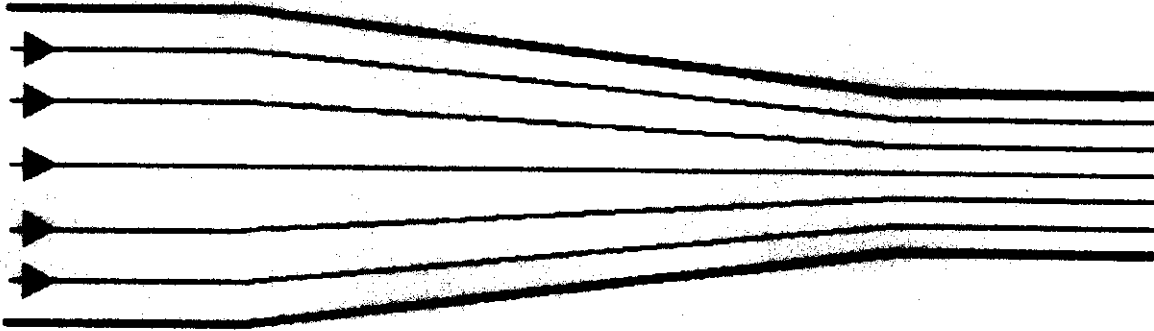
**2.a).- Flujo ideal en un canal convergente.**

Se colocará un par de paredes de canal (canales convergentes) en el centro de la sección de pruebas, alineadas con la dirección del flujo. La separación de las curvas deberá ajustarse de tal manera que se obtenga un número suficiente de líneas de tinta. La configuración obtenida de las líneas de corriente en la sección convergente se observa en la figura No 3.

El estrechamiento de las líneas de corriente hacia la sección menor indica un aumento en la velocidad del fluido y es consecuencia una reducción de presión.

El experimento deberá repetirse para diferentes separaciones de las paredes del canal (canales convergentes). Adicionalmente, el tipo de convergencia puede ser cambiado invirtiendo las secciones con relación a la dirección del flujo.

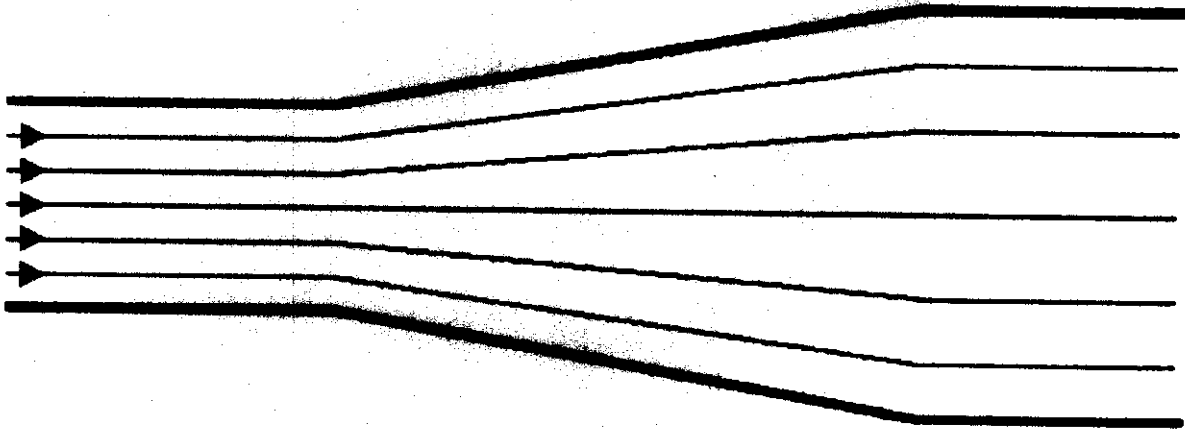




**figura 3**

**2.b).- Flujo ideal de un cauce divergente.**

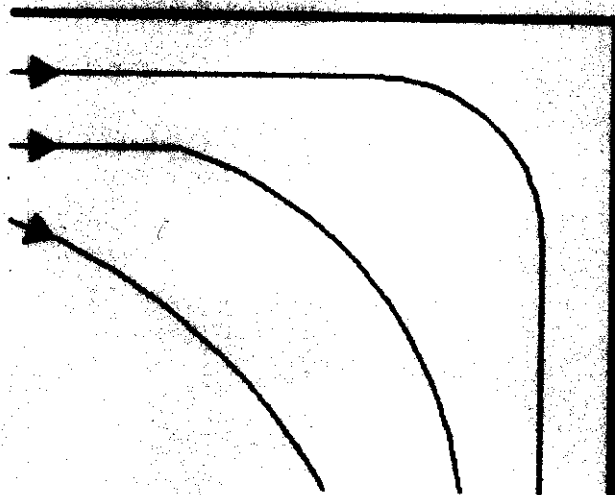
Con las paredes del canal (cauce divergente) colocadas como lo describe el inciso anterior, un cauce divergente se representa al final de la sección, aguas abajo. En la figura No 4, se observa un modelo general de la configuración de las líneas de corriente. La separación y el ángulo de divergencia se ajustarán como lo mencionado en el caso 2.a (flujo ideal en un cauce convergente).



**figura 4**

**2.c).- Flujo ideal a través de un cambio de dirección del cauce de  $90^\circ$**

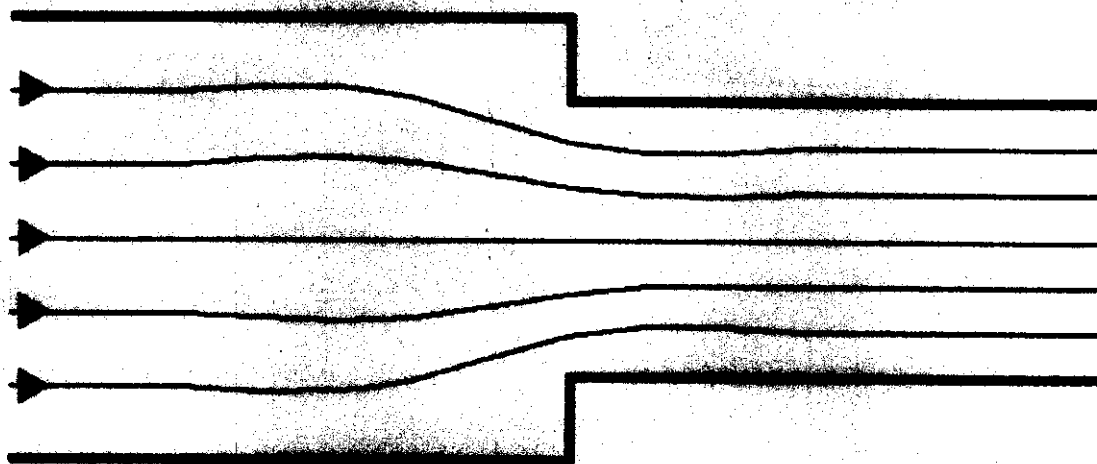
Pueden colocarse también dos rectángulos y dos paredes de canal (en sus lados planos), de manera de que se encuentren en par de cuadrados con ángulos de  $90^\circ$ . La configuración de las líneas de corriente para un ángulo típico de  $90^\circ$  se muestra en la figura No 5.



**figura 5**

**2.d).- Flujo ideal a través de una construcción brusca del cauce.**

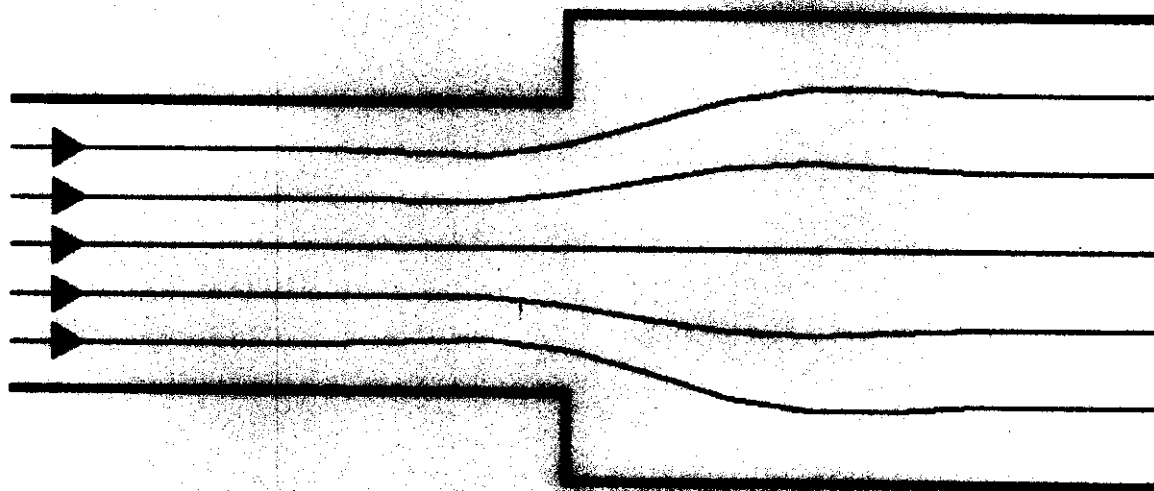
Los dos rectángulos y paredes de canal (en sus lados planos) pueden colocarse de tal manera que se genere una reducción en el ancho del cauce. La configuración típica de las líneas de corriente se muestran en la figura No 6. En este caso la forma de las líneas de corriente del flujo ideal es parecida a la que se produce en una sección convergente como en el caso 2.a (flujo ideal en un cauce convergente).



**Figura 6**

**2.e).- Flujo ideal a través de un ensanchamiento repentino del cauce.**

La situación contraria a la descrita en el inciso 2.d (flujo ideal en un cauce convergente), se simula con un ensanchamiento en el curso del cauce. La resultante configuración de las líneas de corriente se muestra en la figura No 7. Esta configuración es muy parecida a la que se produce en el caso 2.b (flujo ideal en un cauce divergente).



**Figura 7**

### 2.f).- Reemplazamiento de una línea de corriente por una frontera sólida.

Como ningún volumen de fluido puede atravesar una línea de corriente, es posible reemplazar cualquiera de ellas por una frontera sólida sin alterar la configuración resultante de las líneas de corriente.

Esto puede demostrarse fácilmente cualquiera de los experimentos previos y dibujando el tipo de la configuración resultante de las líneas de corriente producidas posteriormente y sin cambiar ningún parámetro, para introducirse una frontera sólida para reemplazar cualquier línea de corriente. La configuración que resulta se comparará con la original para demostrar que no se ha producido ningún cambio.

### 3.- Demostración del flujo real en un sistema de orificios.

Si bien la mesa de flujo ilustra un sistema diseñado para demostrar condiciones equivalentes al flujo ideal, sus aplicaciones pueden extenderse para cubrir el flujo de un fluido real. Esto se puede lograr ajustando la velocidad de control del gasto de entrada y el vertedor, a fin de proporcionar una alta velocidad al fluido.

Se debe aplicar la prueba descrita en el inciso 1.c (flujo ideal alrededor de un cuerpo de roca rectangular), después de ajustar el flujo, para probar que se separan los vértices como con el fluido real.

### 3.a).- Flujo real alrededor de un cuerpo de roca cilíndrico.

Se coloca un disco ancho (cuerpo de roca cilíndrico) en el centro de la mesa con su centro puesto directamente sobre un orificio de suministro y/o fuente. La configuración típica de las líneas de corriente se muestra en la figura No 5.

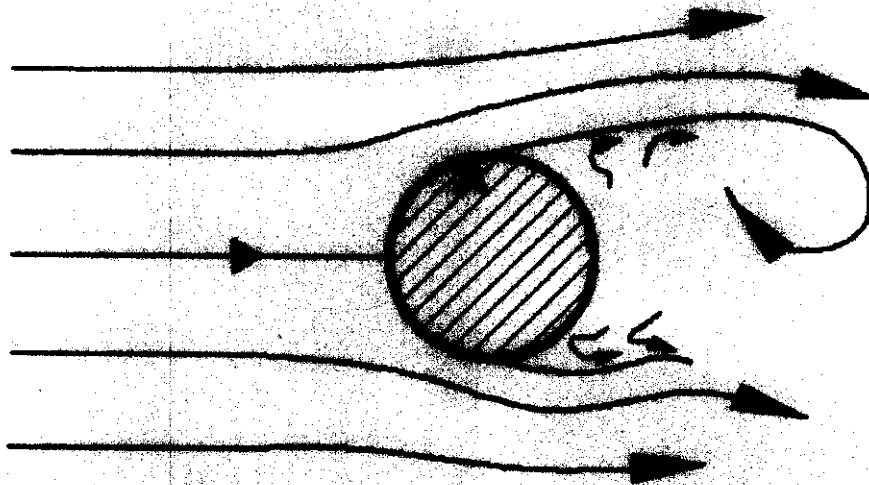


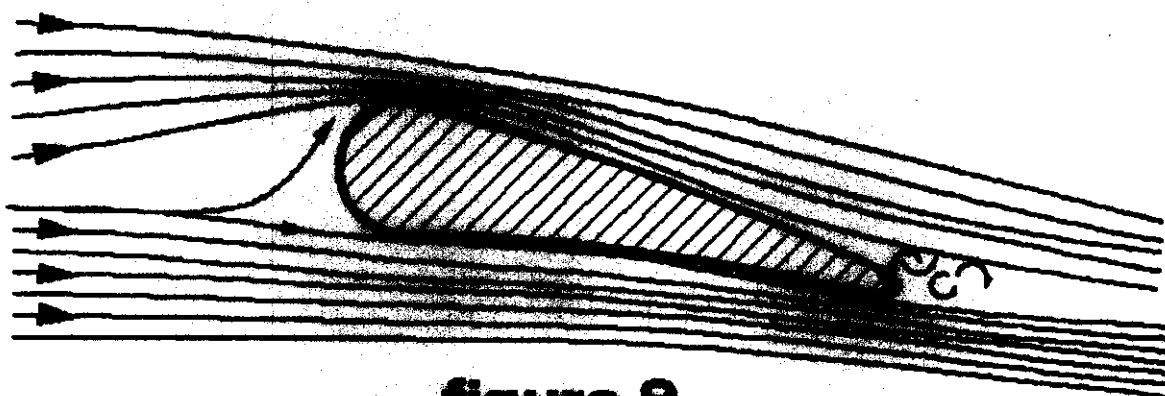
Figura 5

Las líneas de corriente se separan por detrás del disco anular (cuerpo de roca cilíndrico) en el punto A y se producen remolinos turbulentos. La posición del punto A y la forma de los vórtices dependen del tamaño del disco anular y de la velocidad del fluido. El efecto de succión de cada límite puede ser demostrado abriendo la válvula del sumidero pertinente y drenando agua de la línea central, por medio de los 8 sumideros.

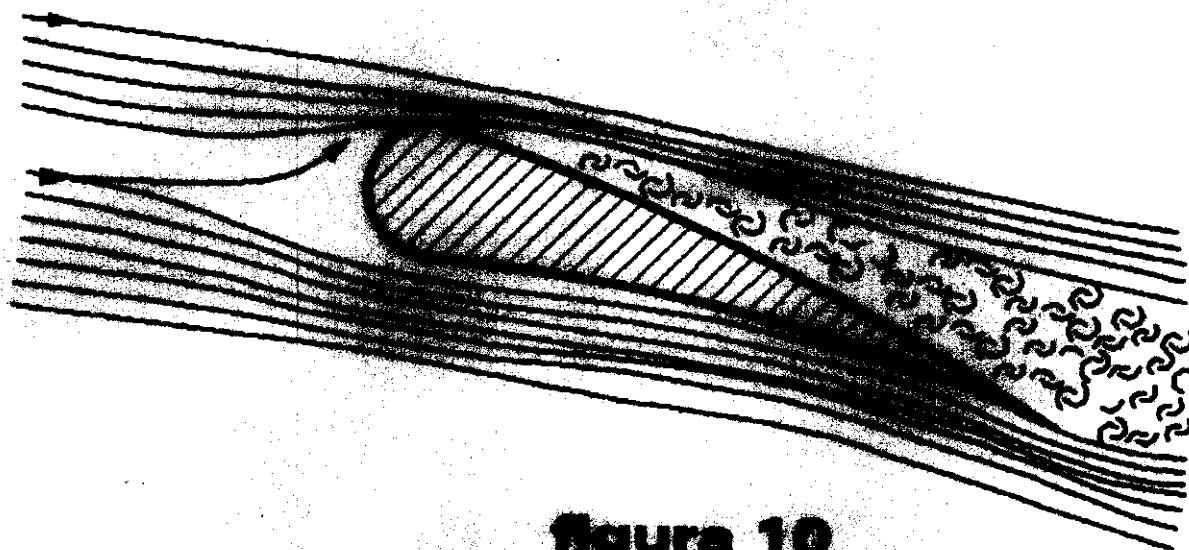
El cambio en la posición del punto A puede ser demostrado variando la posición de la válvula de control del sumidero.

### 3.b).- Flujo real sobre un lente arcilloso.

El modelo de un lente arcilloso se instala de acuerdo con lo descrito en el inciso 1.b (flujo ideal sobre un lente arcilloso). Para pequeños ángulos de incidencia debe incrementarse hasta que se produzca una estela. La configuración de las líneas de corriente en una condición de estela se observa en la figura No 9, 10, donde se presenta la posición de estancamiento para cada caso.



**figura 9**



**Figura 10**

**3.c).- Flujo real en un cauce convergente.**

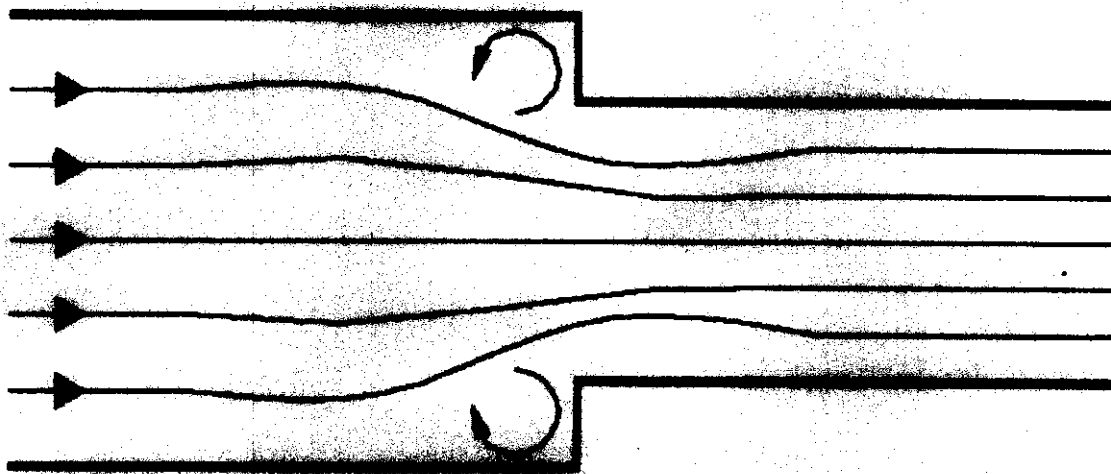
Las paredes del cauce deben ser instaladas como lo describe el inciso 2.a (flujo ideal en un cauce convergente), siempre que las condiciones del flujo en la entrada sean lisas, la configuración general será la misma como en el caso ideal, mostrándose con esto que el flujo sigue la misma configuración de líneas de corriente.

**3.d).- Flujo real en un cauce divergente.**

Se instalan las paredes del cauce, como se describe en el inciso 2.b (flujo ideal en un cauce divergente), la configuración producida es parecida al caso ideal, excepto que ocurre separación en las superficies divergentes de la sección, resultando en la formación de vórtices y degradación de energía.

**3.e).- Flujo real a través de una contracción brusca del cauce.**

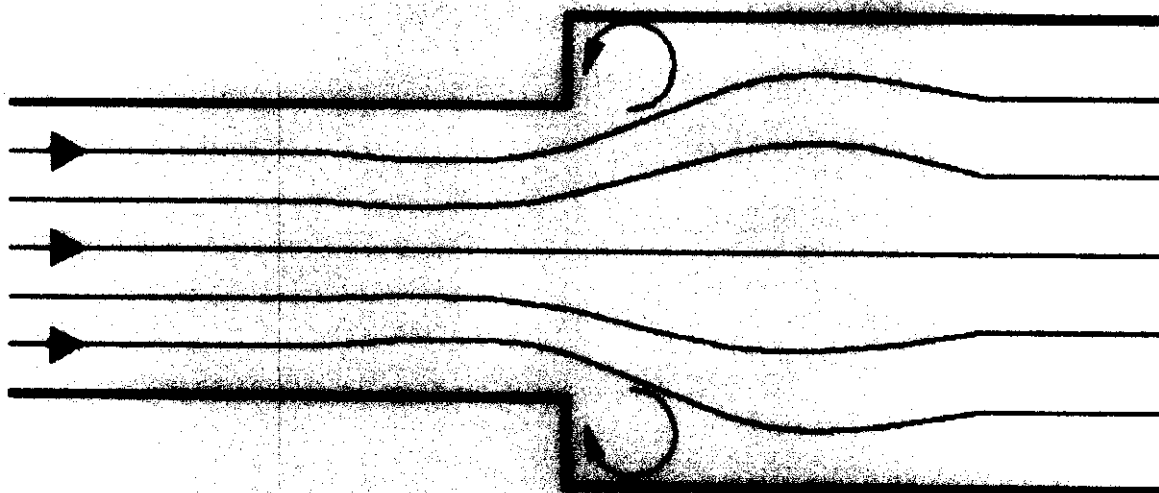
Se simula una contracción repentina como se describe en el inciso 2.d (flujo ideal a través de una contracción brusca del cauce). El tipo de flujo producido se observa en la figura No 11. Se producen vórtices en las esquinas de la contracción y ocurre un estrechamiento de las líneas de corriente ligeramente aguas abajo de ésta.



**Figura 11**

**3.f).- Flujo real a través de un ensanchamiento repentino del cauce.**

En la figura No. 12, se muestra el comportamiento real del flujo a través de un ensanchamiento repentino, como el descrito en el inciso 2.a (flujo ideal a través de un ensanchamiento repentino del cauce). En este caso las volutas se producen en las esquinas del cauce y las líneas de corriente curvas antes de alcanzar la configuración de flujo permanente.



**Figura 12**

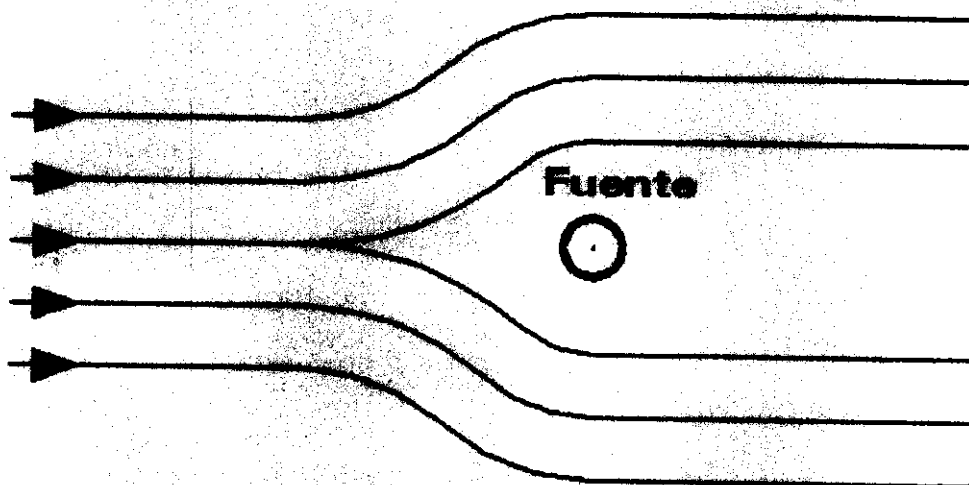
#### 4.- Flujo real asociado con zonas de descarga y recarga.

Para ésta serie de experimentos la mesa debe instalarse como lo describe el inciso 1 para flujo ideal. Como los sumideros y las fuentes deben usarse en estos experimentos, será necesario purgar el aire de los tubos.

##### 4.a).- Formación de zona de recarga.

Se produce un flujo ideal en la mesa y se ajusta la válvula de control de tinta para dar claridad en el color de las líneas de corriente paralelas. Se produce el flujo desde el orificio de una fuente central (zona de recarga), abriendo la válvula de control respectiva.

La configuración de flujo obtenida se muestra en la figura No. 13 está, se conoce como un "medio cuerpo" de Rankine. La separación de las líneas de flujo paralelas se mantendrá, a condición que el gasto de la fuente sea constante. El gasto de la fuente (zona de recarga) puede ser ajustado para demostrar la separación de las líneas de corriente.



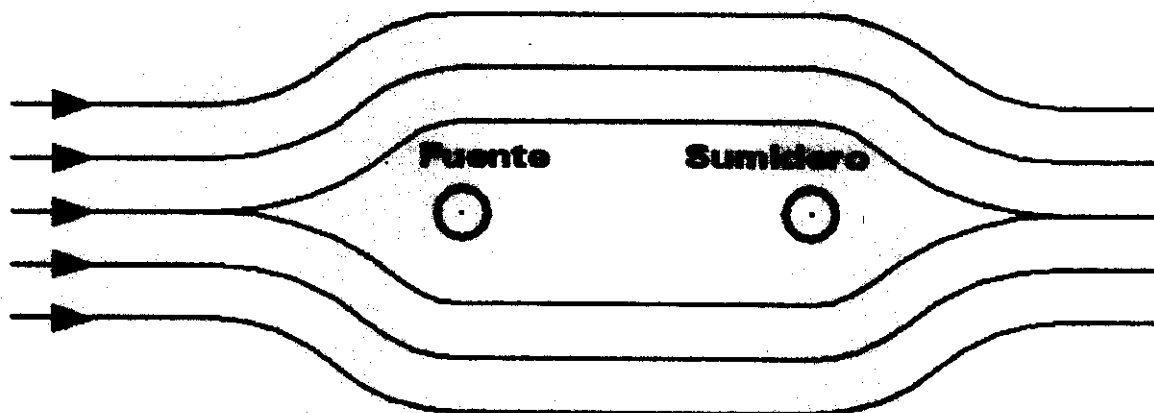
**figura 13**

##### 4.b).- Formación de zona de descarga y recarga..

La mesa de flujo se instala como lo describe el inciso 1a (flujo desde zona de recarga), con la única adición de un sumidero aguas abajo de la fuente. Cuando el gasto del sumidero se aumenta, se modifica la forma del medio cuerpo.

Cuando el gasto en la fuente (zona de recarga) y el sumidero (zona de descarga) son iguales, las líneas de corriente se cierran, produciendo un óvalo de Rankine, como lo muestra la figura No. 14.





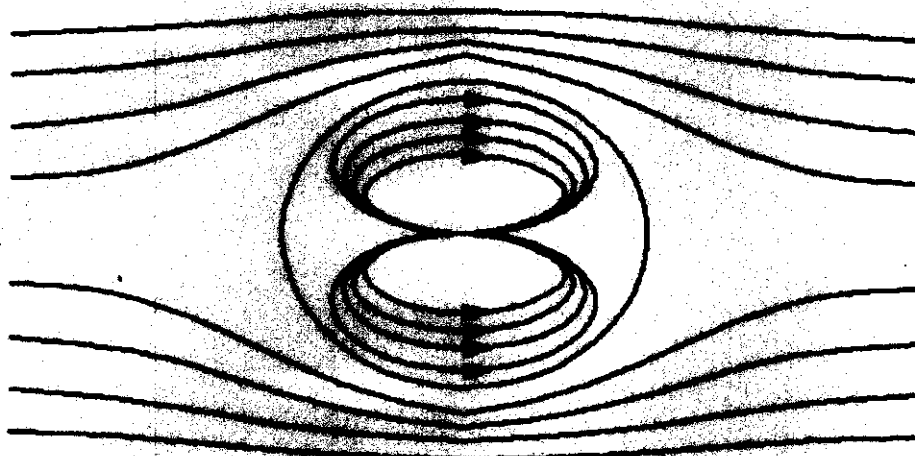
**figura 14**

**4.c.)- Líneas de corriente circulares de un doblote.**

El orificio central sobre la masa, es de hecho dos orificios próximos entre sí, tales que puedan observarse un sumidero (zona de descarga) y una fuente (zona de recarga) coincidentes. Esta combinación se conoce como un doblote y la configuración de líneas de corriente producida se ilustra en la figura No. 15.

El resultado son líneas de corriente circulares rodeando el doblote, el cual actúa de manera semejante a una frontera sólida cilíndrica para el flujo externo (como se menciona en el inciso 2.f (reemplazamiento de una línea de corriente por una frontera sólida).

Dentro de ésta frontera existe circulación, lo cual puede demostrarse introduciendo algunos cristales de permanganato de potasio. Este efecto es una extensión del óvalo de Rankine con sumidero (zona de descarga) y fuente (zona de recarga) coincidentes.



**figura 15**

**4.d).- Superposición de descargas y recargas.**

El flujo potencial que pasa por un cuerpo puede simularse por la superposición de sumideros (zona de descarga) y fuentes (zona de recarga) cuya suma algebraica es cero. Esto se demuestra en la zona ajustando el gasto de una fuente para igualar el de dos sumideros aguas abajo.

El resultado es una configuración en forma de pera, la cual representa un cuerpo aerodinámico simétrico que es un conveniente modelo de flujo. Este experimento puede ser repetido con diferentes combinaciones de sumideros, fuentes y proporciones de flujo.

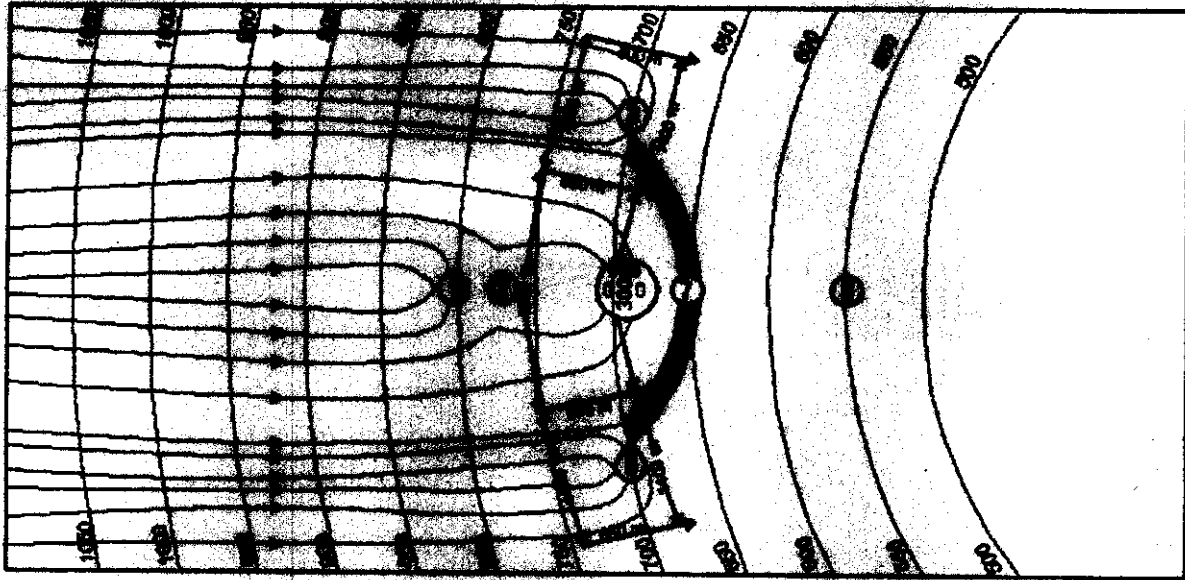
**4.e).- Simulación de una red de flujo subterráneo en una cuenca geohidrológica.**

El arreglo que se muestra a continuación, es posible por la combinación de arreglos de fuentes (zonas de carga) y sumideros (zonas de descarga) y esta simulación representa una red de flujo subterráneo en una cuenca geohidrológica.

Las líneas de corriente representadas con flechas indican la trayectoria del flujo subterráneo, las cuales convergen en la zona de descarga, en los puntos No. 1, 3, 4, 5 y 6, divergen en la zona de recarga, en el punto 2.

Asimismo se ejemplifican las líneas equipotenciales, cuyo trazo se perpendiculariza a las líneas de corriente y representan valores de igual nivel piezométrico o nivel estático medido en metros sobre el nivel del mar.

En la figura No 16 se dan valores arbitrarios a las líneas equipotenciales cuyo valor siempre decrece en el sentido del flujo subterráneo y es inversamente proporcional a la longitud de recorrida, es decir que al inicio del flujo una línea equipotencial tiene mayor energía potencial, que al avanzar conforme el flujo subterráneo avanza y escurre por gravedad.



**figura 16**

La aplicación e interpretación de los conceptos de líneas equipotenciales y líneas de flujo es importante en la construcción de caudales de flujo subterráneo, que circulan a través de una sección determinada como se muestra en los puntos No 6 y 3.

## 2.4 Costo del equipo.

La mesa de flujo laminar (Laminar flow table), es un equipo de procedencia inglesa, fabricado por la empresa Bradford Limited Bright House, localizada en West Street, Ringwood BH24 3PT, Hampshire, England.

Que tiene como distribuidor exclusivo de sus equipos a la empresa Harry Mazal, S.A. de C.V., ubicada en Legación de Tailandia No. 204 Col. Anáhuac Delegación Miguel Hidalgo, México D.F.

Dicha empresa cotizó el equipo con fecha del 5 de mayo del 2000, con un precio de adquisición de \$ 6,007.00 dólares esterlinos.

Considerando un tipo de cambio de \$19.23 pesos mexicanos por libra esterlina nos representa un valor de \$ 115,600.01 (ciento un mil ochocientos sesenta y tres pesos 01/100 M.N.)

### Condiciones:

Validez de la cotización por 30 días.

Tiempo de entrega de 120 días a partir de la fecha de recepción del pedido y giro bancario o carta de crédito.

Entrega del equipo en un puerto comercial británico.

La cotización no incluye ningún pago o trámite aduanal.

## 2.5 Práctica de laboratorio.

**Práctica:** Visualización de las líneas de corriente en flujo laminar.

**Objetivo General:**

Observar el comportamiento de las líneas de corriente representadas por la traza dejada por el colorante inyectado en flujo de régimen laminar.

**Experimento I:**

Visualización de las líneas de corriente para distintas combinaciones de fuentes y sumideros.

**Experimento II:**

Visualización de las líneas de corriente para distintos perfiles bidimensionales

**Intrumento:** Mesa de flujo laminar.

**Colorante:** Pergamonato de potasio.

**Modelos:** Varios (ala de avión, cilindro, etc.)

**Metodología:**

Para el objetivo general:

Nota: ver diagrama de la mesa de flujo laminar.

a).- Abrir la válvula de alimentación de la mesa (1), recomendándose un giro completo

b).- Con el control de entrada (4), se pone el modelo en operación y se gira hasta que se establezca el flujo, se recomienda medio giro.

c).- Se regula la válvula del recipiente que contiene el colorante (2), de tal forma que las líneas de corriente queden definidas. Las líneas de corriente son producidas por agujas (8), conectadas a un inyector (7).

Observese que las líneas de corriente son paralelas entre si, de ésta forma se comprueba que se tienen un flujo de régimen laminar.

**Experimento I:**

1.- Con el modelo en operación y teniendo definidas las líneas de corriente, se abre la válvula de fuentes (16) a elección, según diagrama de referencia (13) regulando un gasto mínimo, de tal forma que las líneas de corriente no se distorsionen (se hacen observaciones y se cierran válvulas).

2.- Con las mismas condiciones del paso anterior, se abre la válvula de sumidero (15) a elección, según diagrama de referencia (13) regulando un gasto mínimo, de tal forma que las líneas de corriente no se distorsionen (se hacen observaciones y se cierran las válvulas).

3.- Para representar la combinación de fuente con sumidero y siguiendo lo indicado en los dos pasos anteriores, se abre la válvula de sumidero (15) y la válvula de fuentes (16) a elección, según diagrama de referencia (13) regulando un gasto mínimo, de tal forma que las líneas no se distorsionen (se hacen observaciones y se cierran las válvulas).

Cabe hacer notar que las configuraciones trazadas en los pasos 1 y 2, corresponden a medios cuerpos de Rankine respectivamente y la configuración en el paso 3 corresponde a el óvalo completo del cuerpo de Rankine.

### Experimento II:

1.- Estando el modelo funcionando, se levanta la placa móvil (8) y se coloca al ala de avión con un ángulo dependiente de las condiciones deseadas y se baja la placa (se hacen observaciones y se retira el modelo).

2.- Para visualizar las líneas de corriente con un cilindro, se levanta la placa móvil (9) y se coloca un cilindro, se baja la placa (se hacen observaciones y se retira el modelo).

3.- El experimento se puede repetir para diferentes modelos bidimensionales con los que cuenta el laboratorio (cilindro, ala de avión, canal convergente, canal divergente, cuerpo con esquinas, curva a 90°, contracción brusca, ensanchamiento repentinamente, etc.)

### Cuestionario de la práctica

1.- Representar con dibujos y esquemas, el comportamiento de las líneas de corriente de los siguientes experimentos, así como dar una breve explicación de cada fenómeno:

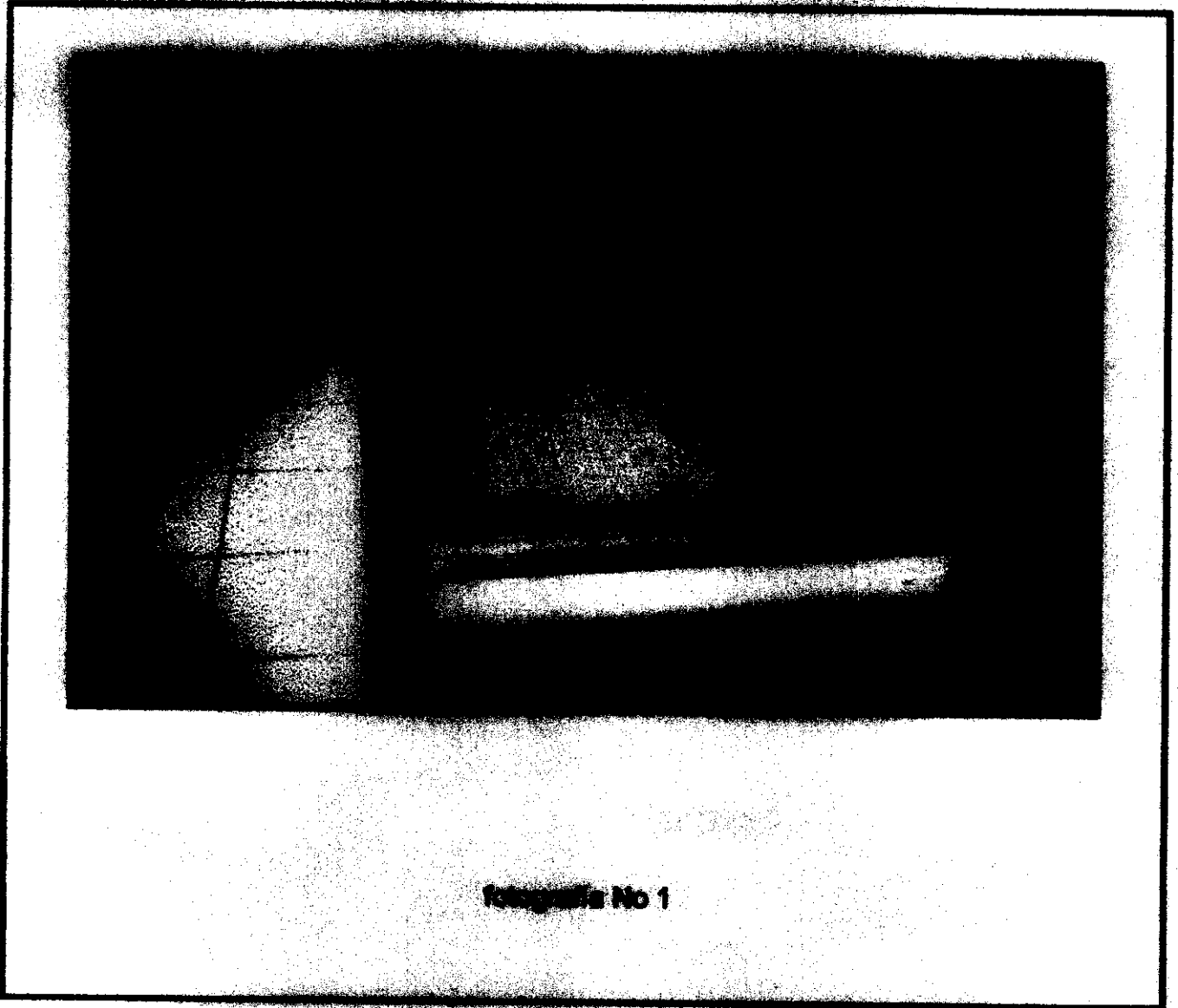
- líneas de corriente con fuente.
- líneas de corriente con sumidero.
- líneas de corriente en combinación fuente y sumidero.
- líneas de corriente con ala de avión.
- línea de corriente con cilindro.

2.- Definir los siguientes conceptos:

- Flujo laminar.
- Número de Reynolds.
- Líneas de corriente.
- Líneas equipotenciales.
- Gasto.

## 2.6 Álbum fotográfica.

## MESA DE FLUJO LAMINAR



Fotografía No 1

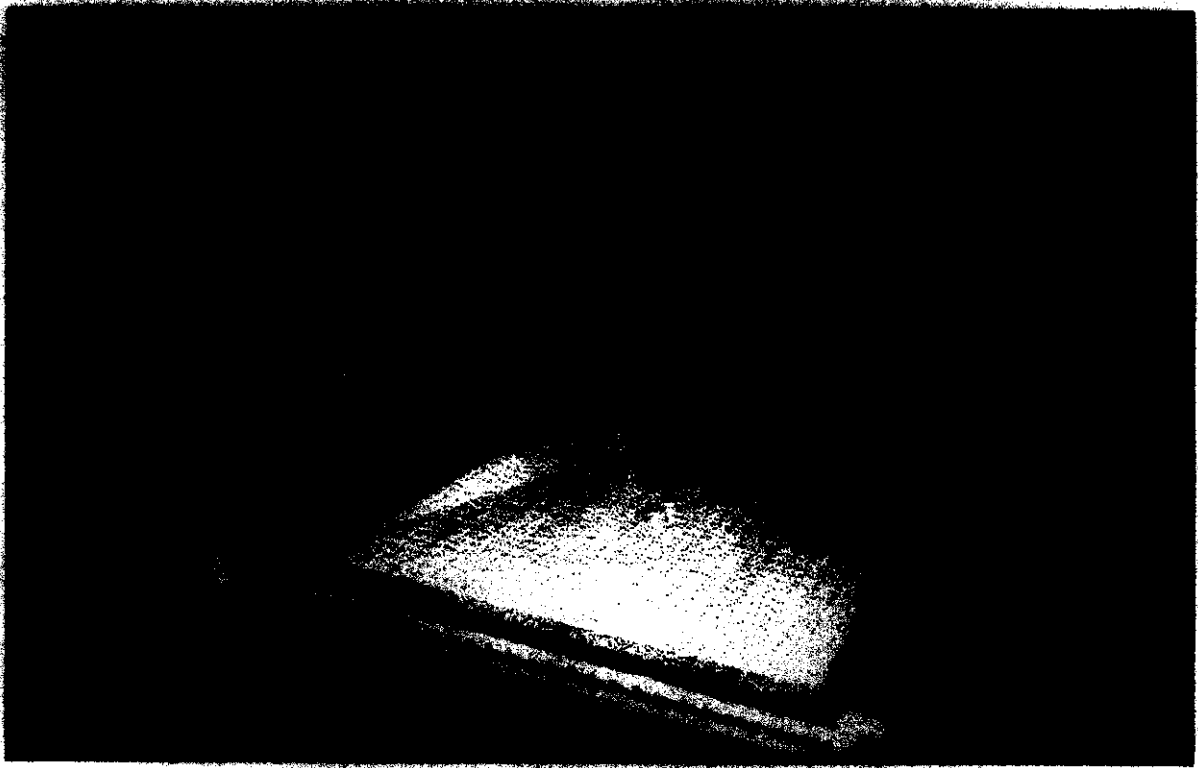
### Descripción:

Vista lateral de la mesa de flujo laminar (1) en posición de trabajo. Se aprecian las placas de cristal, el sistema de luces y ventilador de la mesa, así como el sistema de control de fuerzas magnéticas.

(1) Proyecto de desarrollo de Programa Especial de Ingeniería, UNAM.



## MESA DE FLUJO LAMINAR



fotografía No 2

### Descripción:

Vista lateral de la mesa de flujo laminar (\*), se observa en la fotografía las dos placas de cristal, la inferior fija y la superior abatible, así como el sistema de inyección de colorante y el depósito o recipiente.

(\*) División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

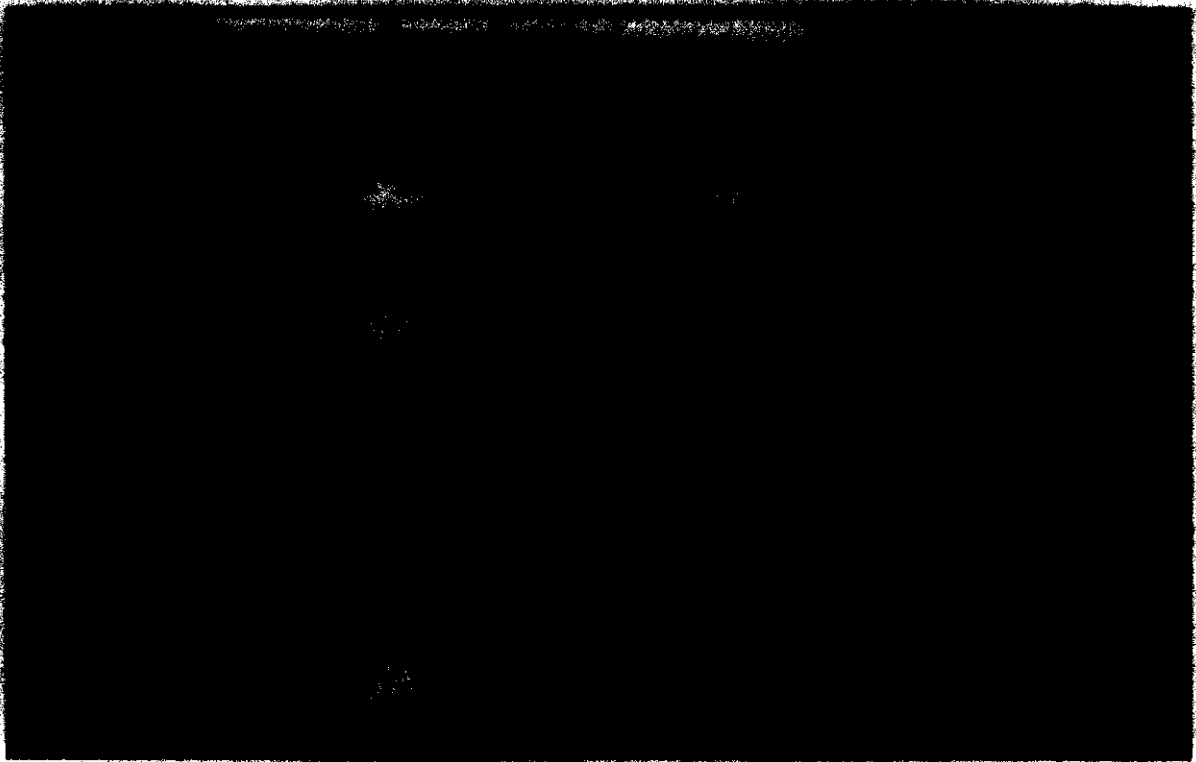
**MESA DE FLUJO LAMINAR**

fotografía No 3

**Descripción:**

Vista lateral de la mesa de flujo laminar, se observa en la parte superior, el número de control de fondo, la cámara de trabajo y el sistema de extracción.  
(\*) División de Estudios de Programa Facultad de Ingeniería, UNAM.

## **MESA DE PUJJO LANNAR**



**Fotografía No 4**

### **Descripción:**

**Vista frontal de la mesa de Pujjo Lannar, se observa en la parte inferior, el tablero de control de sumideros y niveles de sumideros.**

**(\*) División de Estudios de Proyectos Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.**

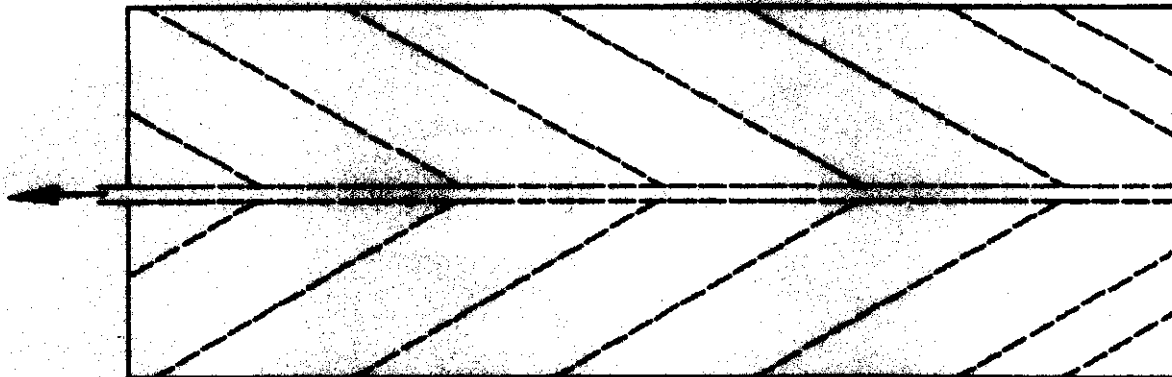
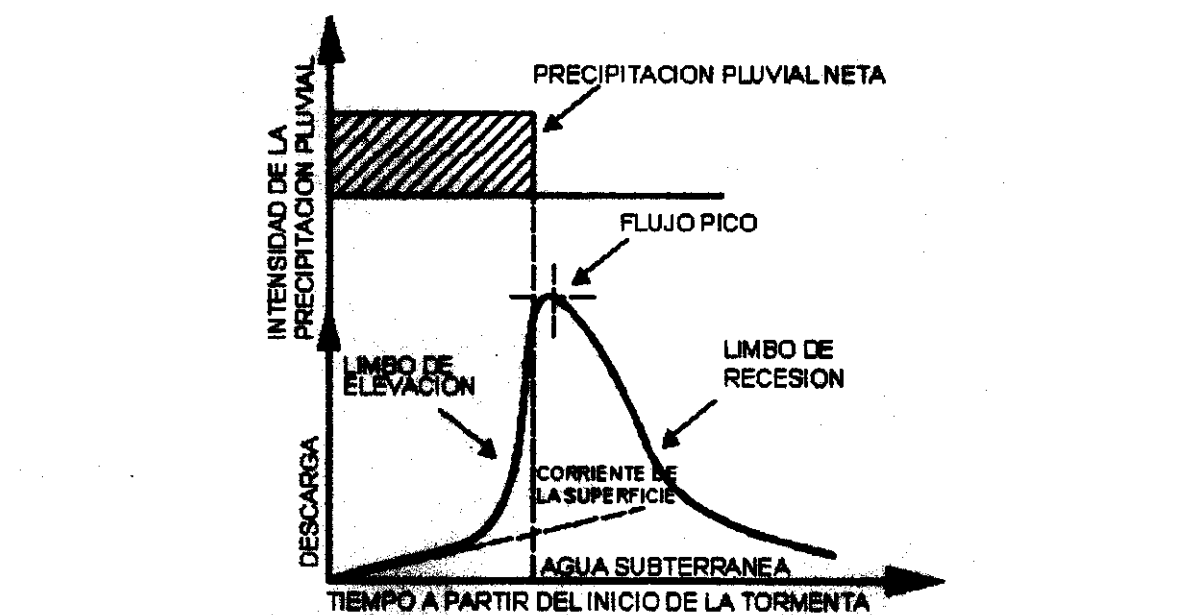


FIG. 4

Al tiempo más largo requerido por la lluvia para caer sobre el área de captación, se le llama tiempo de concentración. Al registrar en forma gráfica del flujo y tiempo, se le llama gráfico hidráulico y la figura No 5 muestra un gráfico hidráulico típico, el cual es el resultado de una sola tormenta de lluvia. El tiempo y la intensidad de la precipitación pluvial, se ilustra mediante el bloque en la parte superior de esta figura y si la precipitación pluvial persiste durante un tiempo mayor que el tiempo de concentración del área de captación, el gráfico hidráulico de la corriente se nivelará en el estar pico del área de captación. Bajo estas circunstancias, la parte de la curva de caudales del gráfico hidráulico, es retrasada hasta que la lluvia se detiene.

Durante las primeras etapas de la tormenta de lluvia, siempre y cuando no haya caído lluvia reciente, la tierra actúa en proporción de absorber el agua que cae sobre ella y agregaría al agua subterránea ya presente. Cuando todos los huecos se han llenado, el excedente debe fluir sobre la superficie y correr directamente al arroyo como un flujo de superficie. Este es el primer flujo de superficie que eleva el punto de concentración al cual produce una elevación marcada en el gráfico hidráulico y para separar la contribución del agua subterránea de la corriente directa, puede utilizarse esta discontinuidad del gráfico hidráulico, tal y como se ilustra en la figura No. 5. Adicionalmente el gráfico hidráulico mostrado, es el típico para las tormentas con duración más corta que el tiempo de concentración de la captación.



**FIG 5**

#### Extracción de agua de un pozo en una capa acuífera confinada.

Una capa acuífera es una capa de almacenadora de agua subterránea, en la cual es posible el flujo horizontal, debido a su estructura hueca de conexión interna. Estos poros a través de los cuales tiene lugar el flujo, pueden ser efectivamente muy pequeños y generalmente, se encuentran entre los límites de 2 mm - 0.02mm. El movimiento es lento en comparación con la corriente de la superficie y el flujo normalmente es laminar. El Número de Reynolds para los flujos de este tipo es muy bajo.

Una capa acuífera confinada, es una capa que está cubierta por una capa impermeable y que se supone que tiene límites en el plano horizontal, por lo que todos los movimientos de agua subsecuentes, deben tener trayectorias horizontales. Por lo tanto, esta capa acuífera se podrá recargar solamente cuando exista una rotura en la cubierta impermeable.

Si la capa acuífera está plenamente saturada, entonces el agua se elevará dentro de la perforación que penetra la cubierta hasta que se obtiene una presión de equilibrio en el fondo de la perforación.

A la superficie imaginaria que contiene las superficies de agua en cualquiera de dichas perforaciones, se le llama la superficie piezométrica (ver figura No 6). Si la superficie piezométrica yace sobre la superficie de la tierra, el agua fluirá desde una perforación que penetra la capa acuífera sin la ayuda de una bomba, este es un pozo artesiano.

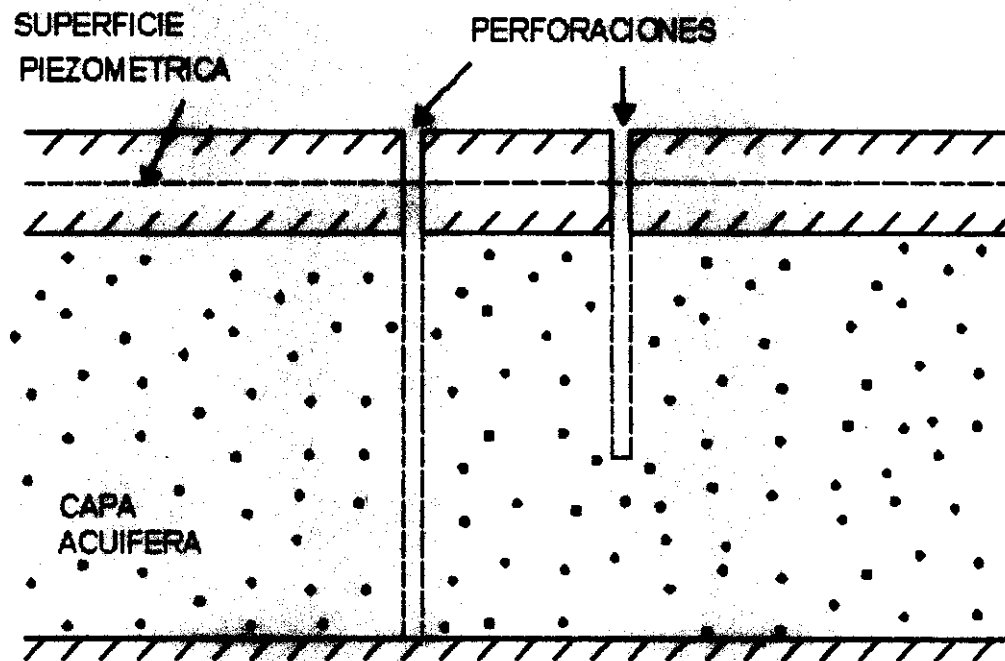


FIG. 6

Cuando no existe movimiento de agua subterránea, la superficie piezométrica debe ser horizontal y plana. Bajo estas circunstancias, el agua se elevará hasta el mismo nivel en cualesquiera de las perforaciones penetradas. Si el agua es extraída del pozo por medio del bombeo, la superficie piezométrica baja localmente, ya que el agua fluye a través de la capa acuífera hacia el pozo. Esta es la situación que se muestra en la figura No. 7 y la ecuación de Darcy se refiere a la velocidad del agua basal que se mueve en la capa acuífera, hasta la pendiente de la superficie piezométrica, mencionada anteriormente.

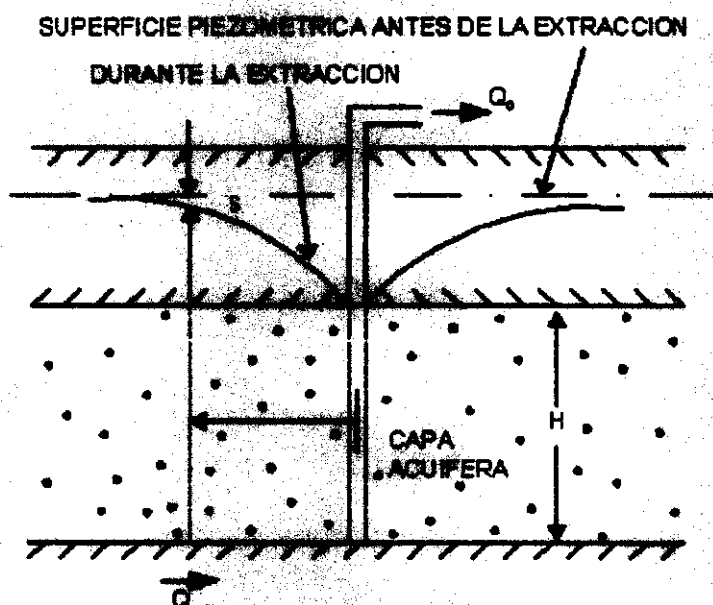


FIG. 7

$H$  = espesor de la capa acuífera

$Q_0$  = descarga constante del pozo

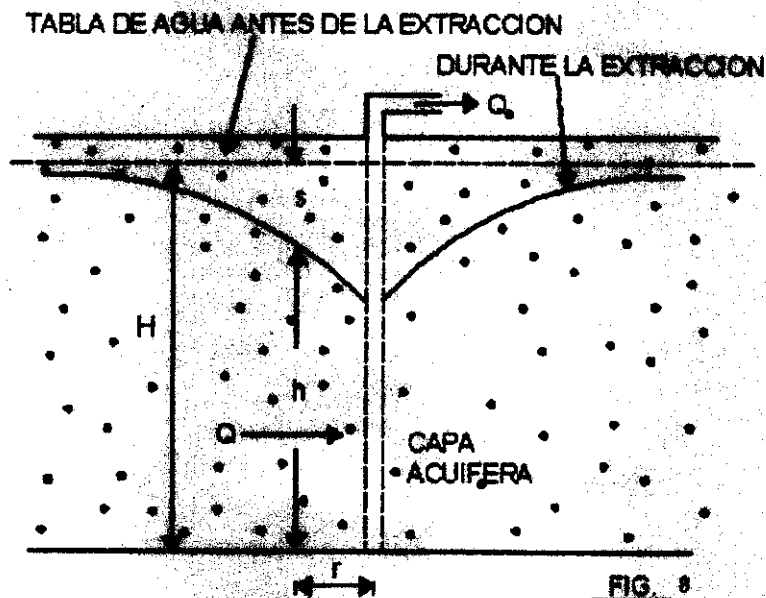
$S$  = descenso de la superficie piezométrica en el radio  $r$  (a partir de la posición de reposo)

$Q$  = índice total de la diseminación en la capa acuífera en el radio  $r$

#### Extracción de agua de un pozo en una capa acuífera sin confinamiento

En la figura No. 8, se muestra una capa acuífera sin confinamiento situada sobre una base impermeable. No existe recarga a través de precipitación pluvial, ni pérdida de agua a través de la evaporación-transpiración y la mesa de agua es por consecuencia horizontal. Dentro de una capa acuífera sin confinamiento, la superficie piezométrica coincide con el límite superior de la zona saturada y a las cercanías de se le llama mesa de agua.

La extracción de agua subterránea de un pozo, dará movimiento como resultado el descenso de la mesa de agua pero, dentro de la capa acuífera que se encuentra bajo consideración, esto significa al mismo tiempo, una reducción de la profundidad saturada disponible para el flujo de agua.



$H$  = profundidad de la zona saturada antes del bombeo

$h$  = profundidad de la zona saturada debido al bombeo

$r$  = distancia al pozo de bombeo

$Q_0$  = descarga constante del pozo

$Q = Q_0$

### Extracción de agua de una cantidad de pozos contiguos

El método de superposición permite la predicción de una situación compleja, considerando que está constituida por una cantidad de elementos simples e imponiendo sus efectos individuales resultantes. En el caso de pozos contiguos dentro de la misma capa acuífera, las relaciones lineales esenciales para el uso de este método, se encuentran en el flujo de la capa acuífera confinada debido a que la profundidad saturada de la capa acuífera permanece sin cambio y a que el coeficiente de transmisión es constante.

El flujo de agua subterránea en una capa acuífera sin confinar siempre está acompañada por un cambio de la zona de saturación durante el flujo. En la extracción del agua subterránea por medio de pozos, el coeficiente de transmisión depende de cualquier movimiento del agua subterránea existente con independencia. Por ejemplo, movimiento por un pozo contiguo. Esto significa que el método de superposición se puede aplicar únicamente en su forma lineal simple si las distancias separadas son pequeños, en comparación con el espesor saturado de la capa acuífera.



### 3.3 Tipos de experimentos. (contenido general)

#### 1.- Relaciones entre precipitación pluvial – corriente (gráfico hidráulico de tormenta).

- a).- Flujo de corriente de una sola tormenta.
- b).- Flujo de corriente de tormentas múltiples.
- c).- Flujo de corriente sin flujo de aguas subterráneas.
- d).- Flujo de corriente de un área de captación impermeable (urbanización).
- e).- Flujo de corriente con almacenamiento en recipientes.
- f).- Efecto del drenaje de tierra sobre el gráfico hidráulico de corriente.

#### 2.- Extracción de pozo sin recargado (flujo constante).

- a).- Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada con simetría radial.
- b).- Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada de plano rectangular.
- c).- Cono de depresión de un solo pozo dentro de una capa acuífera sin confinar.
- d).- Cono de depresión para el método de superposición de dos pozos.
- e).- Extracción de agua de un sitio de excavación.
- f).- Drenaje de un polder o lago.

#### 3.- Extracción de pozos con recargado (flujo constante).

- a).- Precipitación pluvial sobre una isla circular con un pozo central.
- b).- Flujo de agua subterránea entre dos canales con y sin precipitación pluvial.

#### 1.- Relaciones entre precipitación pluvial – corriente (gráfico hidráulico de tormenta).

##### 1.a).- Flujo de corriente de una sola tormenta.

Antes de que este experimento se lleve a cabo, los rieles del instrumento que se encuentran en cualquiera de los lados del recipiente de captación deben instalarse con una pendiente de 1/200 (5 al millar) aproximadamente en forma descendente hacia la abertura. Ahora, debe utilizarse la tabla de perfil para establecer el perfil de la sección transversal del "valle" y una pendiente (corriente descendente) longitudinal uniforme en la arena. Una vez que la arena ha sido humedecida en forma inicial, el volumen en uso puede ser corregido de tal manera que se pueda hacer el perfil de la superficie formada por la tabla sobre su riel, a través de la longitud total del lecho de arena.

La siguiente etapa es para establecer el mejor rango de flujo para las boquillas rociadoras superiores. Primero, encender la instalación de la bomba y ajustar la válvula de control de la boquilla de un modo tal que indique un flujo de 14 ltz/min. Dejando sin alterar la posición de la válvula, apagar la bomba y dejar que transcurra por lo menos una hora para que el lecho de arena se drene completamente.

(I) - Flujo de corriente para una tormenta de larga duración.

Dejar que la lluvia caiga lo suficiente para producir un valor de corriente constante de : 0.27 lts / seg (ver figura No 9a). Apagar la bomba y registrar al inicio de recesión del gráfico hidráulico. Para mostrar la forma del gráfico hidráulico, utilizar al principio de la precipitación pluvial un cronómetro (que arranque desde tiempo cero) y leer la descarga del vertedero, tan frecuentemente como sea necesario.

(II) - Flujo de corriente de una tormenta de corta duración.  
(menor 60 % - 80 % que el tiempo de concentración)

Proceder tal como se indica en el inciso (I), pero cortando la lluvia aunque el gráfico hidráulico aún esté en elevación. Se tendrá como resultado la figura No 9b.

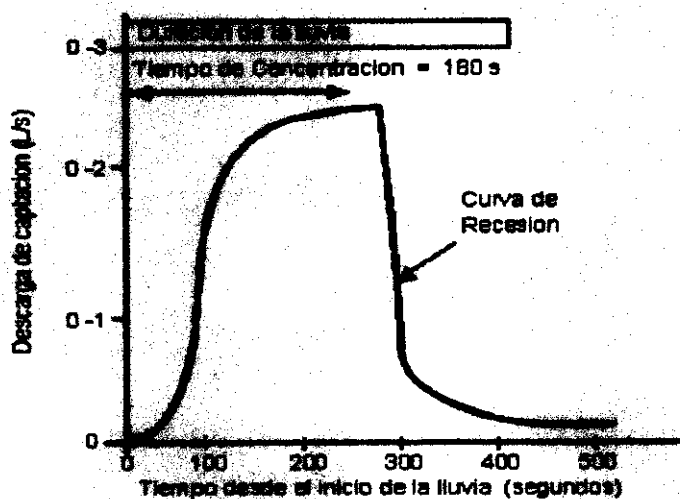


FIG 9a

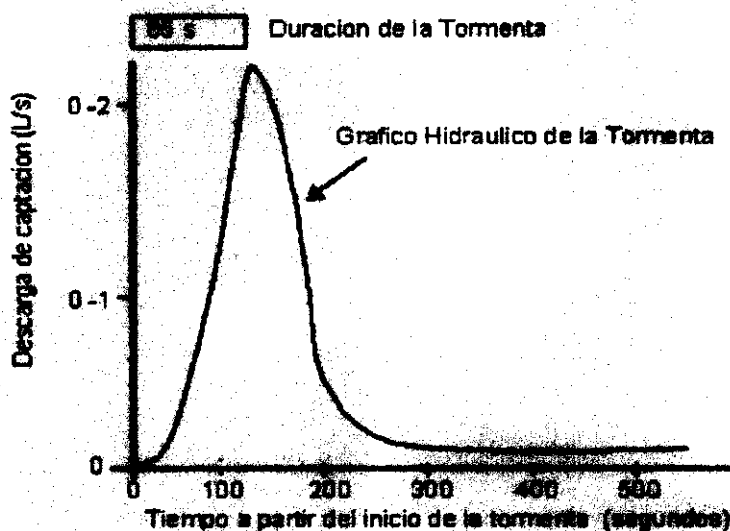


FIG 9b

### (III) - Histograma.

El gráfico hidráulico se debe mostrar correctamente como en la figura 9, trazando directamente los resultados.

Se puede observar que los gráficos hidráulicos de tormentas mejor formados, se obtienen cuando la "lluvia" se detiene poco antes de que se obtenga la corriente máxima. Esto quiere decir que durante la captación, la duración de la tormenta es ligeramente menor que el tiempo de concentración. Si después la lluvia después de que la masa de agua alcanza la superficie, se presentará predominantemente la corriente directa sobre la superficie. Cuando esto ocurre antes de que la lluvia se detenga, la corriente está solamente en la forma de un flujo de agua subterránea.

Se recomienda que se intenten pendientes del riel del instrumento y perfiles de la tabla diferentes, hasta que se obtenga el gráfico hidráulico más adecuado.

#### 1.b.) - Flujo de corriente de tormentas múltiples.

Después de que el lecho de arena ha sido drenado completamente, se puede llevar a cabo este experimento distribuyendo una primera tormenta con una duración frecuentemente menor al valor  $t_c$  (al 50%).

Seguida por una segunda tormenta de la misma duración, aunque el limbo de recesión de la primera sea todavía bastante superior. Los valores de descarga deben registrarse continuamente a partir del inicio de la primera tormenta y el gráfico hidráulico doble resultante al trazarlo, mostrará los valores de corriente más grandes obtenidos durante la segunda tormenta, la cual cubre un área de captación predominantemente saturada. Se puede utilizar el método de dibujo del gráfico hidráulico señalado en el párrafo de "Flujo de corriente de una sola tormenta". Es recomendable para la realización de este experimento, la utilización de arena no demasiado fina.

#### 1.c.) - Flujo de corriente sin flujo de agua subterránea.

Se proporciona un tapón de hule y se puede utilizar para evitar que el flujo de agua subterránea abandone el área de captación en el punto de descarga de la corriente, despejando completamente la descarga de arena del canal.

Se proporciona un tapón de hule y se puede utilizar para evitar que el flujo de agua subterránea abandone el área de captación en el punto de descarga de la corriente, despejando completamente la descarga de arena del canal. Ahora cuando la arena es saturada, el flujo sale por arriba del tubo de salida y por lo tanto, el gráfico hidráulico completo está esencialmente con el flujo de superficie y de corriente. Si se va a utilizar el tanque de compensación, se deberá llevar el tubo de sobre flujo hasta el mismo.

Existirá todavía, algo del flujo de agua subterránea lateral en dirección al curso de la corriente longitudinal, pero los movimientos del agua subterránea en la dirección de la corriente descendente serán muy pequeños, debido a la poca permeabilidad que existe en esta dirección. Esta situación representa un área de captación lateral en la cual un estrato con pendiente de roca impermeable evita el movimiento del agua subterránea y fuerza en forma local, a todo el flujo que se encuentra dentro del canal de corriente.

Es importante evitar el flujo de salida de sobreflujo ajustable de la corriente ascendente, sellando el tubo flexible de descarga o, alternativamente, suspendiéndolo por arriba del nivel del recipiente de captación. No debe existir flujo proveniente de esta salida en cualquiera de los experimentos del gráfico hidráulico.

#### 1.d).- Flujo de corriente de una captación impermeable (urbanización).

Después de investigar las relaciones entre precipitación pluvial - corriente durante una captación permeable, será interesante reducir la permeabilidad de la superficie de captación, cubriendo una parte de ella la superficie con una hoja de plástico impermeable. Si se sella de esta manera totalmente la parte superior de la superficie de captación (lejos del extremo de descarga), evidentemente, se pierde la corriente de la hoja de plástico en la arena en la parte más baja. Sin embargo, si solamente se sella la parte más baja de la superficie de captación, la relación es más inmediata y el efecto sobre el gráfico hidráulico es más marcado. La hoja de plástico proporcionada, debe ser cortada con una cuchilla o con unas tijeras para ajustar el área de captación que se requiere.

#### 1.e).- Flujo de corriente con almacenamiento en recipientes.

El efecto que tiene un recipiente de detención de inundación sobre la corriente de una corriente estándar, se puede demostrar utilizando los accesorios proporcionados. El anillo abierto (Accesorio d), se puede utilizar cuando se entierra parcialmente en la arena para formar un recipiente de forma circular, y el anillo cerrado (Accesorio e), puede ser utilizado en forma similar con el objeto de retener la lluvia que cae sobre el mismo y liberar lentamente el agua a través de la apertura central. Para ciertos recipientes de detención puede ser necesario probar todos los recipientes disponibles y se descubrirá que sirven las tapas de los cables de basura averiados, siempre que tengan un agujero de drenaje pequeño hecho en su centro.

#### 1.f).- Efecto del drenaje de tierra sobre el gráfico hidráulico de corriente.

Uno de los métodos para mejorar el drenaje de tierra que se utilizan con más frecuencia, es la construcción o reconstrucción de las planicies de diques. Se pueden construir sistemas de dique de modelo diferente sobre la superficie de arena en el tanque de captación y comparar sus efectos sobre el gráfico hidráulico de una corriente estándar.

## 2.- Extracción de pozo sin recarga (flujo constante).

### 2.a).- Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada con simetría radial.

En este experimento, se utiliza el pozo que se coloca al centro del tanque de captación. Se excava una depresión poco profunda en la arena hasta que queda expuesta la parte superior del tubo del pozo de tela metálica. Ahora se prepara en este nivel una superficie plana de arena, lo suficientemente grande para detener el anillo cerrado (Accesorio e) que es colocado con su apertura central sobre el tubo del pozo. El anillo cerrado ahora es colocado en su posición en su tubería de soporte central transparente en posición, y se excava fuera de su periferia, una zanja de poca profundidad (ver figura No 10).

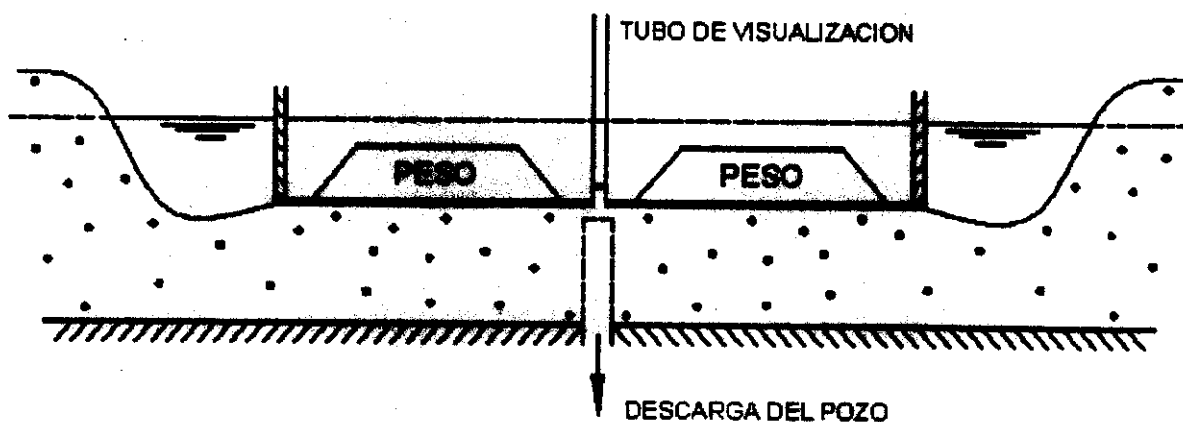


FIG. 10

Utilizando las dos válvulas de suministro de entrada de la tierra, se inunda la arena hasta que el nivel de agua que está alrededor del anillo cerrado queda justo debajo de su borde, o en caso de que no sea posible alcanzar este nivel, se alcanza el nivel lo más cercano posible de la parte del fondo. Será necesario pesar el anillo cerrado para detenerlo en el caso de que éste flote cuando el lecho está inundado, 10 kg. de peso aproximadamente. Se puede utilizar cualquier cosa que sea conveniente, siempre y cuando se pueda observar y medir el nivel de agua en el tubo de soporte. Mantener el tapón de hule en posición y elevar ambos sobreflujos ajustables.

El anillo cerrado forma el estrato impermeable superior, confinando la capa acuífera (arena) y produciendo de este modo la distribución del flujo radial requerida. Será necesario determinar la profundidad de la capa acuífera ( $H$ ) para utilizarla en la Fórmula de Thiem.

Ahora, si los valores  $r_1$  y  $r_2$ ,  $s_1$  y  $s_2$  se obtienen de cualquiera de las derivaciones de presión del manómetro o de los niveles de agua en la zanja de la pantalla y el tubo de soporte, se puede encontrar el valor del coeficiente de permeabilidad. Por supuesto,  $Q_0$  debe medirse a partir de que el flujo abandona el pozo. Será necesario balancear las válvulas del flujo interior de tal manera que la saturación del pozo no condense a que la mesa de agua descienda mientras que se toman las lecturas de  $s$  y de  $Q_0$ . También es importante revisar que esté visible una superficie de agua en el tubo de soporte, para asegurarse que la capa acuífera permanece completamente saturada en la región cercana a la pared.

Las gráficas que muestran el nivel de la superficie piezométrica en secciones a lo largo del eje del pozo y en ángulos rectos a éste, se pueden trazar a partir de las lecturas del manómetro. También es posible preparar un plano a partir de estas gráficas, el cual muestre las líneas de contorno de la superficie piezométrica.

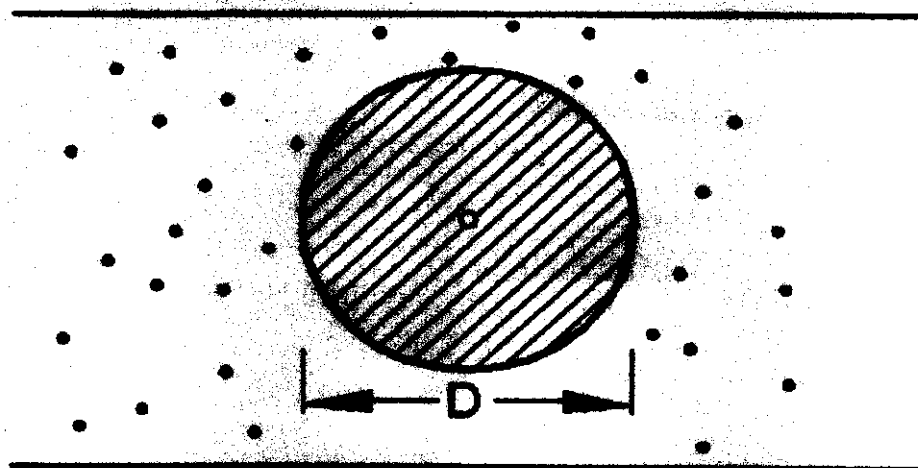
## 2.b).- Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada de plano rectangular.

El aparato se prepara exactamente en la misma forma que se describe en la sección de "Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada con simetría radial", excepto en que la charola rectangular (dimensiones  $\phi$ ) se utiliza para sellar la parte superior de la capa acuífera. Para cualquier forma de capa acuífera confinada, una variación de la Fórmula de Thiem, se refiere al descenso de la superficie de agua en un pozo hasta que la superficie piezométrica está arriba de la capa acuífera contigua.

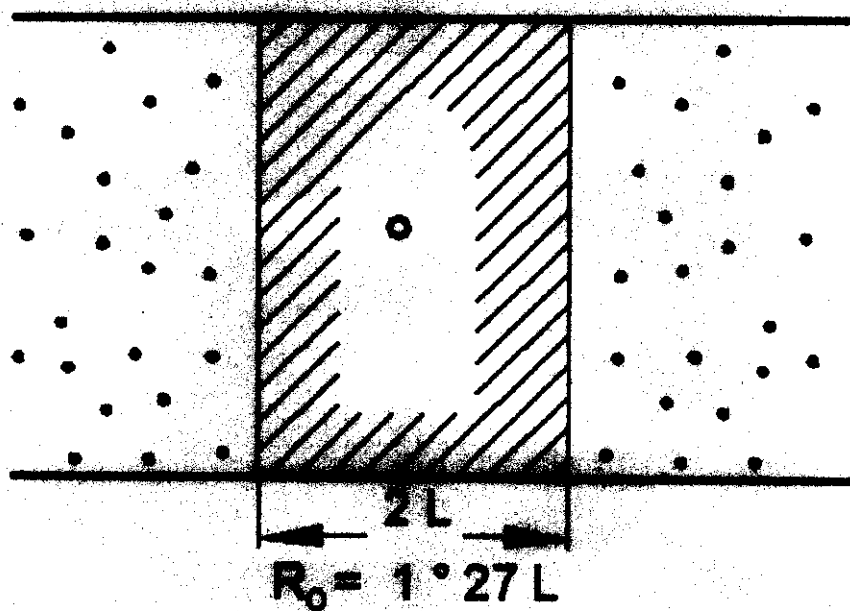
$$S = \frac{Q_0}{2kH} \log n \frac{R_0}{r} \quad \text{Fórmula Dupuit}$$

en la cual  $S$  es el descenso de la superficie piezométrica en un radio  $r$  del pozo y  $R_0$  es la constante de integración que se describe posteriormente. Esta ecuación es buena únicamente para el área cercana al pozo ( $r$  pequeña) y utilizando un valor  $k$  determinado en la sección "Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada", la elevación de la superficie piezométrica se puede calcular utilizando la Fórmula de Dupuit. Para una capa acuífera confinada  $R_0$  tiene el valor en  $D/2$  es el diámetro de la tapa de restricción y en una capa acuífera de plano rectangular de  $2L$  de ancho,  $R_0$  tiene el valor  $1.27 L$  (ver figura No11).

Se sugiere que los valores de  $S$  sean calculados utilizando el valor medido de  $Q_0$  y la Fórmula de Dupuit, (con el valor apropiado de  $R_0$ ) y posteriormente se dibuja una línea sobre una gráfica de  $S$  contra  $r$  para representar estos valores. Ahora se pueden dibujar puntos adicionales sobre la misma gráfica a partir de los valores de medición obtenidos con los tubos del manómetro.



$$R_0 = D/2$$



$$R_0 = 1.27 L$$

FIG. 11

### 2.c).- Cono de depresión de un solo pozo en una capa acuífera sin confinar.

Para este experimento no se coloca una tapa sobre la mesa en el área del pozo y la superficie de arena debe estar en forma horizontal y plana. Las gráficas de elevación de la mesa de agua (ver la sección "Extracción de agua de un pozo en una capa acuífera sin confinar") se pueden dibujar a partir de las lecturas del manómetro durante la extracción del pozo colocado al centro y, a partir de éstas, se puede preparar un plano del contorno de la superficie de la mesa de agua. Siempre que el coeficiente de permeabilidad  $k$  se haya determinado a través del método que se encuentra en la sección "Extracción de un solo pozo en una capa acuífera confinada con simetría radial", los valores teóricos para  $S$  ahora pueden ser determinados a partir de las ecuaciones de la sección de "Extracción de agua de un pozo en una capa acuífera sin confinar" y pueden ser comparadas con los valores experimentales trazados. Se puede utilizar la Fórmula de Dupuit, durante descensos pequeños en el área cercana al pozo (tomar el valor de  $R_0$  igual a la mitad del ancho del tanque de captación), mientras que la Ecuación de Thiem, se puede utilizar para áreas más distantes. En la misma forma que en los otros experimentos de pozos,  $Q_0$ , la descarga debe medirse y debe prepararse un flujo interno en los dos extremos igual en su totalidad a  $Q_0$ .

### 2.d).- Cono de depresión para el método de superposición de dos pozos.

Este experimento se lleva a cabo utilizando una capa acuífera sin confinar con flujo interno de agua en ambos extremos del tanque. El método de superposición se señala en la sección "Extracción de agua de una cantidad de pozos contiguos" y como es aplicable únicamente para valores pequeños de descenso, se sugiere que se utilicen valores pequeños de  $Q_0$ .

Dibujar los flujos requeridos de cada pozo en turno, midiendo con los manómetros el descenso producido en cada caso. Luego, se establece el flujo de los pozos combinados (ambos pozos al mismo tiempo) y medir los descensos de la mesa de agua resultantes. De acuerdo con el principio de superposición, debe ser posible analizar este patrón de la mesa de agua combinado, agregando los valores obtenidos con cada flujo del pozo en forma independiente. Para este experimento el descenso cercano al pozo no debe exceder del 25% del espesor saturado de la capa acuífera antes del descenso.

También resulta interesante explorar el descenso debido a las extracciones mucho más grandes de estos pozos. Aunque no sea aplicable el principio de superposición, es posible determinar el efecto de una extracción contigua en el caso de depresión de otro pozo para relacionar el tamaño de estas interacciones a los flujos relativos descargados a través de los pozos.



## 2.e).- Extracción de agua de un sitio de excavación.

Una excavación profunda para propósitos de construcción de cimentaciones u otra actividad debajo de la tierra, con frecuencia penetrará debajo del nivel de descanso natural para la mesa de agua en esa área. Si la excavación se hace en un suelo permeable, esto constituirá una capa acuífera y la excavación se llenará con agua hasta el nivel de la mesa de agua local, debido al flujo de agua subterráneo. Un método para mantener seca dicha excavación, es hundir un anillo de pozos alrededor de la parte externa del sitio de excavación y bajar localmente la mesa de agua mediante el bombeo del sistema de pozos.

En este experimento, el anillo rectangular pequeño (accesorio g), se utiliza para formar los lados de la excavación hundándolo en la arena entre las dos posiciones del pozo y removiendo hacia abajo la arena del interior hasta el nivel más bajo de la pared del anillo. Si la arena que se encuentra en el tanque de captación es saturada en este momento admitiendo agua a través de las válvulas de control de entrada, el "sitio de excavación" se llenará con agua.

Ahora, bajar la mesa de agua abriendo las válvulas de control de drenaje del pozo, hasta que la excavación esté seca. Trazar a lo largo de la línea central del tanque, un perfil que muestre la posición de la mesa de agua (a partir de las lecturas del manómetro), en relación con los pozos y a la sección transversal de la excavación.

Por supuesto, normalmente se utilizarán más de dos pozos y en este caso se puede tener dificultad para conseguir que el fondo del sitio de excavación esté completamente seco.

## 2.f).- Drenaje de un pólder o lago.

Esta situación difiere del problema de extracción de agua de la excavación, en que el drenaje tiene lugar desde el piso del pólder. Esto significa que el agua subterránea que fluye dentro del pólder, es recolectada en un dique en forma de anillo cercano a la pared y bombeado hacia fuera desde uno o más puntos. En este experimento, el banco del pólder está representado por un anillo rectangular más grande (accesorio h), el cual es colocado para encerrar las dos paredes. La arena es removida del interior, tal como se indicó anteriormente y con el fin de diferenciar ambos pozos, se forma en el fondo un dique en forma de circunferencia (ver figura 12 A).

Ahora, la arena es inundada y las válvulas de control del pozo son abiertas hasta que el pólder esté drenado y las válvulas de entrada se ajustan para mantener en otro sitio la mesa de agua en la superficie de arena. Es posible llevar a cabo este experimento sin utilizar el anillo cuadrado, formando un banco de pólder natural con la arena en una pendiente estable (ver figura 12B). La posición de la masa de agua, debe ser determinada a partir de los tubos del manómetro y se deben trazar los perfiles para mostrar esto en relación con la superficie de tierra y las posiciones de los pozos.

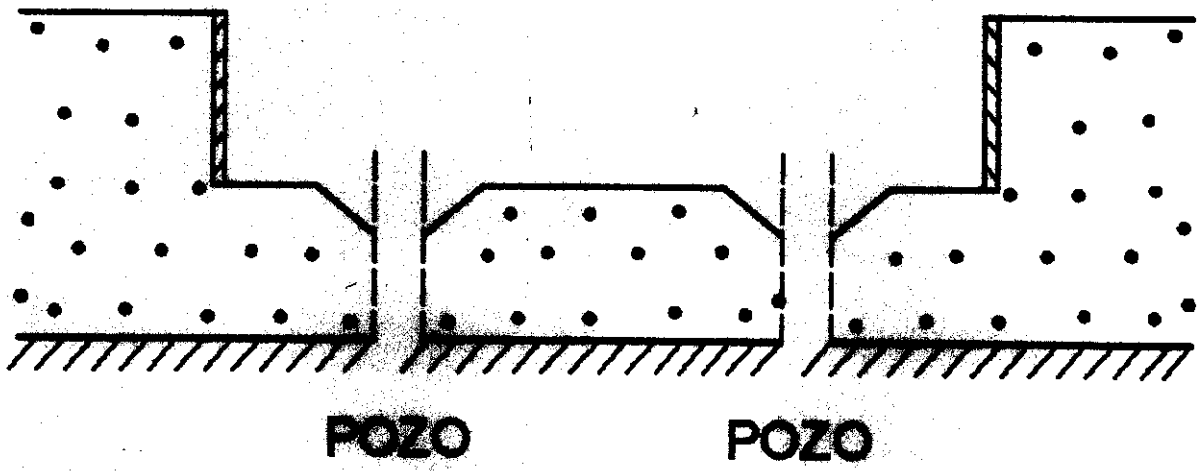


FIG. 12A

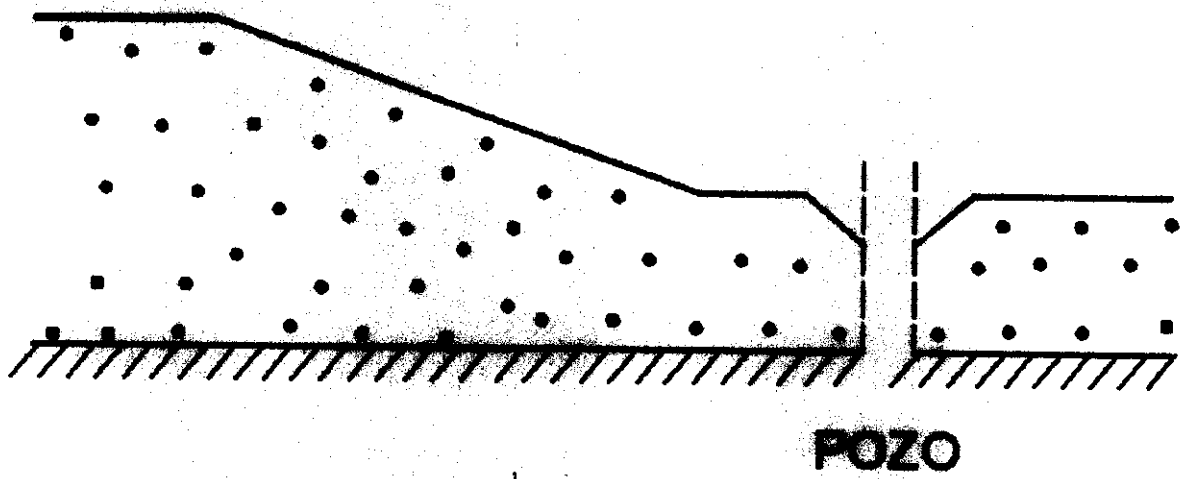


FIG. 12B

### 3.- Extracción de agua con recargado (flujo constante).

#### 3.a).- Precipitación pluvial sobre una isla circular con un pozo en el centro.

El anillo abierto (necesario d), debe colocarse concéntrico con el pozo central sobre la arena. Posteriormente, el anillo debe empujarse dentro de la arena hasta que solamente permanezca visible la mitad y ahora el volumen interior debe ser llenado con la arena excavada hasta el borde, para formar un dique justo afuera del anillo (ver figura No 13).

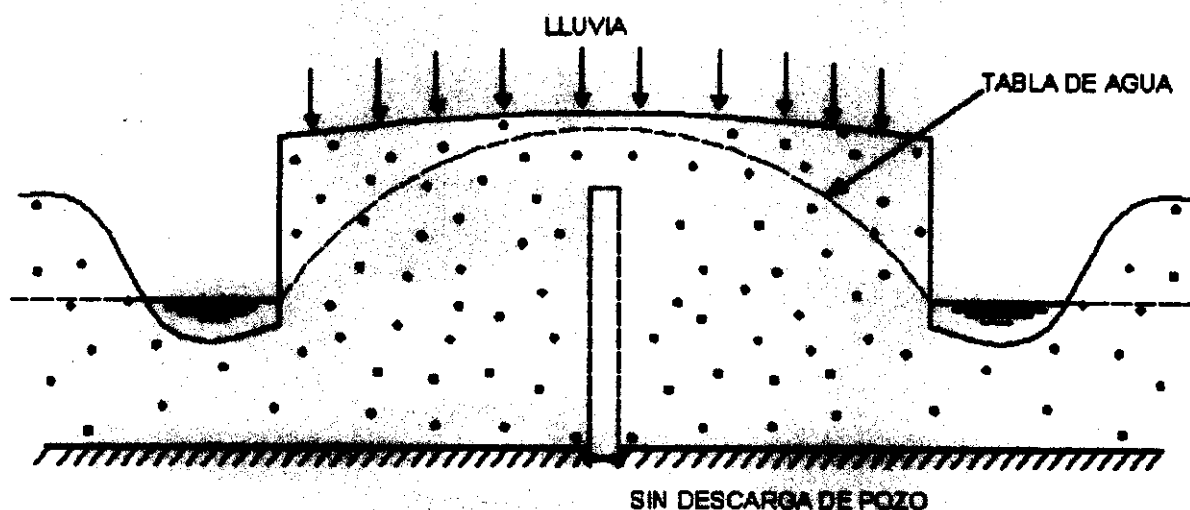


FIG. 13

Este dique debe conectarse con un segundo dique de forma recta que lo enlazará con la salida del extremo, la cual propiciará una zona de drenaje para la salida del agua al dique y para ayudar a mantener en él mismo un nivel de agua constante.

Ahora, se encienden las boquillas rociadoras y los manómetros pueden leerse cuando la mesa de agua se encuentra estable, para hacer posible el trazo de un perfil similar al que se dibujó en la figura No 13. Cuando se traza este perfil, es importante relacionarlo exactamente con la posición del anillo y con otras características de la tierra. El dique lleno de agua que rodea la isla, sirve para evitar las condiciones de agua de tierra de los efectos del exterior.

En la segunda parte de esta experiencia, se detienen las boquillas rociadoras y se retira el agua desde la válvula de control de drenaje del pozo central.

Se debe introducir un flujo de compensación junto con los suministros de agua subterránea (válvulas de control de entrada), para producir una elevación constante de la mesa de agua.

Durante la primera parte del experimento, esta descarga del pozo debe ser menor que el índice de recargado de lluvia que cae sobre la isla del centro y se puede seleccionar el valor correcto únicamente a través del ensayo y error.

Cuando se ha determinado y trazado el perfil de la mesa de agua, los rociadores deben encenderse nuevamente en sus instalaciones previas y se debe determinar el efecto combinado del recargado de superficie y de la extracción del pozo central. La mesa de agua bajo estos efectos combinados debe alcanzar una altura máxima en algunos radios menores a los de la "isla". Este máximo, marca la frontera de agua del flujo de agua subterránea, cayendo la lluvia dentro de este radio que fluye hacia el pozo y al otro lado del "mar". Cuando se coloca una isla en un mar de sal, es muy importante, obviamente, que exista esta división de aguas o que el agua de sal sea conducida a través de la tierra para alimentar el pozo.

Si se aplica el principio de superposición, se puede producir el perfil de la mesa de agua combinada "agregando" las mesas de agua determinadas previamente bajo cada flujo de agua subterránea por separado.

### 3.b).- Flujo de agua subterránea entre dos canales con y sin precipitación pluvial.

Cuando dos canales contiguos han establecido sus superficies de agua en diferentes niveles, existirá un flujo de agua subterránea entre ellos que va desde el más alto hasta el más bajo. Si, al mismo tiempo, existe un recargado de la superficie por precipitación pluvial, se puede formar una división de agua en la construcción de la mesa de agua y esto significa que una pequeña porción de recargado, está entrando al canal superior y la parte más grande al canal inferior.

Formar los dos canales, conectando dos zanjas a través del tanque de captación, una cerca de cada extremo. Acumular la lluvia que sobreviene con la arena contenida de los canales y encender únicamente el suministro de agua subterránea lejano. Esto mostrará el flujo de agua subterránea sin recargado y se podrá encontrar el flujo correcto a través del experimento.

Cuando se haya determinado la mesa de agua, encender las boquillas rociadoras hasta que se haya producido la cantidad del momento correcta, esto será necesario para cerrar la válvula de entrada y liberar agua del canal superior, por medio del ajuste del sobreflujo. Este es otro experimento en el cual, se puede probar el principio de superposición, permitiendo que se equilibren las superficies de agua en ambos canales mientras que cae la lluvia. Esto puede realizarse, regulando cuidadosamente los sobreflujos ajustables.

### **3.4 Costo del equipo.**

La mesa de arena (Basic hydrology system), es un equipo de procedencia inglesa, fabricado por la empresa Armfield Limited Brigde, localizada en West Street, Ringwood BH24 IDY, Hampshire England.

Que tiene como distribuidor exclusivo de sus equipos a la empresa Harry Mazal, S.A. de C.V., ubicada en Laguna de Tamiahua No. 204 Col. Anáhuac Delegación Miguel Hidalgo, México D.F..

Dicha empresa cotizó el equipo con fecha del 5 de mayo de 2000, con un precio de adquisición de \$ 16,249.00 libras esterlinas.

Considerando un tipo de cambio de \$ 15.23 pesos mexicanos por libra esterlina nos representa un valor de \$ 247,472.27 (doscientos cuarenta y siete mil cuatrocientos setenta y dos pesos 27/100 M.N.)

#### **Condiciones:**

**Validez de la cotización por 30 días.**

**Tiempo de entrega de 120 días a partir de la fecha de recepción del pedido y giro bancario o carta de crédito.**

**Entrega del equipo en un puerto comercial británico.**

**La cotización no incluye ningún pago o trámite aduanal.**

### 3.5 Práctica de laboratorio.

Práctica : Introducción al uso, funcionamiento de la mesa de arena (Basic Hidrology System).

Objetivo General: Reconocimiento general de todas las partes y accesorios de la mesa de arena, funcionamiento y aplicaciones.

#### Experimento I:

Mediante el diagrama de la mesa de arena, hacer un reconocimiento de cada una de las partes, sistemas y accesorios que se enlistan a continuación.

- Estructura principal
- Tanque de sumidero (200 lts)
- Bomba
- Tubo de succión del tanque
- Recipiente de captación
- Tubería flexible
- Tubería flexible del drenaje del extremo
- Tanque de compensación
- Estructura de soporte de la tubería del rociador
- Sub-ensamblaje de la tubería del rociador
- Válvula de control de la boquilla y tubo flexible
- Portador de la hoja de arrastre
- Tabla del manómetro
- Válvulas de control del drenaje del pozo
- Líneas de descarga de la boquilla

#### Experimento II:

Visualizar condiciones de precipitación pluvial a fin de observar el llenado del tanque de captación y el funcionamiento de las boquillas rociadoras.

Poniendo en operación la bomba centrífuga que esta ubicada a nivel de piso y manipulando el sistema de válvulas de control de estado, el agua pasa a un medidor de flujo y desde ahí a la válvula de control de flujo a las boquillas.

Una vez ajustado el rango de flujo deseado, cuando la cuenca ha sido llenada con arena, se puede formar, con la planilla que se proporciona, el perfil de la superficie para los experimentos de corriente (perfil de sección transversal del "valle" y una pendiente de corriente descendente longitudinal). La corriente abandona el área de captación a través del vertedero de flujo de salida en el extremo del sumidero del aparato. La medición del flujo se lleva a cabo utilizando el canal de medición graduado, el cual debe ajustarse hasta tener una posición horizontal. El agua cae dentro el canal de medición dentro del sumidero terminando el ciclo de este modo. Se apaga la bomba, se cierran las válvulas, y se hacen las observaciones y anotaciones correspondientes.

## Cuestionario de la práctica.

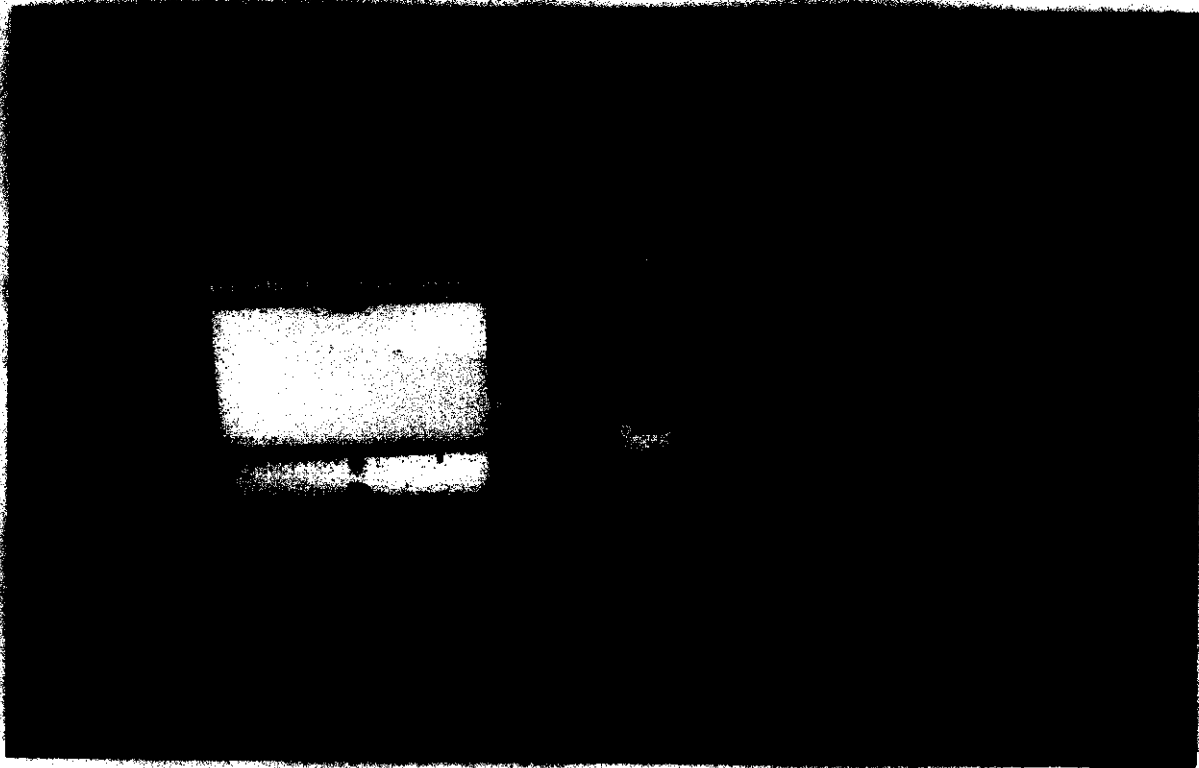
1.- Explique y represente mediante croquis o dibujos los conceptos que a continuación se describen:

- Ciclo hidrológico.
- Pozo artesiano.
- Nivel piezométrico
- Acuífero confinado
- Acuífero sin confinar
- Nivel estático
- Nivel dinámico
- Curva de abatimiento

**3.6 Álbum fotográfico.**



## MESA DE ARENA



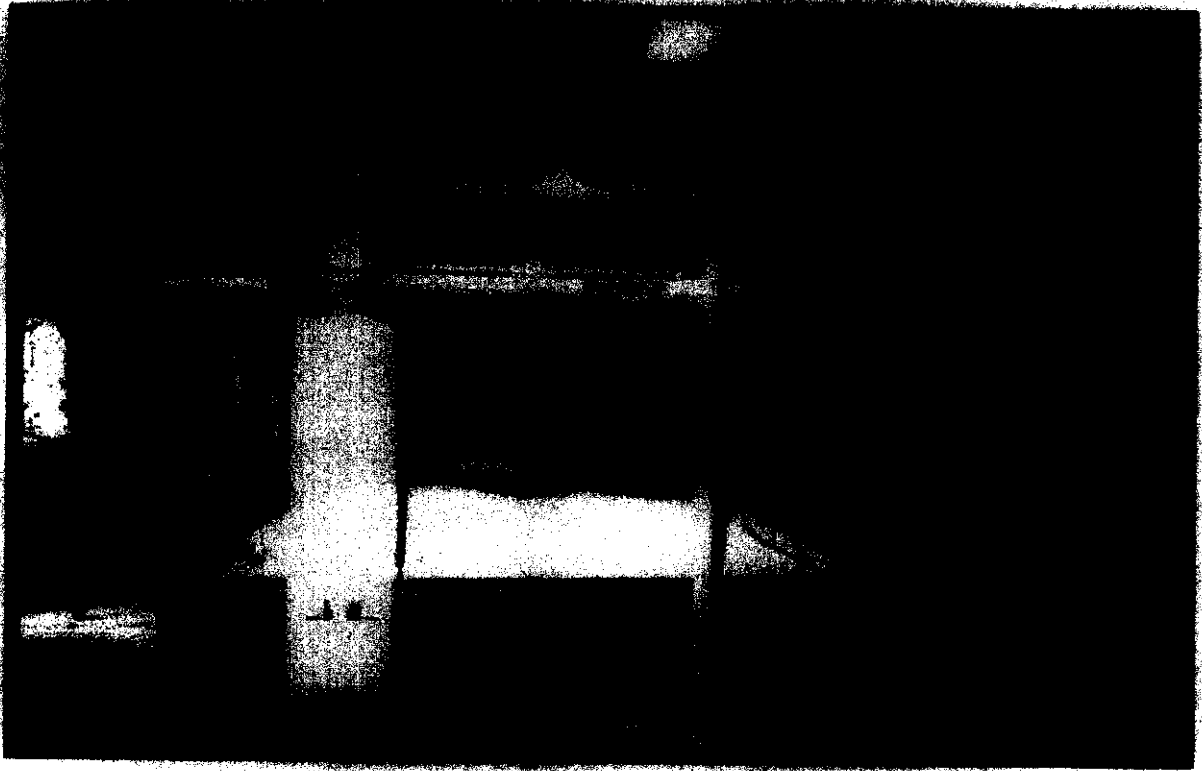
fotografía No 1

### Descripción:

Vista frontal de la mesa de arena (\*), se observa en la parte superior, la tubería y válvula de control de entrada, así como el tubo y cable de la bomba eléctrica, en la parte inferior el tanque de medición y tubería de drenaje flexible.

(\*) División de Ingeniería Civil, Topografía y Geodésica Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

## MESA DE ARENA



**fotoğrafía No 2**

**Descripción:**

**Vista lateral de la mesa de arena (\*), se observa la línea de descarga y válvula de control de las boquillas rotatorias, así como el nivel del agua.**

**(\*) División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.**

## MESA DE ARENA



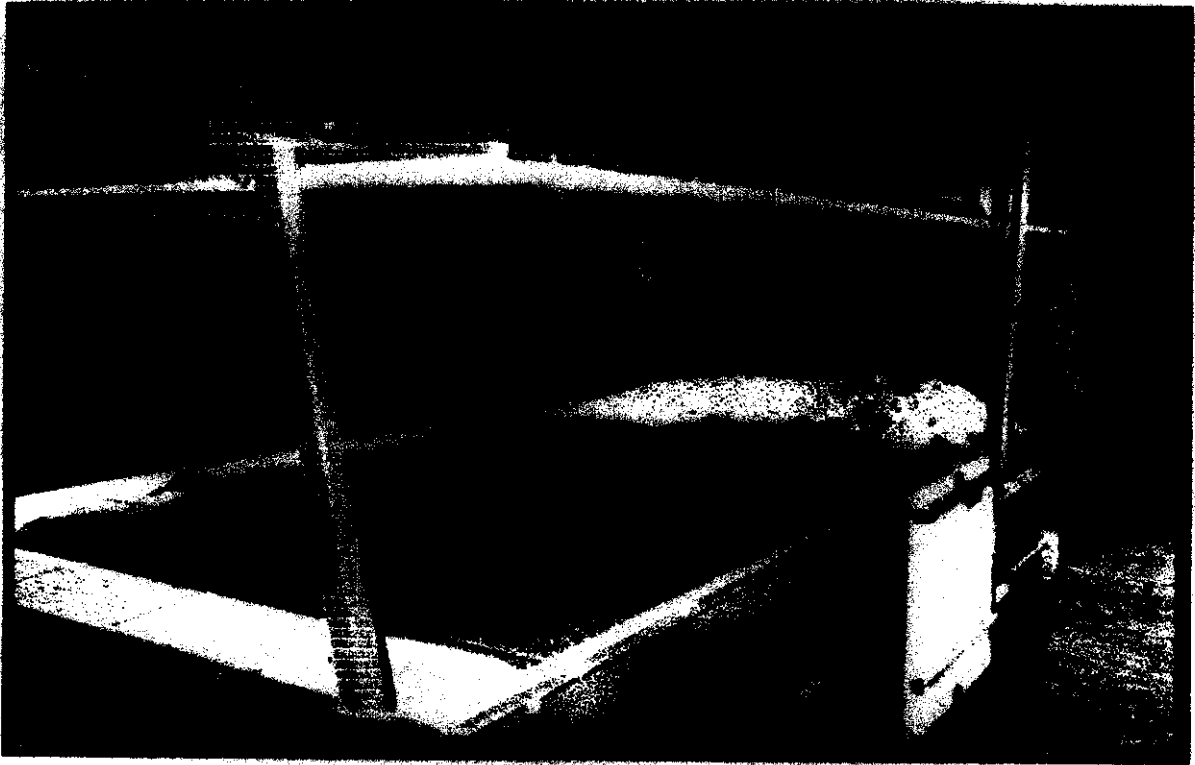
fotografía No 3

### Descripción:

Vista lateral de la mesa de arena (\*), se observa en la parte superior las hileras de boquillas rociadoras, el tanque o recipiente de captación, así como en la parte inferior el tanque de sumidero y tubería de drenaje.

(\*) División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

## MESA DE ARENA



fotografía No 4

### Descripción:

Vista lateral de la mesa de arena (\*), se observa en la parte superior, la estructura de soporte y las hileras de bocanillas mezcladoras, así como el tanque o recipiente de captación.

(\*) División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

### 3 - Mesa de arena.

#### 3.1 Características generales del equipo.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

## 3 - Mesa de arena.

### 3.1 Características generales del equipo.

### 3.2 Funcionamiento, uso y aplicaciones del equipo.

### 3.3 Tipos de experimentos.

### 3.4 Costo del equipo.

### 3.5 Práctica de laboratorio.

### 3.6 Álbum fotográfico.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

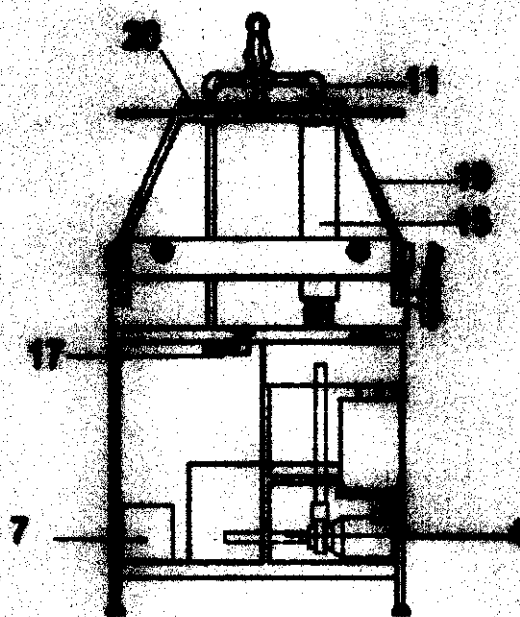
Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

Este equipo se utiliza para estudiar el ciclo hidrológico en un equipo que permita observar el flujo de agua en una cascata, así como fenómenos relacionados con la hidrología, como la infiltración y la evaporación de agua en una zona de captación, así como otros fenómenos relacionados con el ciclo hidrológico en un sistema.

**Diagrama de arena de arena (sistema hidrológico físico).**



**Simbología:**

- 4 tubo de succión del agua
- 7 transformador (con cable de 4 mts de largo)
- 10 estructura de soporte de la tubería del rociador
- 11 sub-ensamblaje de la tubería del rociador
- 15 fluidoómetro
- 17 válvula de control de presión
- 20 línea de drenaje de la boquilla

### 3.2 Funcionamiento, uso y aplicaciones del equipo.

El equipo presenta una superficie de captación, que está representada por un tanque poco profundo elaborado de acero suave esmaltado del tipo de una estufa. La precipitación pluvial es proporcionalizada mediante la hilera de boquillas rociadoras que se encuentran arriba del tanque y la corriente es conducida a un sistema de medición que está en uno de los extremos del aparato.

El suministro de agua al equipo, es proporcionado por medio de la bomba centrífuga eléctrica que está montada a nivel del piso, a un lado del tanque de sumidero. El agua pasa a través de un medidor de flujo, el cual mide el rango de flujo y desde aquí pasa hasta las tres válvulas de control de entrada. Dos de estas válvulas, son para controlar el rango de flujo a la cuenca y la tercera válvula es para controlar el flujo para las boquillas. La válvula de control de la boquilla debe calibrarse para ajustar el rango de flujo hasta obtener el rango deseado, dejando posteriormente, dicho flujo sin turbidez y todas las otras válvulas de suministro deben estar cerradas completamente.

Cuando la cuenca ha sido llenada con arena, se puede formar, con la plantilla que se proporciona, el perfil de la superficie para los experimentos de corriente, dibujándolo a lo largo de los rieles del instrumento montados en las paredes del canal. Estos rieles del instrumento, deben ajustarse hasta tener 3 cm de caída aproximadamente hacia el vertedero de salida.

La corriente abandona el área de captación a través del vertedero de flujo de salida en el extremo del sumidero del aparato. La tela metálica con la que se llena esta salida, evita que la arena sea lavada desde el área de captación.

La medición del flujo se lleva a cabo utilizando el canal de medición graduado, el cual debe ajustarse hasta tener una posición horizontal mediante el ajuste de los tornillos de nivelación adaptados. El agua cae desde el canal de medición dentro del sumidero terminando el ciclo de este modo.

Para los experimentos de extracción de pozos, se le puede agregar agua al área de captación, mediante las boquillas rociadoras o mediante las entradas sumergidas en cualquiera de los extremos del área de captación. Estas están diseñadas para utilizarse en conjunto y para realizar esta operación la válvula de control de la boquilla debe estar cerrada con las válvulas de control de entrada ajustadas hasta que se obtenga el flujo requerido.

El nivel de puntos que se encuentra en la superficie freática o sobre la mesa de agua se puede obtener del banco del manómetro a un lado del tanque de captación. Cada tubo del manómetro está conectado a un punto de rescado de presión, en la base del tanque de captación, en la figura 2 que se encuentra a continuación, se muestra la posición y número de referencia de cada uno de estos puntos roscados.

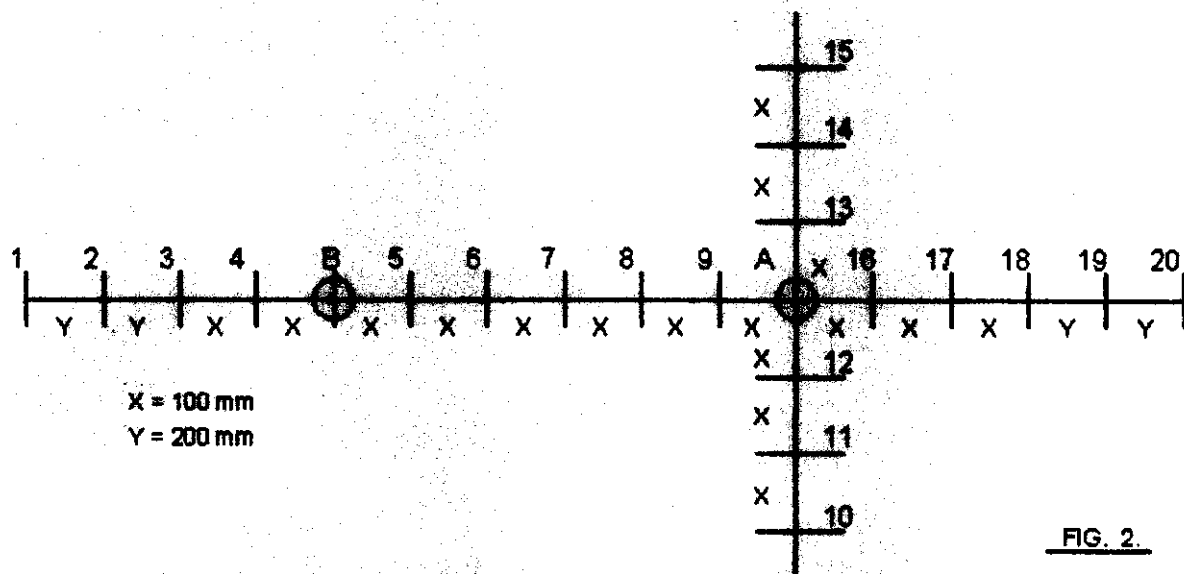


FIG. 2.

### Selección de la arena para el tanque de captación.

Para satisfacer las necesidades del experimento en particular, se pueden seleccionar el tamaño y clasificación de la arena que se utiliza en el tanque de captación. Normalmente una arena fina producirá un coeficiente de permeabilidad inferior y por lo tanto, una corriente más lenta y pendientes más escalonadas, que la arena gruesa.

Se conseguirán resultados similares, si se utiliza una arena bien clasificada (una en la cual esté presente un rango de tamaños en parte aproximadamente iguales). Es importante que la arena que se utilice, sea lavada completamente primero, a fin de remover todo el sedimento, sales e impurezas que se encuentran presentes.

El mejor tamaño para los experimentos de corrientes, está dentro del rango de 2 - 5 mm, aunque para estudiar la pérdida de la masa de agua y la extracción de pozos, es deseable un tamaño ligeramente menor, de 0.5 - 2 mm. Sin embargo, si se va a estudiar todos los experimentos se recomienda utilizar arena con tamaño cercano a los 2 mm con el fin de poder obtener resultados comparativos.



### Relaciones entre precipitación pluvial - corriente.

La lluvia que cae sobre un área de captación, recorrerá su camino hasta el punto de concentración en donde abandonará el área de captación. Debido a una situación de flujo de gravedad, este se irá hacia el punto más bajo dentro del área de captación, si la descarga es a través del nivel freático del agua subterránea, la situación es más compleja y el flujo puede ser distribuido sobre un frente amplio, pero como el flujo es restringido para abandonar esta área de captación en un solo punto, nos debemos tener en cuenta este caso.

En la práctica, un área de captación se define hasta que el punto de concentración ha sido adaptado y debido a que los datos del flujo de vapor son necesarios en este caso a menudo se selecciona el sitio de una nueva estructura de medición de flujo que ya existía anteriormente. Cuando cae la lluvia sobre el área de captación, el tiempo requerido por el agua para alcanzar el punto de concentración, dependerá, tanto de la distancia horizontal que tenga que recorrer, como de la velocidad.

La figura No 3, muestra líneas de tiempo iguales de flujo para un área de captación de proporciones similares a las del modelo en el cual, la velocidad del flujo es la misma en cualquier momento. La figura No 4, ilustra un área de captación tipo valle, en la cual se supone que la velocidad del flujo aumentará una vez que el agua ha entrado al canal del arroyo.



FIG. 3

## **4 - Simulador de la ecuación de Darcy.**

**4.1 Principio teórico.**

**4.2 Características generales del equipo.**

**4.3 Experimento tipo.**

**4.4 Diagramas de dimensiones.**

**4.5 Costo del equipo.**

## 4 - Simulador de la ecuación de Darcy.

### 4.1 Principio teórico.

El equipo se sustenta en el concepto teórico de la Ley de Darcy.

El movimiento y comportamiento del agua subterránea está gobernado por principios hidráulicos sencillos. El flujo a través de acuíferos la mayoría de los cuales son medios porosos naturales, pueden expresarse por la ley de Darcy.

En 1856, Henry Darcy estableció la ley que lleva su nombre, la cual dice que la velocidad de flujo a través de un medio poroso es proporcional a la pérdida de carga e inversamente proporcional a la longitud de recorrido del flujo.

La comprobación de la ley de Darcy puede hacerse utilizando un cilindro lleno de arena con una sección transversal A, al cual se le colocan dos tomas piezométricas a una distancia L y se hace pasar agua, originando un gasto (Q).

Si se aplica la ecuación de Bernoulli entre las dos secciones limitadas por las tomas piezométricas, se tiene que; (ver figura No 1).

$$\frac{P_1}{\omega} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\omega} + \frac{V_2^2}{2g} + hL \quad \text{formula (1)}$$

donde:

g      aceleración de la gravedad, en ( m / seg )<sup>2</sup>

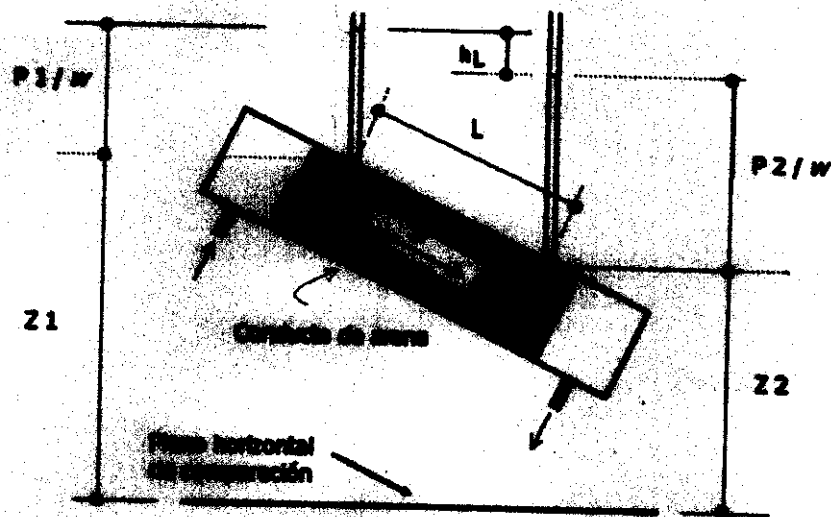
hL     pérdida de carga, en ( m )

P      presión en ( ton / m )<sup>2</sup>

V      velocidad de flujo, en ( m / seg )

Z      elevación, en ( m )

ω      peso específico del agua, en ( ton / m )<sup>3</sup>



**Figura No 1**

Como la velocidad en un medio poroso es realmente muy pequeña, las cargas de velocidad pueden anularse y la pérdida de carga se expresará como:

$$v^2/2g = 0 \quad \text{tenemos que,} \quad h_L = \frac{(P_1 + Z_1)}{\omega} - \frac{(P_2 + Z_2)}{\omega} \quad \text{formula (2)}$$

Darcy encontró que la velocidad  $V$  es proporcional a  $h_L$  y a  $1/L$ , así la ley de Darcy se puede escribir:

$$V = K \frac{h_L}{L} \quad \text{formula (3)}$$

donde  $K$  es una constante de proporcionalidad, por lo que es forma general la ley de Darcy se puede expresar como:

$$V = K \frac{dh}{dL} \quad \text{donde } dh / dL \text{ es el gradiente hidráulico } = i$$

por lo tanto:

$$V = Ki \quad \text{formula (4)}$$

Como puede observarse, el coeficiente K tiene unidades de velocidad y se le conoce por el nombre de coeficiente de permeabilidad.

Asimismo considerando la Ley de la continuidad y la Ley de Darcy tenemos:

$$Q = AV \quad \text{formula (5)}$$

donde: Q = gasto

A = área de flujo

V = velocidad de flujo

Con la aplicación de estos elementos podemos cuantificar el caudal de flujo que circula a través de una sección determinada.

#### 4.2 Características generales del equipo.

El simulador de la ecuación de Darcy, es un equipo experimental (prototipo) que nos permite analizar de una manera práctica la ecuación de Darcy, así como su conceptualización física. (ver figura No 2)

1. el equipo consiste en un tubo de acrílico transparente de 4" de diámetro y 1.80 mts. de largo.
2. dos rejillas o coladeras de lámina de acrílico ranuradas de 6 mm de espesor, que permitan el libre paso del agua.
3. dos tubos piezométricos de acrílico transparente de 50 cms. de largo y de ½" de diámetro con graduación en centímetros.
4. la base consiste en la unión de dos ángulos de 1.1/2" x 1" x 3/16" y 1.80 mts. unidos con soldadura en forma de canal, sobre los cuales el tubo de acrílico de 4" de diámetro queda asentado, y ésta sostenido en dos ángulos de 1.1/2" x 1.1/2" x 3/16", de altura variable, montado sobre una placa de acero de 0.15 mts. de ancho, 1.30 mts. de largo y ¼" de espesor.
5. el sistema de alimentación de agua, es de tubo de acrílico de ½" de diámetro y 15 cms. de longitud, con rosca exterior y manguera flexible de ½".
6. sistema de control del gasto, consistente en una salida de 1/2" a base de tubo de acrílico de 15 cms. de longitud, rosca exterior y llave de nariz de P.V.C..
7. depósito para medir el gasto se recomienda con una capacidad mínima de 12 lts.
8. tamaño de arena utilizada de :
  - 58% < (0.77 mm)
  - 13% entre (0.77 - 1.10 mm)
  - 12% entre (1.10- 2.00)
  - 17% > (2.00 mm).
9. el equipo tendrá una posición inclinada de 30° con respecto al plano horizontal con el fin de favorecer el escurrimiento del agua por gravedad.

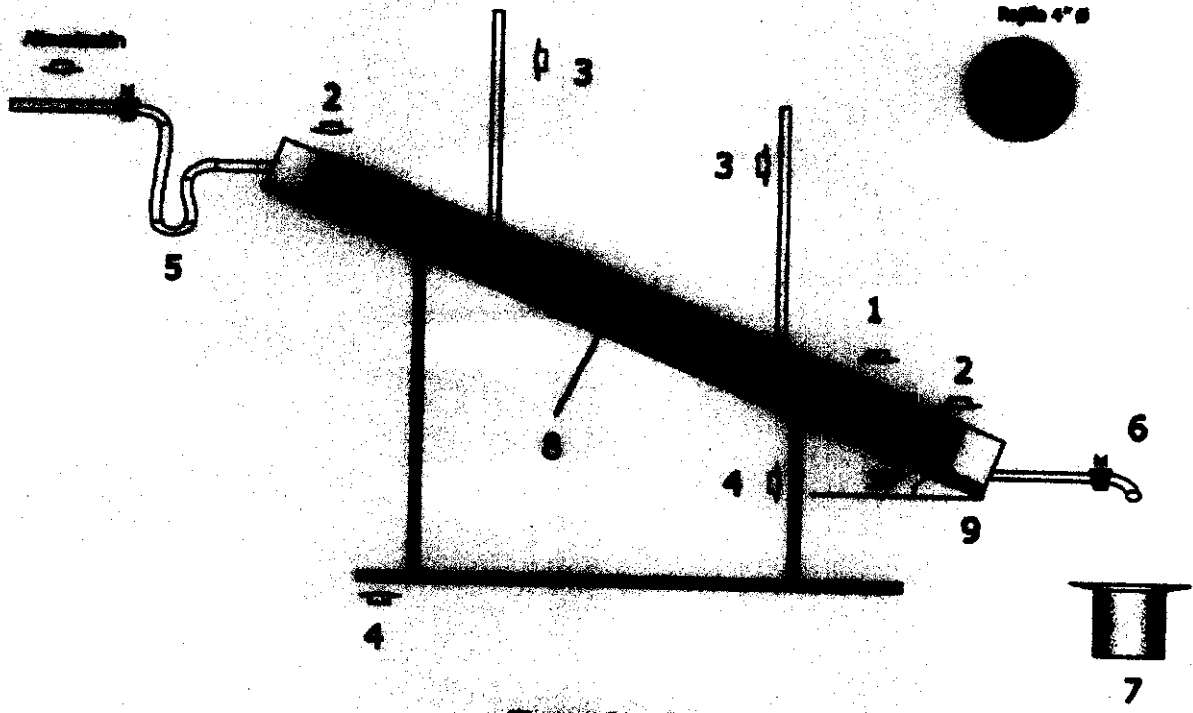


Figure No 2

### 4.3 Experimento tipo.

El desarrollo de este experimento tipo tiene la finalidad de verificar el principio teórico de la ecuación de Darcy.

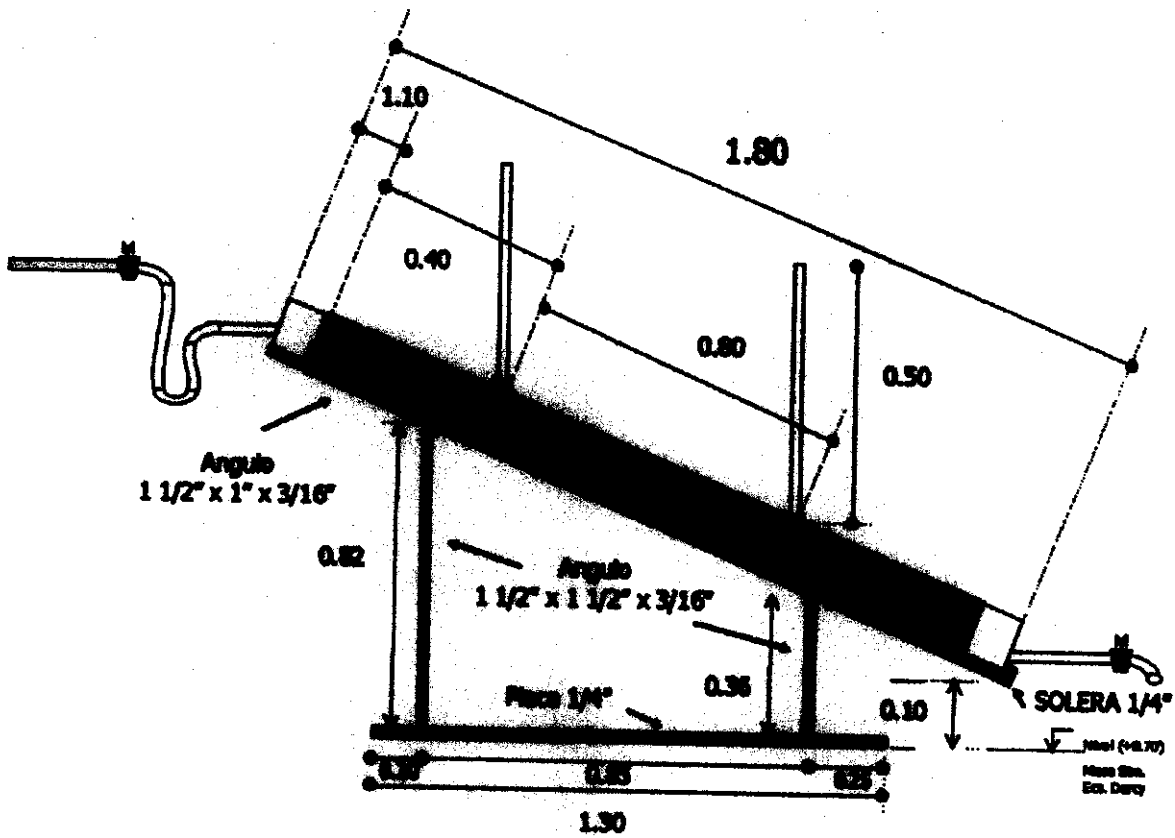
- la manguera flexible (No 5) se conecta al sistema de alimentación, se abre la válvula de paso haciendo fluir el agua a través de tubo de acrílico de 4" de diámetro (No1) y por la rejilla o coladera (No 2).
- Una vez que el agua comienza a fluir a través de la arena (No 4), ésta se satura y el agua, se eleva por los tubos piezométricos (No3).
- El agua se eleva por los tubos piezométricos (No3) hasta una altura considerable, en ese momento se toman las medidas de la elevación del agua en cada uno de los tubos piezométricos.
- Se cierra la válvula de paso del sistema de alimentación, y se abre la llave de nariz de P.V.C. del sistema de control de gasto (No 6), para que el agua escorra al depósito (No 7) a fin de cuantificar el volumen.
- Con el fin de cuantificar el gasto de manera directa se toma el tiempo desde que se abre la válvula de paso y comienza el flujo, hasta el momento en que se vuelve a cerrar el sistema de alimentación.

Con las mediciones obtenidas determinamos los valores de  $h_L$  como la diferencia de elevaciones en los tubos piezométricos, cuantificamos directamente el gasto ( $Q$ ), toda vez que conocemos el volumen del agua dentro del depósito y el tiempo entre la apertura y cierre de la válvula de paso del sistema de alimentación.

Con estos datos podemos corroborar la ley de Darcy para la conexión No 3 y No 5.



4.4 Diagrama de dimensiones.



ADICIONALES DE MEDIDAS

Figura No 3

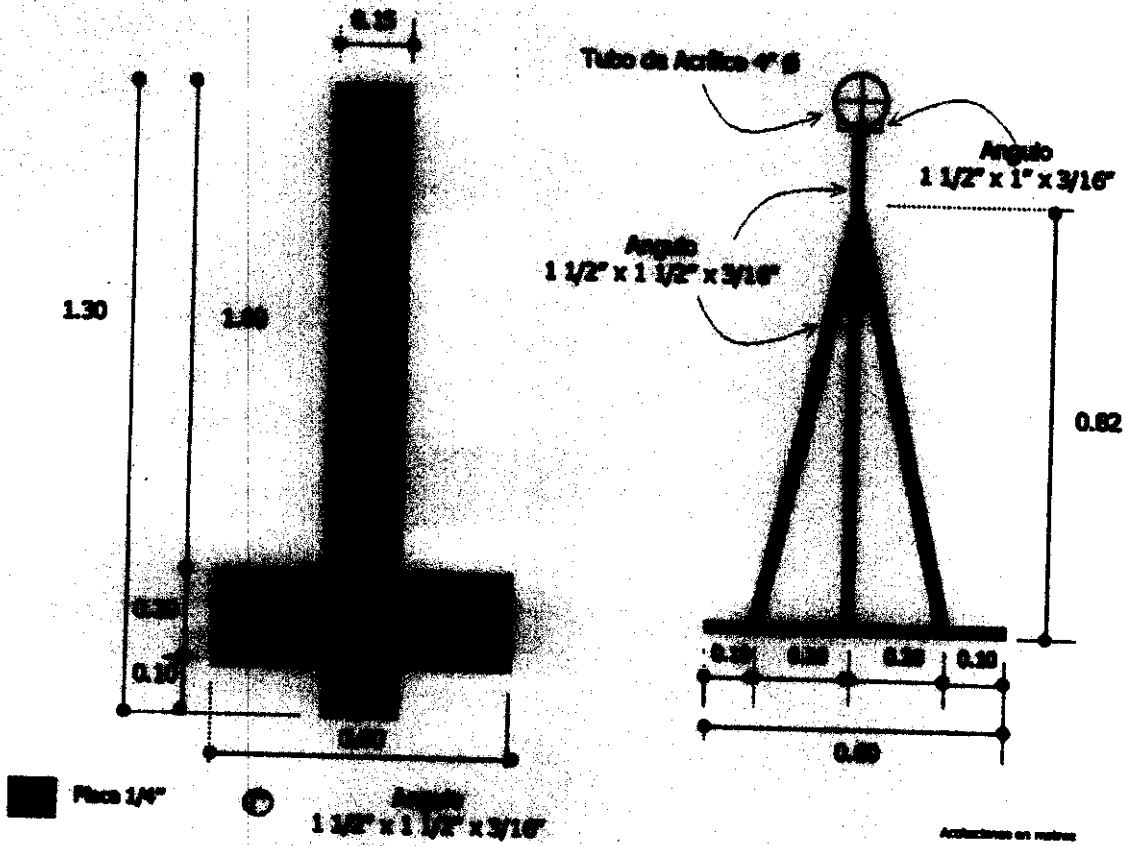


Figura No 4

#### 4.5 Costo del equipo.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

#### SIMULADOR DE LA EQUACION DE CARNOY (prototipo)

tubos de acrílico de 4" y 1/2" de diámetro y 6 mm de espesor, lámina de acrílico de 6 mm de espesor, base de madera de pino de 1.1/2" x 1.1/2" x 3/16" y placa de acero de 3/16" x 16 cm x 130 cm, manguera flexible de 1/2", conectores de bronce de rosca interna.

No.	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	%
1	Tubo de acrílico de 4" de diámetro y 6 mm espesor.	ml	1.60	\$1,667.50	\$3,001.50	
2	Tubo de acrílico de 1/2" de diámetro y 3 mm espesor.	ml	1.60	\$60.01	\$99.02	
3	Lámina de acrílico de 6 mm	m <sup>2</sup>	0.60	\$1,166.10	\$583.05	
4	Pegamento para P.V.C. Transparente de 300 ml.	pas	1.25	\$26.60	\$33.13	
5	Manguera flexible de 1/2" de diámetro.	ml	1.20	\$5.00	\$6.00	
6	Conectores de bronce de rosca interna de 1/2".	pas	2.00	\$11.50	\$23.00	
7	Llave de acríl. P.V.C.	pas	1.00	\$53.48	\$53.48	
9	Angulo de 1.1/2" x 1.1/2" x 3/16" y 1.1/2" x 1" x 3/16"	ml	6.48	\$25.98	\$168.20	
10	Placa de acero A-36 de 1/4" de espesor x 0.16 m x 1.30 m.	kg	16.43	\$7.35	\$113.41	
11	Soldadura e-6016	kg	0.65	\$18.00	\$11.88	
12	Pintura antióxido (primer)	lt	0.25	\$26.00	\$6.50	
13	Pintura de esmalte	lt	0.25	\$28.00	\$7.00	
<b>Total de Materiales</b>			<b>4,607.98</b>		<b>\$4,106.16</b>	<b>78.38%</b>
	Cuadrilla No 2 (1 técnico especializado + 1 ayte. de técnico)	jur	1.50	\$550.00	\$825.00	
	Cuadrilla No 1 (1 herrero + 1 ayte. herrero)	jur	0.88	\$290.00	\$253.75	
<b>Total de Mano de Obra</b>					<b>\$1,078.75</b>	<b>20.59%</b>
	Herramienta y equipo (3% M.O.)		1,078.75	\$0.05	\$53.94	
<b>Total de Herramienta y Equipo</b>					<b>\$ 53.94</b>	<b>1.03%</b>
<b>Costo Total Directo</b>					<b>\$ 5,238.85</b>	

## **5 - Modelo analógico de placa conductiva.**

**5.1 Principio teórico y aplicaciones.**

**5.2 Características generales del equipo.**

**5.3 Experimento tipo.**

**5.4 Costo del equipo.**

## 5 - Modelo analógico de placa conductiva.

### 5.1 Principio teórico y aplicaciones.

El equipo nos permite simular la formación de líneas de equipotenciales, éstas son aquellas que tienen una energía potencial de igual valor, físicamente representan la cota de la superficie piezométrica o la elevación del nivel estático de un acuífero, medido en metros sobre el nivel del mar, y su trazo se ubica perpendicular a las líneas de corriente en un flujo de agua subterránea.

El concepto de línea equipotencial nos define el gradiente hidráulico de un flujo de corriente subterránea, siendo esencial en la cuantificación del caudal de flujo a través de una sección limitada por dos líneas equipotenciales y dos líneas de corriente. Considerando la Ley de continuidad y la Ley de Darcy tenemos:

$$Q = Av = A k h/L$$

En la que A es el área de flujo. Utilizando el concepto de transmisibilidad, expresado como el coeficiente de permeabilidad multiplicado por el espesor del acuífero (  $T = Kb$  ), obtenemos:

$$Q = TB h / L \quad \text{por lo tanto} \quad Q = TBi$$

En donde T es la transmisibilidad, B es el ancho medio de flujo, i el gradiente hidráulico.

Para el caso de un área limitada por dos líneas equipotenciales tenemos:

$$Q = T \frac{h_1 - h_2}{L} B \quad (\text{ver figura No 1})$$

$$Q = T \frac{h}{L} B \quad (\text{ver figura No 2})$$

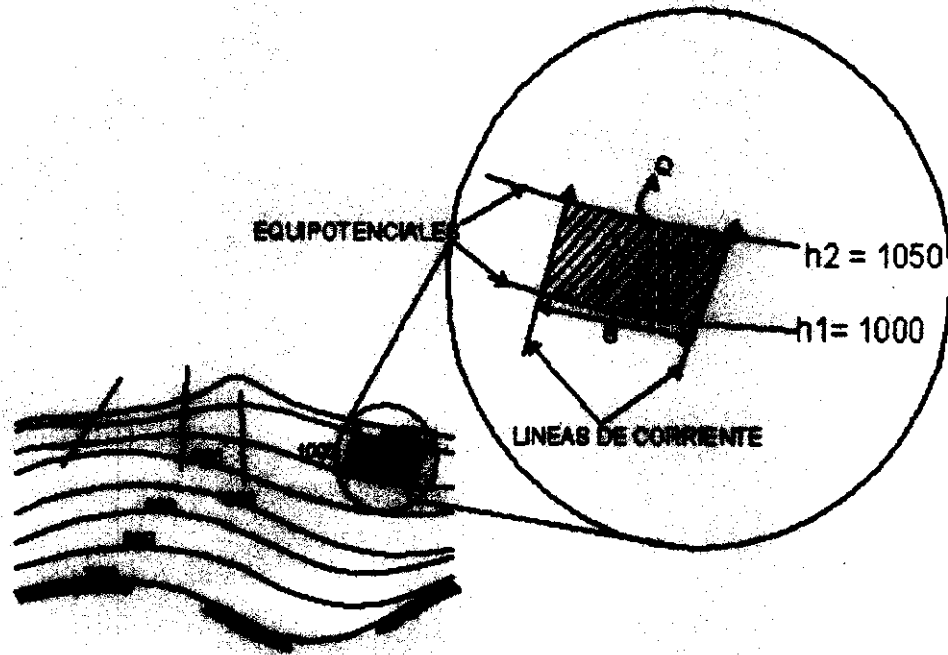


FIGURA No 1

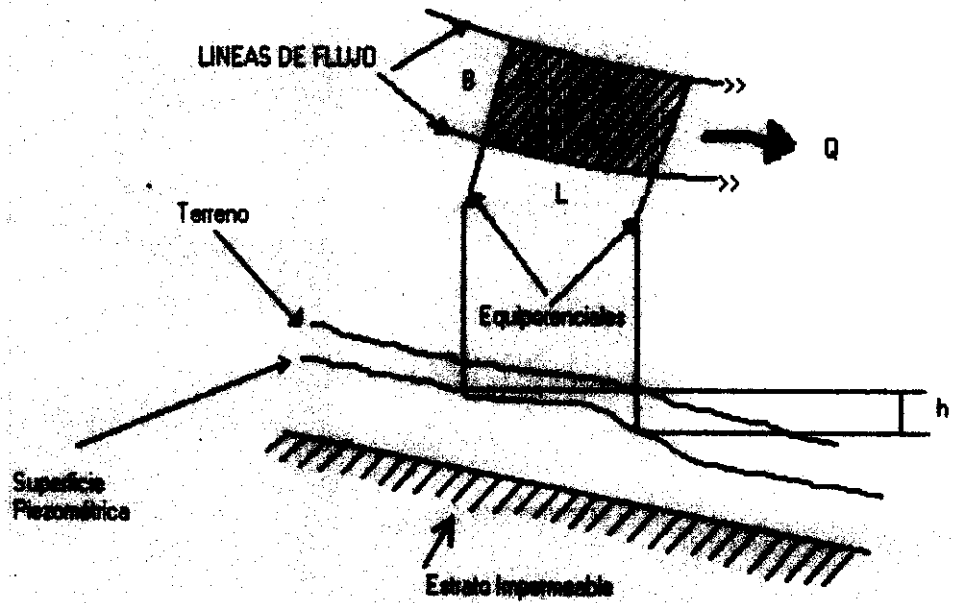


FIGURA No 2

## 5.2 Características generales del equipo.

El modelo analógico de placa conductiva es un equipo que nos permite verificar y analizar de una manera práctica las curvas exponenciales. (ver figura No 3)

- Fuente de poder de 29 volts. y 10 amp. con regulador de corriente e indicador de voltaje.
- Multímetro digital.
- Placa conductiva (Modelo personalizada del 10 de 0.40 m x 0.70 m y 3.42 mm de espesor), montada sobre una base de epoxy de madera.
- Alambre y sistemas.

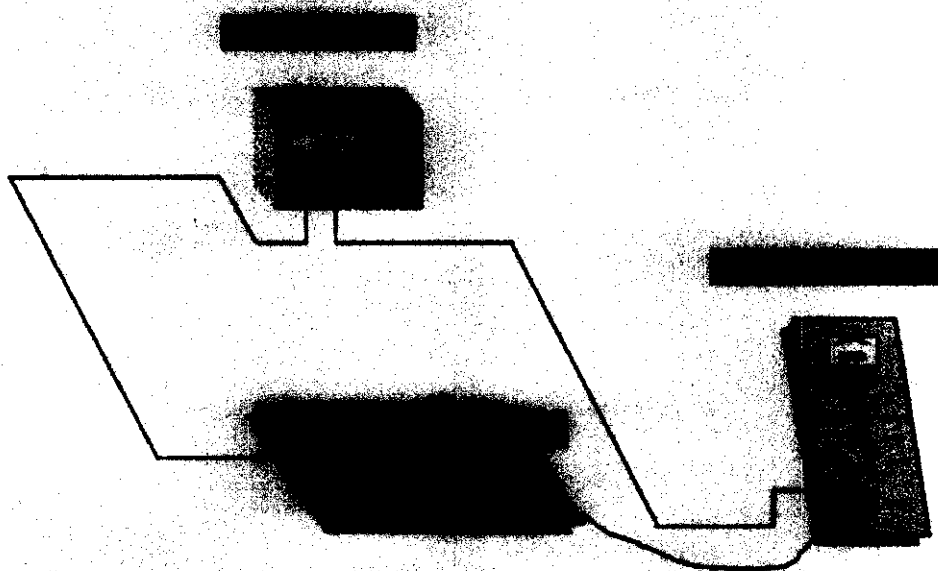


FIGURA No 3

### 5.3 Experimento tipo.

Haciendo uso del modelo matemático de placa conductiva, las líneas de equipotenciales, a través de la medición y construcción de diferencias de potencial, el experimento se rige con el principio teórico de la ley de Ohm.

$$R = \frac{V}{I}$$

$$V = IR$$

$$I = \frac{V}{R}$$

Donde:

- V representa un voltaje fijo, que es suministrado por la fuente de poder.
- R es la resistencia eléctrica definida como la oposición al flujo de carga eléctrica producida por la placa conductiva.
- I es la corriente eléctrica que será según la ley de Ohm directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia.

Al aplicar un voltaje determinado y producir una corriente eléctrica a través de la placa conductiva, la corriente eléctrica presentará una disminución debido a la resistencia que ofrece el medio conductor que es la placa, produciendo a lo largo de la placa una variación de voltaje, que será detectada por el multímetro digital.

Esta variación de voltaje se irá midiendo para todas aquellas puntos con igual potencial eléctrico, que se marcarán a lo largo de la placa conductiva, para después unirlos y delinear así curva equipotenciales.

La placa conductiva será pintada de color negro o azul fuerte a fin, de identificar fácilmente los diferentes puntos marcados con gis de color blanco.

Es importante señalar que las terminales positiva y negativa de la fuente de poder, no deben conectar directamente en la placa, porque se corre el riesgo de producir un corto circuito y quemar la fuente de poder, debido a la alta conductividad de la placa, por lo que el multímetro digital se utilizará como puente para cerrar el circuito como se indica en la figura No 3, garantizando así el buen uso del equipo y la correcta toma de mediciones.



#### 5.4 Costo del equipo.

#### MODELO ANALÓGICO DE PLACA CONDUCTIVA (prototipo).

No	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	%
1	Fuente de poder marca ANCON de 29 volts, y 10 amp, con regulador de corriente e indicador de voltaje	pza	1.00	\$1,145.00	\$1,145.00	
2	Multimetro digital marca YUFONG mod YF-70	pza	2.00	\$1,134.00	\$2,268.00	
3	Lámina galvanizada de 0.40 m x 0.70 m.	pza	1.00	\$291.45	\$291.45	
4	Pintura de esmalte negra	lt	0.50	\$30.90	\$15.45	
5	Triplay de madera de 16 mm de 0.40 m x 0.70 m.	pza	1.00	\$100.00	\$100.00	
6	Alambre y calmanes	lote	1.00	\$150.00	\$150.00	
<b>Total de Materiales</b>					<b>\$4,029.90</b>	<b>64.36%</b>
	Cuadrilla No 2 (1 técnico especializado + 1 ayte. de técnico)	jor	2.50	\$850.00	\$2,125.00	
<b>Total de Mano de Obra</b>					<b>\$2,125.00</b>	<b>33.94%</b>
	Herramienta y equipo (5% M.O.)		2,125.00	\$0.05	\$106.25	
<b>Total de Herramienta y Equipo</b>					<b>\$ 106.25</b>	<b>1.70%</b>
<b>Costo Total Directo</b>					<b>\$ 6,261.15</b>	

## **6 - Equipo de cómputo.**

**6.1 Características generales del software y hardware.**

**6.2 Métodos de evaluación hidrogeológica.**

**6.3 Guía del usuario.**

## 6 - Equipo de Cómputo.

### 6.1 Características generales del software y hardware

Aquifer Test para Windows, es un programa riguroso y eficiente para evaluar pruebas de bombeo y pruebas de permeabilidad tipo slug. El Aquifer Test para Windows es un programa fácil de usar diseñado gráficamente para calcular la transmisividad, conductividad hidráulica y las propiedades de almacenamiento de una serie de tipos de acuíferos.

Este programa ofrece soluciones analíticas para pruebas de bombeo y pruebas de permeabilidad tipo slug aplicadas a acuíferos confinados, no confinados y semi-confinados (con drenaje). El Aquifer Test proporciona al usuario un método sencillo e intuitivo ya que los datos de las pruebas de bombeo y de las pruebas de permeabilidad tipo slug pueden ser insertados directamente en el Aquifer Test, o importados de alguna base de datos o sino, de cualquier procesador de textos, hoja de cálculo.

Para operar el Aquifer Test es necesario las siguientes condiciones:

- Un drive para la instalación del software (disquetes de 3 1/2 pulgadas)
- Un disco duro con lo mínimo 5 Mb libres
- Un procesador 386, o uno superior
- Windows 3.x, Windows 95, Windows NT
- Un coprocesador matemático
- Un mouse Microsoft o compatible

### 6.2 Métodos de evaluación hidrogeológicos.

El Aquifer Test está diseñado para ofrecerle un método de evaluación adecuado a las diferentes condiciones hidrogeológicas existentes.

Una descripción completa del marco teórico de cada uno de los métodos de evaluación escapa al objetivo de este texto, sin embargo existen publicaciones y textos básicos para obtener información adicional, tales como Freeze y Cherry (1979), Kruseman y de Ridder (1979), Dagan (1988), Fetter (1988), Domenico y Schwartz (1990), Walton (1996).

Por lo que se da una descripción pormenorizada de los diferentes métodos de evaluación y los datos necesarios que se requieren para evaluar las diferentes condiciones hidrogeológicas.

### Flujo radial hacia un pozo en un acuífero confinado.

La ecuación parcial para el flujo saturado en dos dimensiones horizontales en un acuífero confinado, será:

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

Escrita en términos de las coordenadas radiales, la ecuación resulta:

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

Matemáticamente, la región de flujo ilustrada a seguir, es una línea horizontal unidimensional que atraviesa el acuífero, a partir de  $r = 0$  en el pozo, hasta  $r = \infty$  en la extremidad infinita (ver figura No 1).

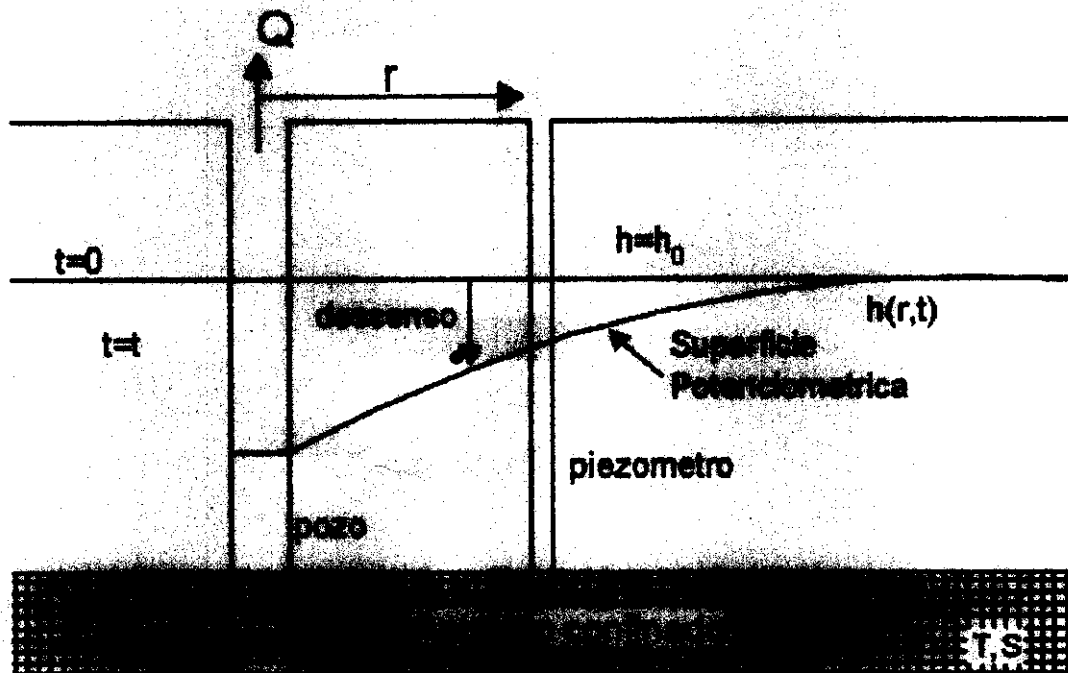


FIGURA No 1

La condición inicial es:

$$h(r,0) = h_0 \text{ para todo } r$$

donde  $h_0$  es la carga hidráulica inicial (la superficie piezométrica es inicialmente horizontal).

Las condiciones de borde (contorno) presuponen que no existe descenso a una distancia radial infinita.

$$h(\infty,t) = h_0 \text{ para todo } t$$

usando un caudal  $Q$  :

$$\lim_{r \rightarrow 0} (r \frac{\partial h}{\partial r}) = \frac{Q}{2\pi t} \text{ para } t > 0$$

La solución de esta ecuación describe la carga hidráulica a cualquier distancia radial,  $r$  y a cualquier tiempo después del inicio del bombeo.

#### Método de Theis (Confinado).

Theis (1935) sugiere una solución analítica a las ecuaciones anteriores donde:

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

Para la definición específica de  $u$  dada arriba, la integral es conocida como función - pozo,  $W(u)$ , y la ecuación sería:

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

Un gráfico bilogarítmico trazado  $W(u)$  en el eje  $y$ , y  $1/u$  en el eje  $x$  lo que comúnmente denominamos curva de Theis. Los datos de campo son trazados como  $t$  o  $t/r^2$  en el eje  $x$ , y  $s$  en el eje  $y$ . La evaluación de datos será realizada ajustando las curvas.

Esta solución sería adecuada para las condiciones mostradas en la figura siguiente (ver figura No 2).

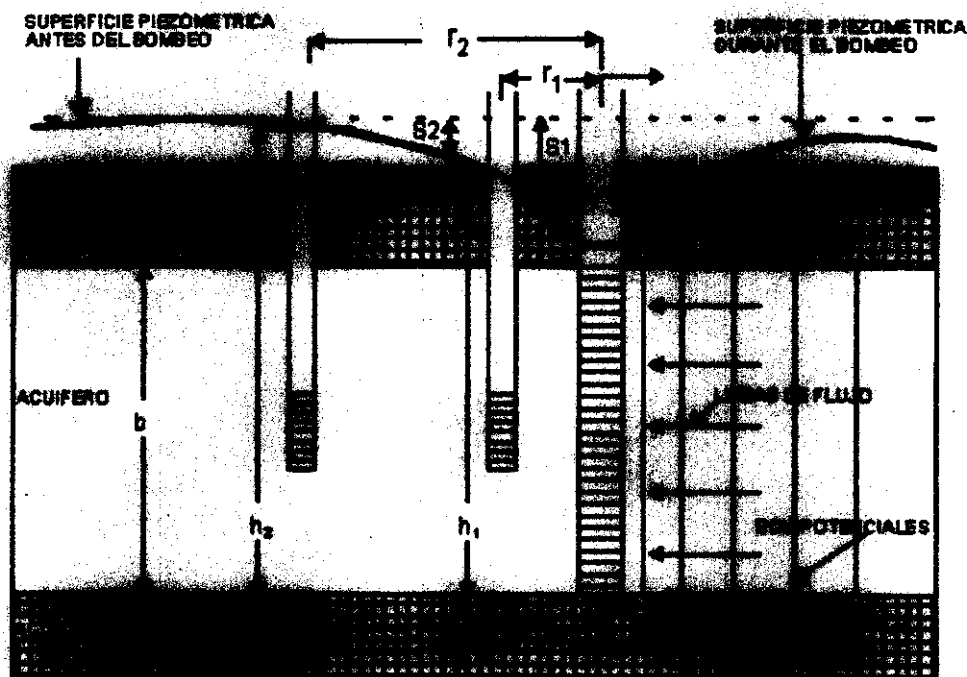


FIGURA No 2

La solución de Thais es la siguiente:

- el acuífero es confinado y "aparentemente" infinito.
- el acuífero es homogéneo, isotrópico, de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- la superficie piezométrica es horizontal antes del bombeo.
- el pozo es bombeado a una tasa constante.
- el pozo es totalmente penetrante.
- el agua liberada del almacenamiento es descargada instantáneamente ocasionando el descenso de la carga.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.

Datos necesarios:

- descenso contra tiempo en un pozo de observación.
- distancia finita desde el pozo de bombeo al pozo de observación.
- tasa de bombeo del pozo.

### Método de Cooper & Jacob (Confinado, "r" pequeño o Tiempo Grande).

El método Cooper & Jacob es una simplificación del método de Theis, válido para tiempos grandes y distancias decrecientes desde el pozo de bombeo (para  $u$  pequeños). Este método implica truncar las series de Taylor infinitas que son usadas para calcular la función - pozo  $W(u)$ . Debido a este truncamiento, no todos los datos históricos son considerados válidos para una evaluación.

El Aquifer Test ofrece como opción la llamada "Línea Crítica de Valididad", que sirve para informar al usuario el punto a partir del cual sólo los datos a la derecha de esta línea son considerados válidos. La ecuación resultante sería:

$$S = \frac{(2.3 Q)}{4\pi T} \log_{10} \left( \frac{2.25R^2}{Sr^2} \right)$$

Esta solución es adecuada para las condiciones esquematizadas en la siguiente figura (ver figura No 3).

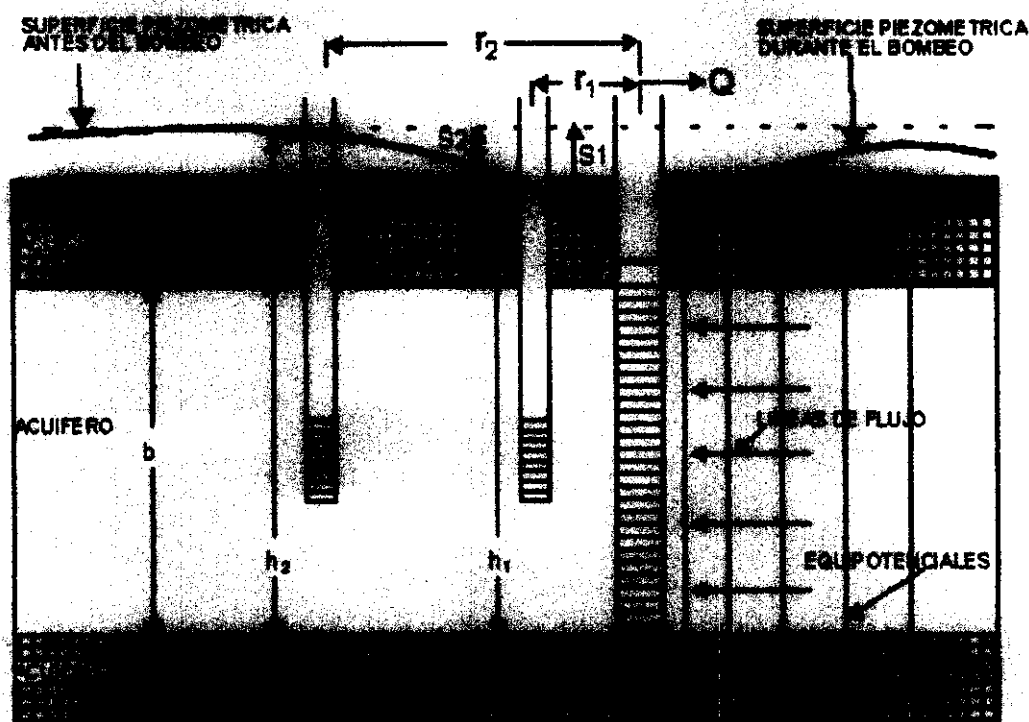


FIGURA No 3

La solución de Cooper & Jacob presupone lo siguiente:

- el acuífero es confinado y su extensión es "aparentemente" infinita.
- El acuífero es homogéneo, isotrópico, de espesura uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- La superficie piezométrica era horizontal antes del bombeo.
- El pozo es esencialmente puntual.
- El agua proviene del almacenamiento es descargada instantáneamente causando un descenso en el nivel.
- El diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.
- Los valores de "u" son pequeños (en general  $u < 0.01$ ).

### Método de Tiempo-Descenso.

La ecuación anterior puede ser trazada como una línea recta en un gráfico semi-logarítmico, si la condición de Jacob es cumplida. Por lo tanto, gráficos de líneas rectas, representando el descenso versus el tiempo pueden ocurrir cuando haya transcurrido el tiempo suficiente.

En las pruebas de bombeo con varios pozos de observación, los pozos más cercanos alcanzarán las condiciones de Jacob antes que aquellos más distantes. El tiempo se traza en el eje x en escala logarítmica y descenso en el eje y lineal.

La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se calculan como sigue:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi \Delta s}$$

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

Los datos necesarios para la solución de Cooper & Jacob (Método Tiempo-Descenso) son:

- datos de almacenamiento versus tiempo en un pozo de observación.
- distancia entre el pozo de bombeo y el pozo de observación.
- Caudal.

### Método de la Distancia-Descenso

En el caso de ciertas condiciones simplíficas de descenso en tres o más pozos de observación, se puede utilizar una modificación del método Cooper & Jacob. La distancia al pozo de observación puede ser trazada en el eje x en la escala logarítmica y el descenso en el eje y.



La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento se calculan como sigue:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi\Delta s}$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}$$

Los datos necesarios para la solución de Cooper & Jacob (Método Distancia-Descenso) son:

- datos sobre el descenso contra Tiempo en tres o más pozos de observación.
- distancia del pozo de bombeo a los pozos de observación.
- caudal del pozo de bombeo.

#### Método de Tiempo-Distancia-Descenso.

Así como en el método de la Distancia-Descenso, si existen condiciones simultáneas de descenso en tres o más pozos de observación, se puede usar una modificación del método de Cooper & Jacob como sigue: se traza el abatimiento en el eje  $y$  y  $t/r^2$  en el eje  $x$  en la escala logarítmica.

La transmisividad y el coeficiente de almacenamiento serán entonces calculados como sigue:

$$T = \frac{2.3 Q}{4\pi\Delta s}$$

$$S = \frac{2.25Tt_0}{r_0^2}$$

Donde  $r_0$  es la distancia definida por la intersección del abatimiento cero y la línea recta que pasa por los puntos de datos.

Los datos necesarios para la solución de Cooper & Jacob:

- datos sobre el descenso contra Tiempo en tres o más pozos de observación.
- distancia del pozo de bombeo a los pozos de observación.
- caudal del pozo de bombeo.

### Prueba de Recuperación de Theis & Jacob (confinado).

En algunos casos, los datos del pozo pueden no estar disponibles por lo que sería necesario calcular las propiedades del acuífero utilizando solamente un pozo de bombeo. Desafortunadamente, el agua que ingresa en un pozo está sujeta a sufrir pérdidas que provocan que el descenso en el pozo sea considerablemente mayor que el descenso en el acuífero inmediatamente al lado del pozo. Por este motivo, el uso de datos de tiempo - descenso puede mermar la transmisividad de la formación. Sin embargo, este problema puede ser solucionado añadiendo la recuperación del nivel del agua en el pozo una vez apagada la bomba.

Después de haber hecho lo anterior se podrán trazar los datos de tiempo - descenso y calcular la transmisividad del acuífero. El abatimiento se traza en el eje  $y$  en la escala logarítmica y el tiempo en el eje  $x$  como la razón de  $t/t'$  (tiempo total desde el inicio del bombeo dividido entre el tiempo desde que terminó el bombeo).

Esta solución está indicada para las condiciones expuestas en el gráfico siguiente, (ver figura No 4).

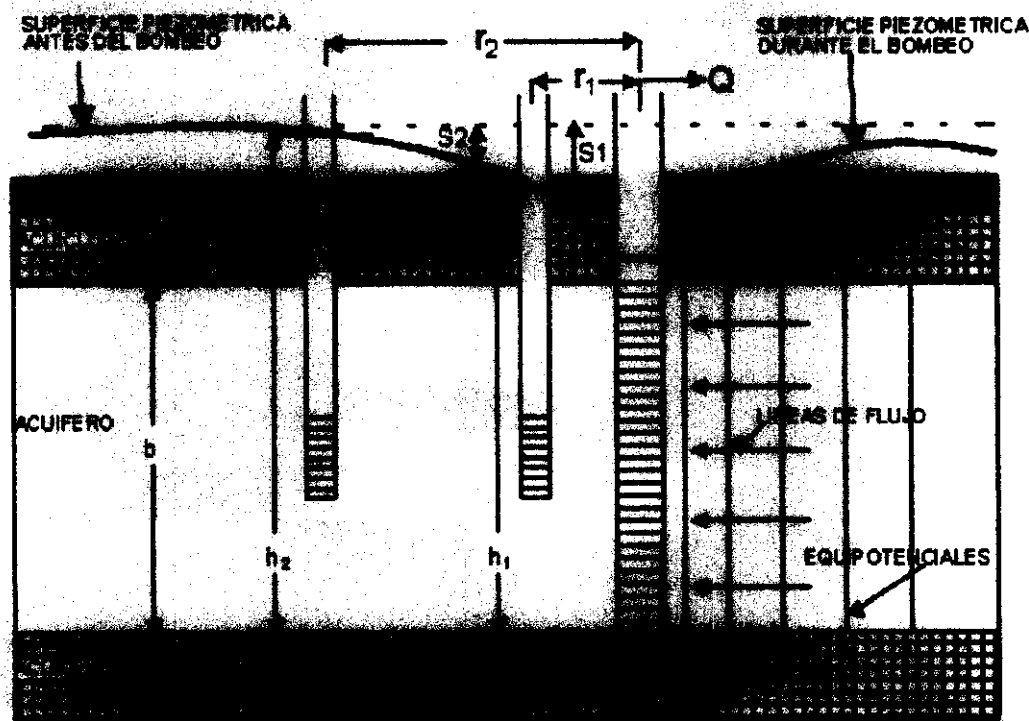


FIGURA No 4

Según Theis (1935), el abatimiento residual después de terminado el bombeo será:

$$S' = \frac{Q}{4\pi T} W(u) - W(u')$$

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

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

donde:

S Y S' son los valores del coeficiente de almacenamiento durante el bombeo y la recuperación respectivamente.

t y t' son el tiempo transcurrido desde el inicio y el final del bombeo respectivamente. (ver figura No 5).

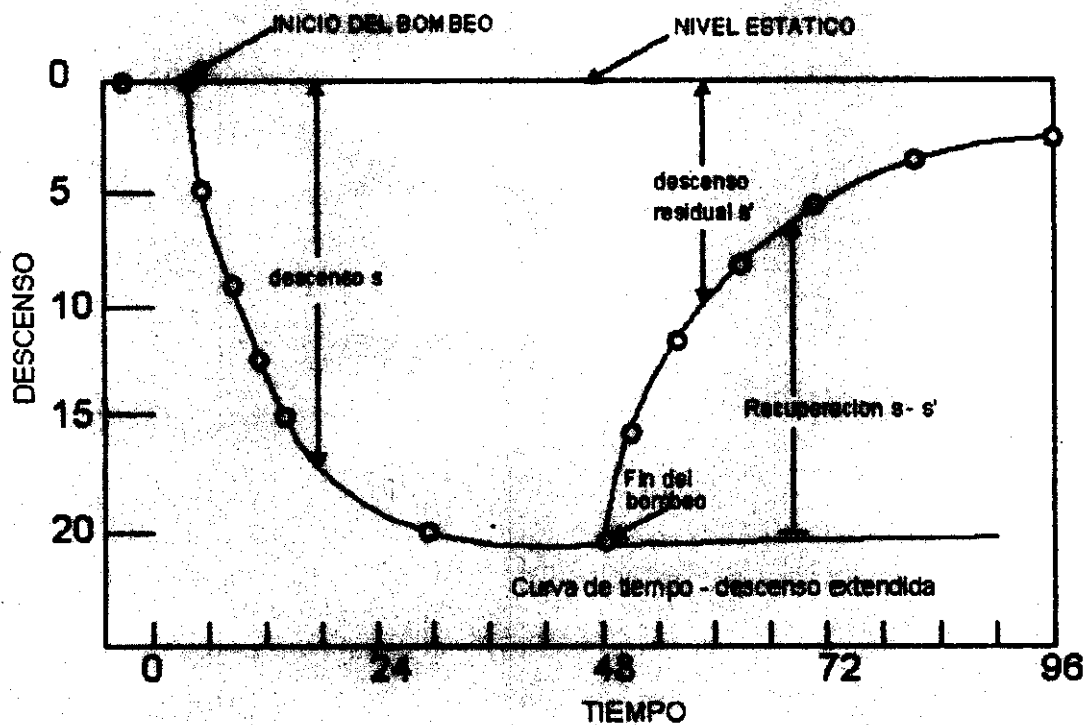


FIGURA No 5

Usando la aproximación para la función - pozo  $W(w)$ , mostrada en el método de Cooper & Jacob, esta ecuación es la siguiente.

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left( \ln \frac{4Tt}{r^2 S} - \ln \frac{4Tt'}{r^2 S'} \right)$$

Cuando  $S$  Y  $S'$  son constantes e iguales y  $T$  es constante, la ecuación puede ser reducida a :

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left( \frac{t}{t'} \right)$$

Al analizar estos datos,  $s'$  será trazado en el eje y en escala logarítmica y el tiempo en el eje lineal  $x$  con la razón  $t/t'$  ( tiempo total desde el inicio del bombeo dividido entre el tiempo a partir del final del bombeo).

La Prueba de Recuperación de Theis & Jacob presupone lo siguiente:

- el acuífero es confinado y tiene una extensión "aparente" infinita.
- el acuífero es homogéneo, isotrópico, de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- la superficie piezométrica era horizontal antes de comenzar el bombeo.
- el pozo es bombeado a una tasa constante.
- el pozo es totalmente penetrante.
- el agua disuelta del almacenamiento es descargada instantáneamente produciendo el descenso de la carga.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.

Los datos necesarios para la relación de recuperación de Theis & Jacob son:

- datos de recuperación contra Tiempo en un pozo de bombeo.
- distancia del pozo al pozo de observación.
- duración del bombeo.

#### Método de Neuman (No confinado).

La extracción de agua a través de un pozo en acuífero no confinado ejerce por dos mecanismos. Como sucede con los acuíferos confinados, el descenso de presión en el acuífero produce agua proveniente del almacenamiento elástico ( expansión del agua y compactación del acuífero). En adición, en condiciones no confinadas, el nivel freático decreciente también produce agua proveniente del drenaje de los sedimentos ocasionado por la gravedad.

Esta solución es indicada para las condiciones mostradas en gráfico que se muestra a continuación, (ver figura No 6).

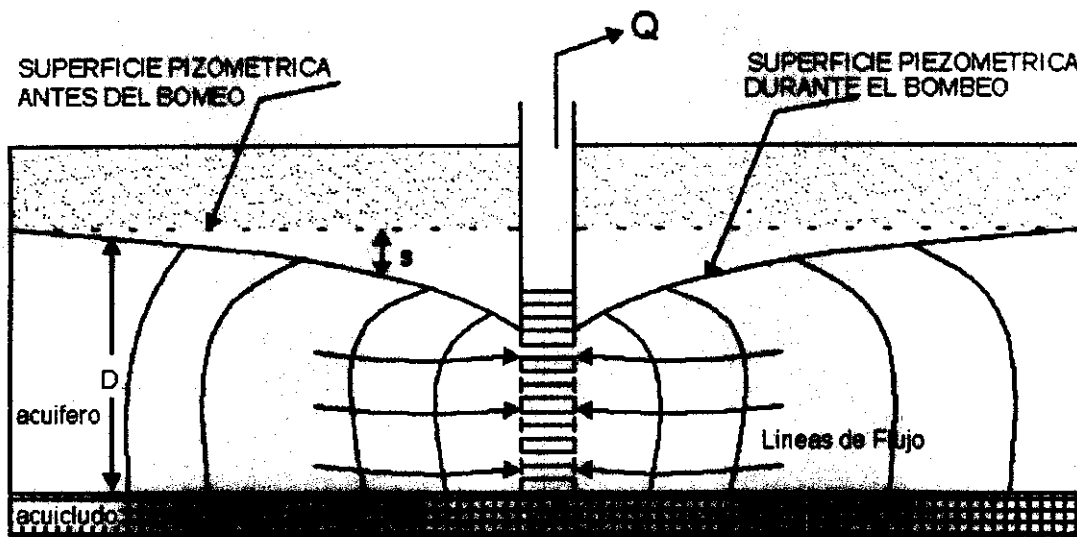


FIGURA No 6

La ecuación desarrollada por Neuman (1975), representando el descenso en un acuífero no confinado es:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(uA, uB, \beta)$$

donde :

$W(uA, uB, \eta)$  es conocida como la función - pozo no confinado.

$uA = r^2S / 4Tt$  (Curva Tipo A para datos iniciales)

$uB = r^2Sy / 4Tt$  (Curva Tipo B para datos finales)

$\beta = r^2Kv / D^2Kh$

Son utilizados dos grupos de curvas. Es recomendable utilizar las curvas Tipo A para los datos de abatimiento inicial cuando el agua proviene del almacenamiento elástico, como con la curva de Theis.

Por otro lado, las curvas tipo B son recomendables para los datos de descenso tardío cuando los efectos del drenaje ocasionado por la gravedad son más significativos. Las dos porciones de las curvas tipo son ilustradas a continuación, (ver figura No 7).

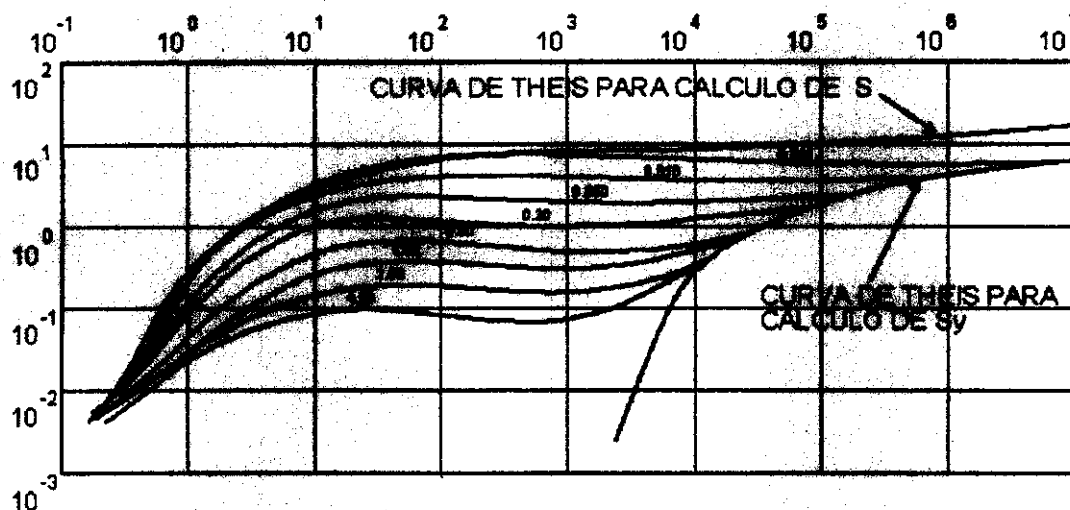


FIGURA No 7

El valor de la conductividad hidráulica horizontal será determinado por :

$$K_h = \frac{T}{D}$$

Y el valor de la conductividad hidráulica vertical lo será por:

$$K_v = \frac{\beta D^2 K_h}{r^2}$$

La solución de Neuman presupone lo siguiente:

- el acuífero es no confinado y "aparentemente" infinito.
- el acuífero es homogéneo, isotrópico, de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo (se asume que el almacenamiento es pequeño comparado con el espesor saturado).
- la superficie piezométrica era horizontal antes del bombeo.
- el pozo es bombeado a una tasa constante.
- el flujo es transitorio.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.
- el pozo es totalmente penetrante en el acuífero.

Los datos necesarios para la solución de Neuman son :

- datos de abatimiento versus Tiempo en un pozo de observación.
- distancia del pozo de bombeo al pozo de observación.
- caudal del pozo de bombeo.

Método de Hantush (acuifero semi-confinado sin almacenamiento en acuitardo).

La mayoría de los acuíferos no están totalmente aislados de las fuentes de recarga vertical. Las capas menos permeables, estén éstas encima o debajo del acuífero, pueden drenar agua durante las condiciones de bombeo. La ecuación de flujo para un acuífero semi-confinado será la que se presenta a continuación, (ver figura No 8).

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} - \frac{hK'}{Tb'} = \frac{S\partial h}{T\partial t}$$

donde :

K' es la conductividad hidráulica vertical del acuitado  
b' es el espesor del acuitado

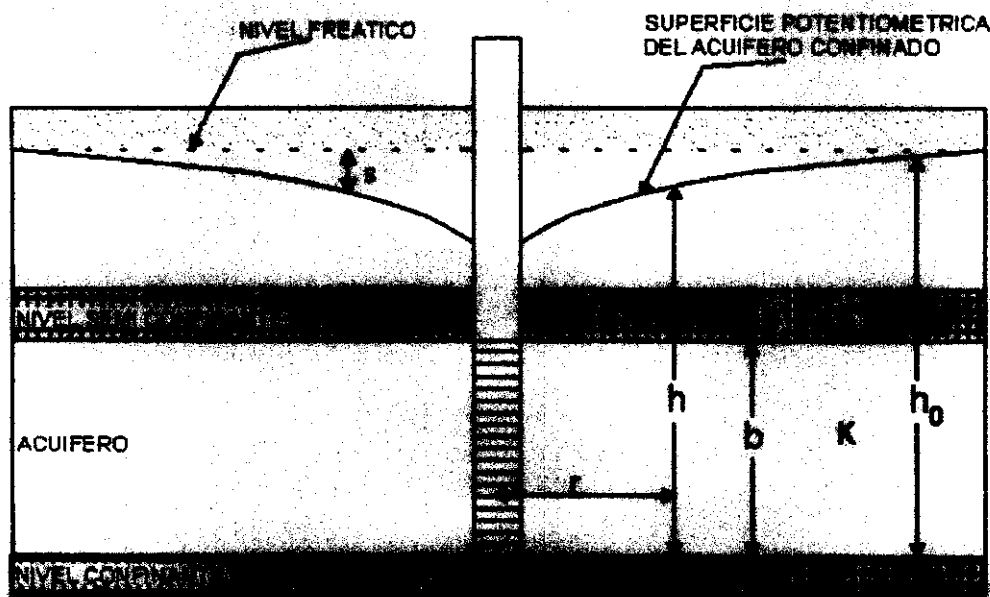


FIGURA No 8

La solución de Hantush & Jacob (1955), para la ecuación anterior será:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \frac{r}{L})$$

donde:

$$u = \frac{r^2 S}{4\pi T}$$

El trazado en escala logarítmica de  $W(u, r/L)$  en el eje  $y$  versus  $1/u$  en el eje  $x$  es utilizada como curva tipo, tal como es el método de Theis. Las mediciones de campo se trazan como  $t$  en el eje  $x$  y  $S$  en el eje  $y$ . La evaluación de los datos será realizada haciendo coincidir las curvas.

La solución de Hantush & Jacob presume lo siguiente:

- el acuífero es semi-confinado y "aparentemente" infinito.
- el acuífero y la capa confinante son homogéneos, isotrópicos y de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- la superficie piezométrica era horizontal antes del bombeo.
- el pozo es bombeado a una tasa constante.
- el pozo es totalmente penetrante.
- el agua derivada del almacenamiento es descargada instantáneamente ocasionando el descenso de la carga.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.
- el drenaje a través de la capa confinante es vertical y proporcional al abatimiento.
- la carga del acuífero no bombeado permanece constante.
- el almacenamiento en la capa confinante es mínimo.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su capacidad de almacenamiento es despreciable.

Los datos necesarios para la solución de Hantush (sin almacenamiento en acuífero) son:

- datos de abatimiento contra tiempo en un pozo de observación.
- distancia del pozo de bombeo al pozo de observación.
- caudal del pozo de bombeo.



### Prueba de Eficiencia del Pozo (Determinación de la Capacidad Específica).

El propósito de la prueba de eficiencia del pozo es evaluar la productividad del mismo, expresada en términos de la capacidad específica,  $C_s$ . La capacidad específica se define como  $C_s = Q/\Delta h_w$  donde  $Q$  es el caudal y  $\Delta h_w$  es el abatimiento en el pozo debido tanto al abatimiento del acuífero como a pérdidas en el pozo. Las pérdidas en el pozo son originadas por el flujo turbulento del agua al pasar por la rejilla del pozo en dirección a la entrada de la bomba.

Calculamos la capacidad específica al trazar la descarga en el eje  $x$  y el abatimiento en el eje  $y$  para luego medir la pendiente de la recta ajustada.

Según la solución de la Eficiencia del Pozo asumimos lo siguiente:

- el pozo es bombeado a una tasa constante, lo necesariamente prolongada para establecer el abatimiento de equilibrio.
- el abatimiento en el pozo es una combinación del descenso de la carga hidráulica (presión) en el acuífero y una pérdida de presión debida al flujo turbulento dentro del pozo.

La información necesaria para la prueba de eficiencia del pozo es:

- abatimiento contra datos de caudal en el pozo de bombeo.

### Prueba Tipo Slug de Bouwer & Rice (acuífero no confinado o semi-confinado, penetración total o parcial).

La prueba tipo slug de Bouwer y Rice (1976) está diseñada para calcular la conductividad hidráulica del material del acuífero que se encuentra alrededor de la rejilla de un piezómetro. Durante una prueba tipo slug, un cilindro macizo normalmente hecho de PVC (denominado "slug"), es colocado en el piezómetro lo que provoca instantáneamente un aumento del nivel de agua en el mismo.

Esta prueba también puede ser lleva a cabo en sentido opuesto, es decir, retirando instantáneamente el "slug" o volumen de agua (prueba tipo bail).

Esta solución es adecuada para las condiciones del gráfico que se muestra a continuación, (ver figura No 9).

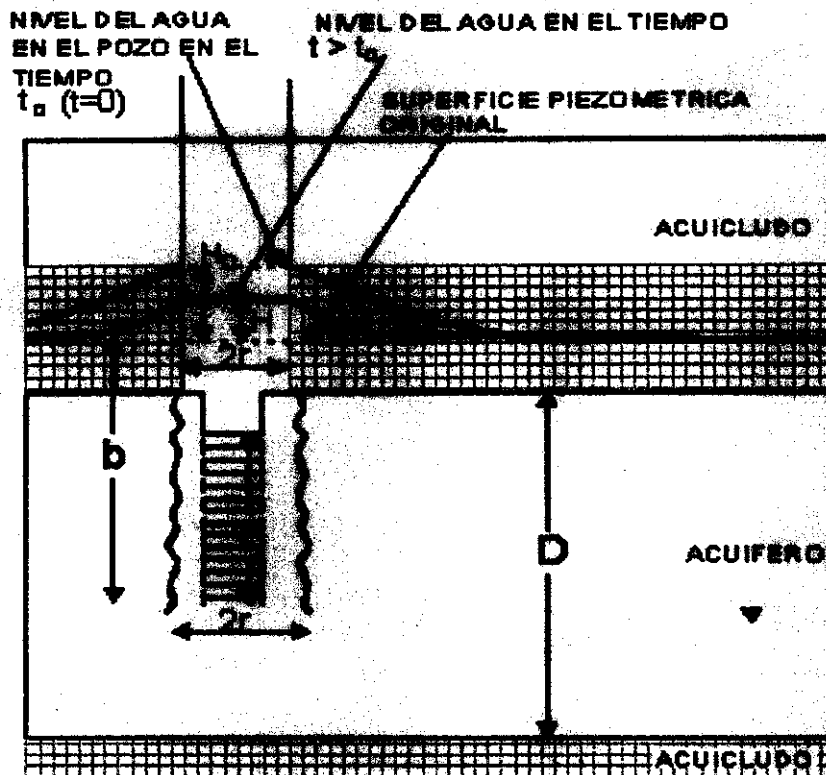


FIGURA No 9

Bouwer y Rice (1976) desarrollaron una ecuación para calcular la conductividad hidráulica:

$$K = \frac{r^2 \ln(R_{cont} / R)}{2L} \frac{1}{t} \ln(H/H_0)$$

donde:

$r$  = radio del piezómetro.

$R$  = radio medido desde el centro del pozo al punto del nivel de agua no afectado.

$R_{cont}$  = distancia radial contribuyente sobre la cual la diferencia de carga,  $h_0$  se disipa en el acuífero.

$L$  = largo de la rejilla.

$b$  = altura de la columna de agua estática en el pozo.

$D$  = espesor saturado del acuífero.

$H_0$  = desplazamiento inicial.

$H$  = desplazamiento como función del tiempo.

Ya que raras veces sabremos a priori cuál es el radio contribuyente de un acuífero, Bouwer y Rice propusieron algunas curvas empíricas para determinar dicho radio utilizando tres coeficientes (A, B, C.) que representan todas las funciones de la razón  $L/R$ . Los coeficientes A y B son utilizados para pozos de penetración parcial, mientras que el coeficiente C, es usado exclusivamente para pozos de penetración total.

Los datos son trazados junto con el tiempo en el eje  $x$  en escala logarítmica y  $h_t/h_0$  en el eje  $y$ .

El radio efectivo del piezómetro,  $r$ , debe ser especificado como el radio del piezómetro a menos que el nivel del agua disminuya en la parte del acuífero con rejillas durante la prueba tipo slug, (ver figura No 10).

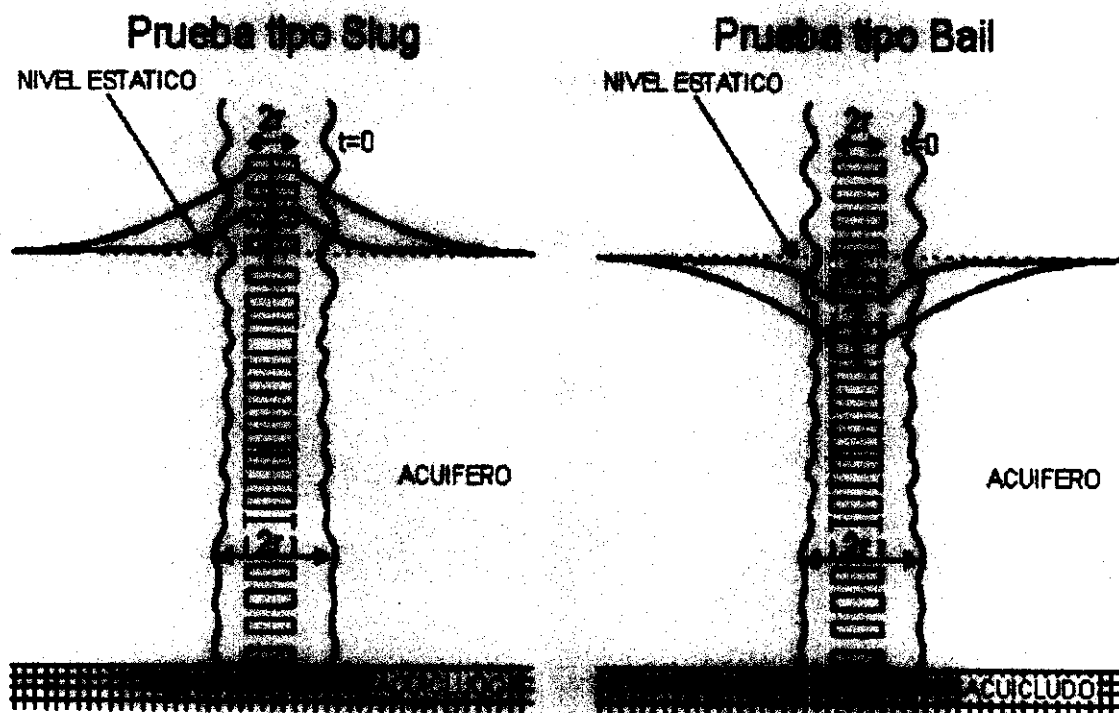


FIGURA No 10

En este caso, el radio efectivo será calculado como sigue:

$$r_{\text{eff}} = (r^2 (1 - n) + nR^2)^{1/2}$$

donde :  $n$  es la porosidad

En los casos en que el nivel del agua cae dentro del intervalo con rejillas, el trazado de  $H/H_0$  contra  $t$  generalmente dará como resultado un gráfico que parece tener una inclinación inicial más pronunciada y otra menor al final. En este caso, el ensayo deberá ser realizado para la segunda porción de la línea recta (Bower, 1989).

Asumimos las siguientes premisas:

- acuífero no confinado de extensión "aparentemente" infinita.
- acuífero homogéneo, isotrópico de espesor uniforme.
- nivel freático horizontal antes de la prueba.
- mudanza instantánea en la carga.
- la inercia de la columna de agua así como las pérdidas del pozo no lineales son mínimas.
- Pozo total o parcialmente penetrante.
- el almacenamiento en el pozo no es despreciable por lo que es tomado en cuenta.
- el flujo hacia el pozo ocurre en régimen permanente.

Los datos necesarios para la solución de Bouwer & Rice son :

- datos de abatimiento / recuperación contra tiempo en un pozo de observación.
- Las observaciones iniciales en el instante cero en aducción (el valor registrado en  $t = 0$  será usado por Aquifer Test como el valor de desplazamiento inicial,  $H_0$  por lo que no podrá ser un valor cero).

Prueba Tipo Slug / Bail de Hantushy (acuífero confinado / no confinado, penetración total o parcial).

La prueba tipo slug / bail de Liverlev (1951) está diseñada para calcular la conductividad hidráulica del material del acuífero alrededor de la rejilla de un piezómetro. Durante una prueba tipo slug, un cilindro macizo, normalmente hecho de PVC, "slug", es colocado en el piezómetro ocasionando un aumento instantáneo del nivel del agua en el mismo. Mientras que durante una prueba tipo bail, utilizando una cuchara con válvula de pie, el agua es instantáneamente retirada disminuyendo el nivel del agua en el piezómetro.

La tasa de flujo entrando o saliendo,  $q$ , por la extremidad del piezómetro a cualquier tiempo  $t$  es proporcional a la  $K$  del suelo y la diferencia de carga no recuperada.

$$q(t) = \pi r^2 \frac{dh}{dt} = FK(H - h)$$

La figura siguiente ilustra el principio de funcionamiento de una prueba tipo slug, (ver figura No 11).

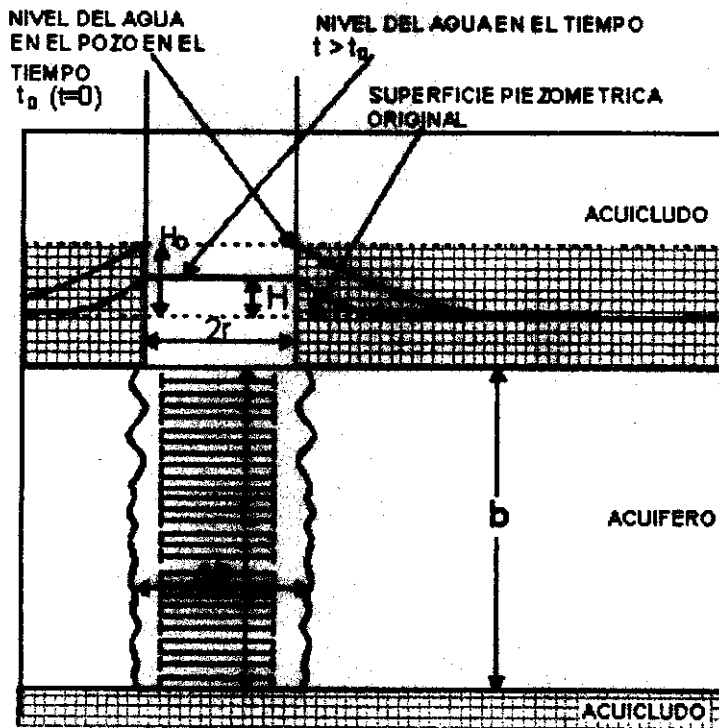


FIGURA No 11

Hvorslev define el intervalo de tiempo de equalización, *time lag*,  $T_L$  (el tiempo necesario para que la inyección / extracción inicial se disipe, considerando una tasa de flujo constante) como :

$$T_L = \frac{\pi r^2}{FK}$$

donde:

$r$  es el radio efectivo del piezómetro.

$F$  es un factor de forma que depende de las dimensiones de la sección filtrante del piezómetro.

$K$  es la conductividad hidráulica global dentro del radio de influencia.

Al subsistir el intervalo de tiempo de equalización en la ecuación inicial obtendremos.

$$K = \frac{\pi r^2 (\ln H / H_0)}{Ft}$$

donde:

H es el desplazamiento en función del tiempo.

$H_0$  es el desplazamiento inicial.

Los datos de campo son trazados en gráficos conteniendo valores de tiempo en el eje x, y los de  $\log H/H_0$  en el eje y. El valor de tiempo que corresponde a  $H/H_0 = 0.37$  es el  $T_L$  y K es calculada por la ecuación anterior.

Hvorslev calculó F para los piezómetros más comunes, en los cuales el largo de la sección filtrante es mayor que ocho veces el radio de la rejilla y llegó a la siguiente solución general para K.

$$K = \frac{r^2 \ln(L/R)}{2LT_L}$$

donde:

L es el largo de la rejilla.

R es el radio del pozo incluyendo el pre-filtro.

$T_L$  es el intervalo de tiempo de estabilización cuando  $H/H_0 = 0.37$

El radio efectivo del piezómetro, r, debe ser especificado como el radio de piezómetro, a menos que el nivel de agua esté dentro de la rejilla durante la prueba tipo slug, tal como indica las figuras siguientes, ( ver figura No 12).

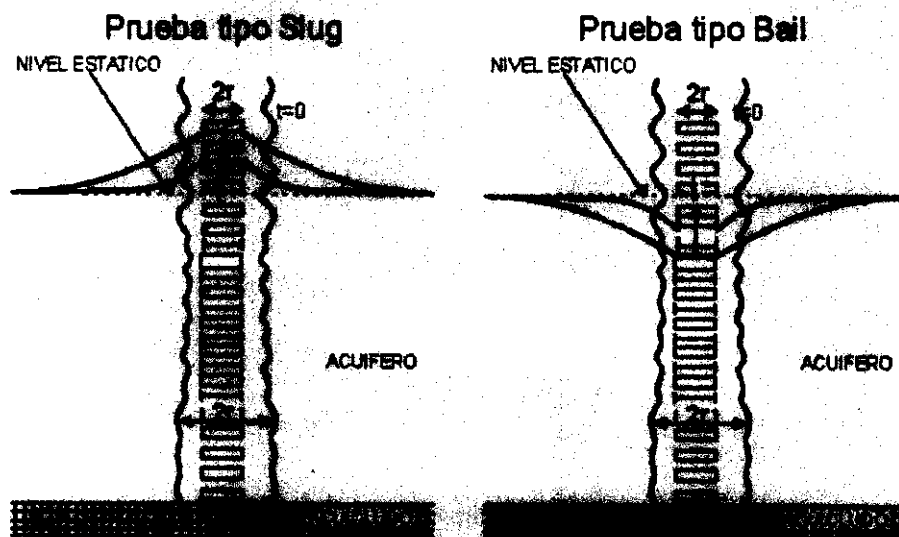


FIGURA No 12

En este caso, el radio efectivo puede ser calculado como sigue:

$$r_{eff} = (r^2(1-n) + nR^2)^{1/2}$$

donde  $n$  es la porosidad.

En los casos en que el nivel del agua cae dentro del intervalo con rejillas, el trazado de  $H/H_0$  contra  $t$  generalmente dará como resultado un gráfico que parece tener una inclinación inicial más pronunciada y más menor al final. En este caso, el ajuste deberá ser realizado para la segunda porción de la línea recta (Bower, 1989).

Las premisas para la solución de Hvorslev son las siguientes:

- acuífero confinado "aproximadamente" infinito.
- acuífero homogéneo, isotrópico o anisotrópico de espesor uniforme.
- el nivel freático es horizontal antes de la prueba.
- la adición o extracción instantánea de un volumen de agua provoca una variación instantánea de la carga.
- la inercia de la columna de agua y las pérdidas de pozo no lineales son despreciables.
- pozo total o parcialmente penetrante.
- consideramos que el pozo tenga un ancho infinitesimal.
- el flujo es horizontal hacia y desde el pozo.

Los datos necesarios para la solución de Hvorslev son :

- datos de abatimiento/recuperación contra tiempo en un pozo de bombeo.
- las observaciones iniciadas a partir del tiempo cero en adelante (la observación en el valor  $t = 0$  será considerada como el valor de desplazamiento inicial,  $H_0$ , por lo que no podrá ser un valor cero).

### Prueba a Caudal Variable de Cooper & Jacob.

El Acuífero Test facilita el uso de datos relativos al nivel de agua contra tiempo registrados durante un caudal variable o una prueba de bombeo instantánea para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Utilizamos una transformación del tiempo, similar a aquella desarrollada por Hantush y Jacobson (1960), para conseguir un conjunto de datos coherentes. Esta solución es adecuada para las condiciones mostradas en la figura siguiente, (ver figura No13).

Aplicamos el principio de superposición a la expresión de Cooper y Jacob referente al flujo en un acuífero confinado con el propósito de llegar una expresión del abatimiento en el tiempo  $t$  del período de bombeo tal como de una prueba de bombeo de caudal variable, como sigue:

$$\frac{S}{Q_n} = \frac{2.3}{4\pi t} \log \left( \frac{2.25 T}{r^2 S} \right) \beta_{t(n)} (t - t_n)$$

donde generalizando:

$$\beta_{t(n)} = \Pi^{n-1} \left( \frac{t - t_i}{t - t'_i} \right)^{Q_i/Q_n}$$

donde:

- $t_i$  = tiempo inicial del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t - t_i$  = tiempo desde el inicio del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t'_i$  = tiempo final del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t - t'_i$  = tiempo desde el final del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $Q_i$  = caudal constante del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $\beta_{t(n)}(t - t_n)$  = tiempo ajustado.

En el caso específico donde existe un bombeo continuo pero con caudal variable, el "tiempo ajustado" será:

$$\beta_{t(n)} (t - t_n) = \Pi^n (t - t_i)^{Q_i/Q_n}$$

y en el caso específico donde existe el caudal siempre será igual pero la bomba se apaga intermitentemente, el "tiempo ajustado" será:

$$\beta_{t(n)} (t - t_n) = \Pi^{n-1} \left( \frac{t}{t'_i} \right) t_n$$

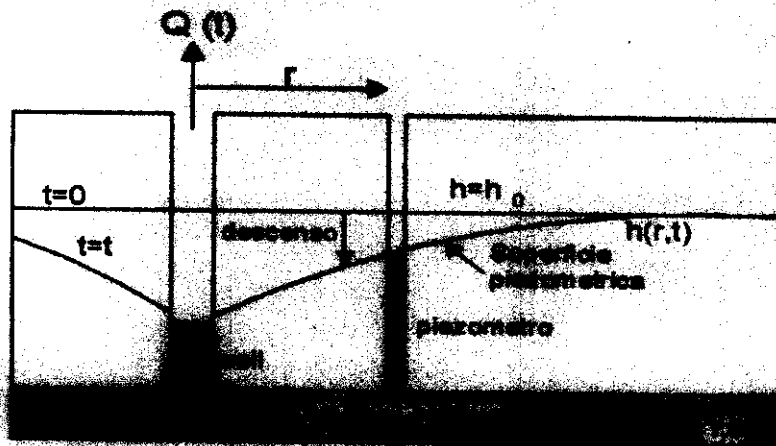


FIGURA No 13



La solución de Cooper & Jacob, a caudal variable presupone lo siguiente:

- el acuífero es confinado y "aparentemente" infinito.
- el acuífero es homogéneo, isotrópico y de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- la superficie piezométrica era horizontal antes del bombeo.
- el pozo es bombeado en tasas escalonadas o intermitentes de forma variable, o es bombeado intermitentemente a tasas constantes.
- el pozo es totalmente penetrante.
- el agua desplazada del almacenamiento es descargada instantáneamente con un descenso de la carga hidráulica.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que el almacenamiento del mismo es despreciable.
- los valores de  $u$  (con el "tiempo ajustado") son pequeños (generalmente  $u < 0.01$  )
- el flujo hacia el pozo ocurre en régimen no permanente.

Los datos necesarios para la solución de la prueba a caudal variable de Cooper & Jacob son:

- datos de abatimiento contra tiempo en un pozo de observación.
- distancia del pozo de bombeo al pozo de observación.
- caudal variable.

#### Prueba a Caudal Variable de Theis (Confinado).

Tal como ya mostramos en este mismo capítulo, Theis (1935) resolvió la ecuación para el flujo de agua subterránea en estado no permanente. Para el caso de un caudal variable, el Aquifer Test, facilita el uso de datos relativos al nivel de agua contra tiempo, registrados durante un caudal variable o una prueba de bombeo intermitente para determinar la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Utilizaremos una transformación del tiempo, similar a aquella desarrollada por Birsoy y Summers (1980), para conseguir un conjunto de datos congruentes. Esta solución es adecuada para condiciones mostradas a continuación, (ver figura No 14).

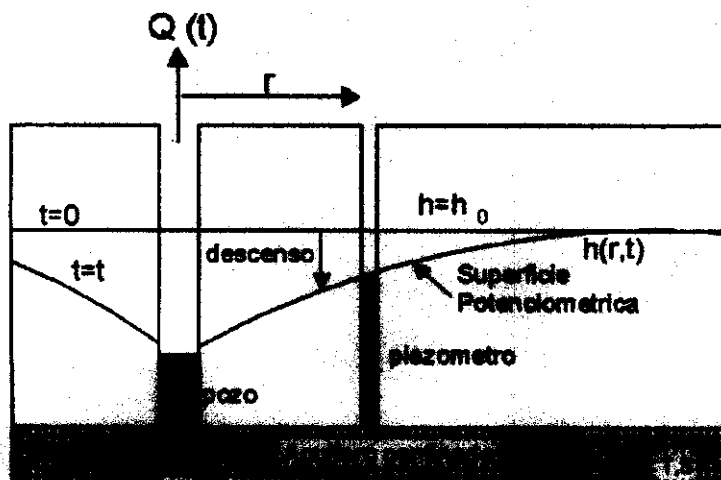


FIGURA No 14

Aplicamos el principio de superposición a la expresión de Cooper y Jacob referente al flujo no permanente en un acuífero confinado con el propósito de llegar a una expresión del abatimiento en el tiempo  $t$  del periodo de bombeo  $i$ -ésimo de una prueba de bombeo de caudal variable, como sigue:

$$U = \frac{r^2 S}{4T \beta t(n)(t-t_n)} = W(u) \text{ además:}$$

$$\beta t(n) = \Pi^{n-1} \left( \frac{t-t_i}{t-t'_i} \right)^{Q_i/Q_n}$$

donde:

- $t_i$  = tiempo inicial del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t - t_i$  = tiempo desde el inicio del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t'_i$  = tiempo final del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $t - t'_i$  = tiempo desde el final del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $Q_i$  = caudal constante del periodo de bombeo  $i$ -ésimo.
- $\beta t(n)(t-t_n)$  = tiempo ajustado.

En el caso específico donde existe un bombeo continuo pero con caudal variable, el "tiempo ajustado" será:

$$\beta t(n)(t-t_n) = \Pi^n (t-t_i)^{Q_i/Q_n}$$

y en el caso de bombeo a pulsos donde el caudal siempre será igual pero la bomba se apaga intermitentemente, el "tiempo ajustado" será:

$$\beta t(n)(t-t_n) = \Pi^{n-1} \left( \frac{t}{t'_i} \right) t_n$$

La solución de Cooper & Jacob, a caudal variable presupone lo siguiente:

- el acuífero es confinado y "aparentemente" infinito.
- el acuífero es homogéneo, isotrópico y de espesor uniforme en el área influenciada por el bombeo.
- la superficie piezométrica era horizontal antes del bombeo.
- el pozo es bombeado a un caudal variable.
- el pozo es totalmente penetrante.
- el agua distante del almacenamiento es descargada instantáneamente con una caída en la carga hidráulica.
- el diámetro del pozo es reducido por lo que su almacenamiento es mínimo.

Los datos necesarios para la solución de la prueba a caudal variable de Theis son:

- datos del nivel de agua contra tiempo de un pozo de observación a una distancia finita del pozo de bombeo.
- datos de tasa de descarga variable contra tiempo.

#### Corrección de Jacob para Condiciones de no Confinamiento.

Jacob (1944) propuso la siguiente corrección referente al abatimiento con el propósito de aproximar las condiciones de no confinamiento.

$$S_{cor} = s - (s^2 / 2D)$$

Donde:

$S_{cor}$  = el abatimiento corregido.

$s$  = abatimiento medido.

$d$  = espesor saturado original del acuífero.

Esta corrección permite que el usuario utilice las soluciones de las pruebas de Theis, Cooper & Jacob, recuperación de Theis-Jacob, y la de caudal variable para analizar los datos de las pruebas de bombeo registrados en un acuífero no confinado.

### 6.3 Guía de usuario.

Aquifer Test para Windows es un programa eficiente para evaluar pruebas de bombeo a caudal constante o variable. Su fácil manejo permite calcular de manera sencilla y en forma gráfica la transmisibilidad, conductividad hidráulica y las propiedades de almacenamiento de diferentes tipos de acuíferos. El uso de esta herramienta permitirá que soluciones prácticas, simplificadas y rápidas a diversos problemas.

Los alcances de esta guía del usuario contempla básicamente los objetivos contenidos en los programas de estudio, siendo importante que el alumno se lea, estudie, consulte, de manera personal y con espíritu de investigación todos los alcances y ventajas del programa Aquifer Test para la solución a diferentes problemas relacionados con el estudio de la hidrogeología.

Aquifer Test puede utilizarse tanto para caudal constante como variable, sólo lo utilizaremos para el primer caso.

De los diferentes métodos que se cuentan para pruebas de bombeo, en el programa Aquifer Test nos remitiremos a los que se refieren a caudal constante, tomando en cuenta las diversas condiciones geológicas constantes. Así, se describirán los pasos en las soluciones de problemas por el método de Theis (confinado), Jacob (confinado), Neuman (libre) y Hantush (semiconfinado).

El Aquifer Test cuenta con una herramienta llamada "ayuda online", la cual podrá usarse en la mayoría de las ventanas.

Para iniciar, presiones el icono de Aquifer Test en dos ocasiones para tener acceso al menú del paquete.

La pantalla que se presenta es típica de un programa basado en Windows. Las opciones de que se disponen son las siguientes:

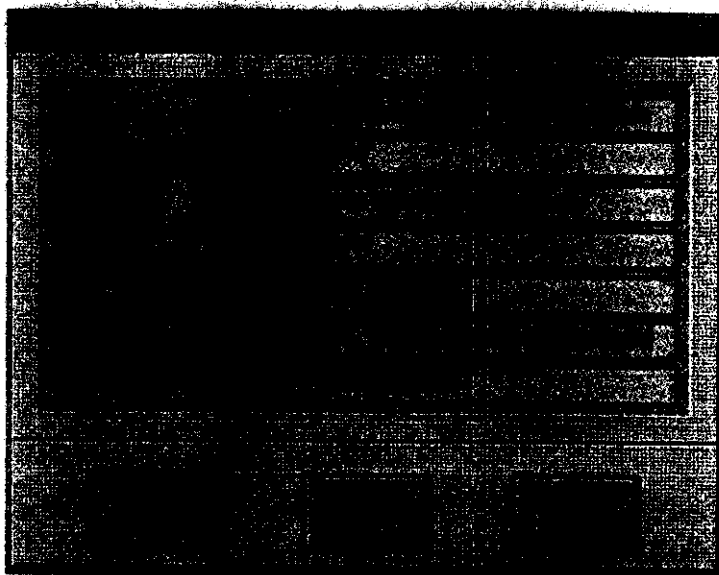


- File – Crea, abre, graba, imprime o determina preferencias del documento o bien sale del programa.
- Edit – Copiar y pegar datos y gráficos.
- View – Aumenta o disminuye el contenido de la pantalla.
- Pumping test – Pruebas de bombeo y modificación de las unidades numéricas utilizadas.
- Data – Crea, edita, borra o importa datos.
- Method – Selecciona el método de evaluación.
- Window – Ordena las ventanas e iconos.
- Help – Ayuda.

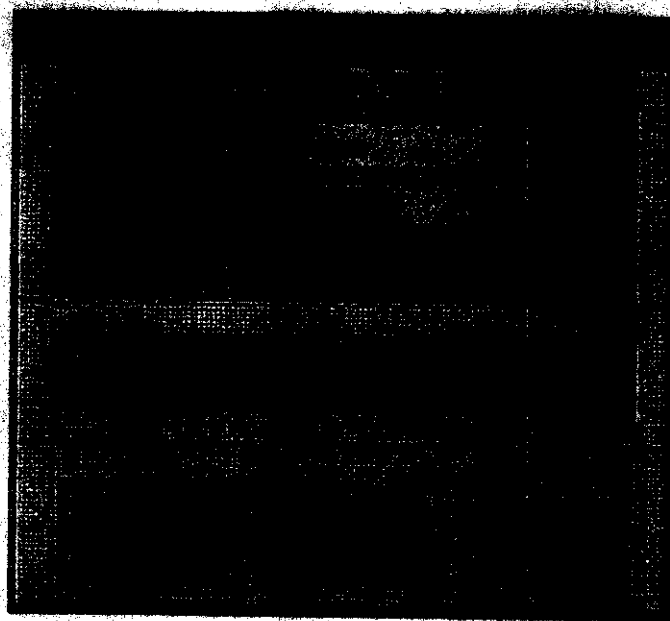
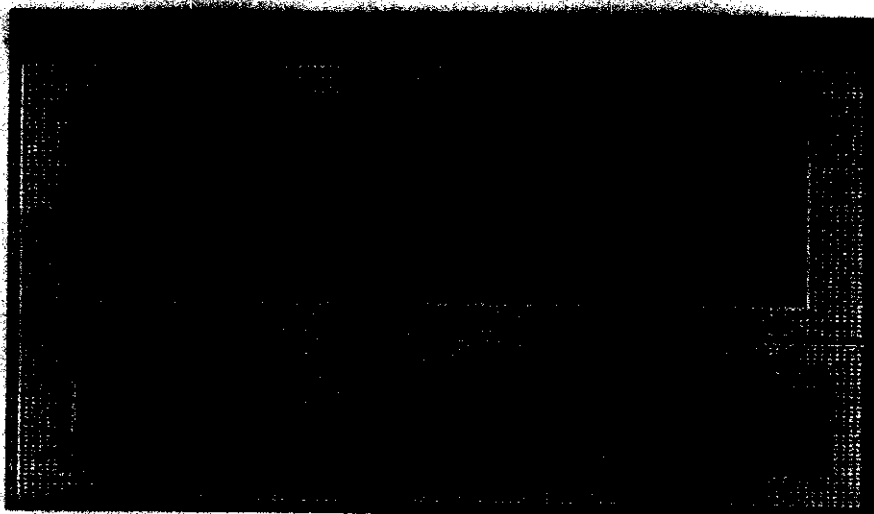
**Evaluación método de Theis (prueba de bombeo de un acuífero confinado).**

Desarrollo hacer clic en :

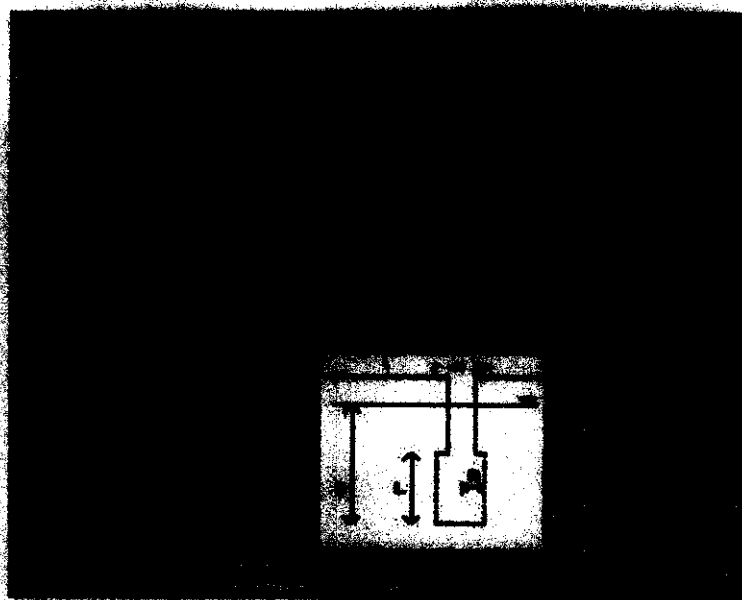
- (1)  en File.
- (2)  en New.
- (3)  ha aparecido la ventana con el gráfico "Tiempo – Abatimiento con descarga", debe maximizarla.
- (4)  en "Pumping Test".
- (5)  sobre "Title Block".
- (6)  llene el cuadro con los datos que identifican al pozo.
- (7)  en "OK".



- (8)  sobre "Pumping Test" y después en "Select Units".
- (9)  en cada uno de los parámetros distancia, tiempo y descarga selecciona las siguientes unidades, metros, segundos y metros cúbicos sobre segundo.
- (10)  en "OK".
- (11)  seleccione "Data" y después en "Create", en el cuadro de diálogo que aparecerá, escoja la opción Water level vs Time, ya que iniciaremos ingresando datos de este tipo.



- (12)  en "OK", aparecerá otro cuadro titulado "Well - Options" el cual deberá llenarse como se muestra en la figura. Vuelva a seleccionar "OK".

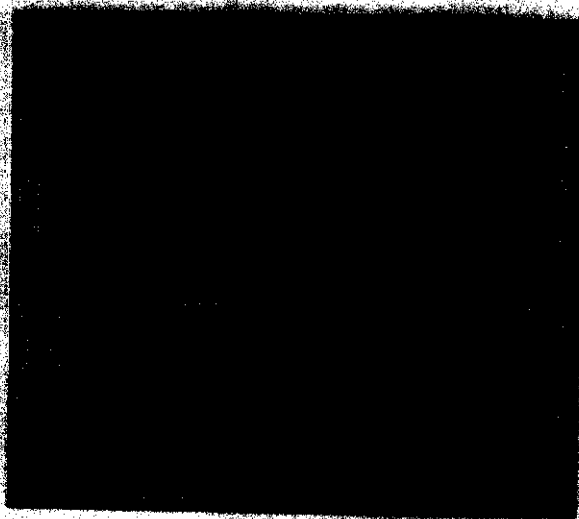
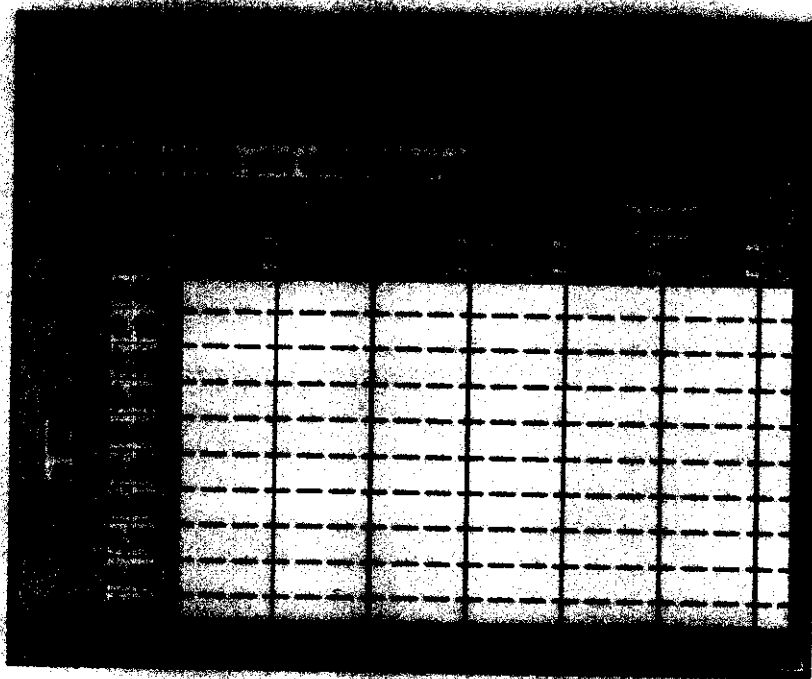


- (13) en este momento aparece una ventana denominada "Edit Data", que debemos llenar con los datos de la prueba de bomba (presiones - enter - después de cada valor de tiempo o de nivel de agua para incorporar el valor a la lista.

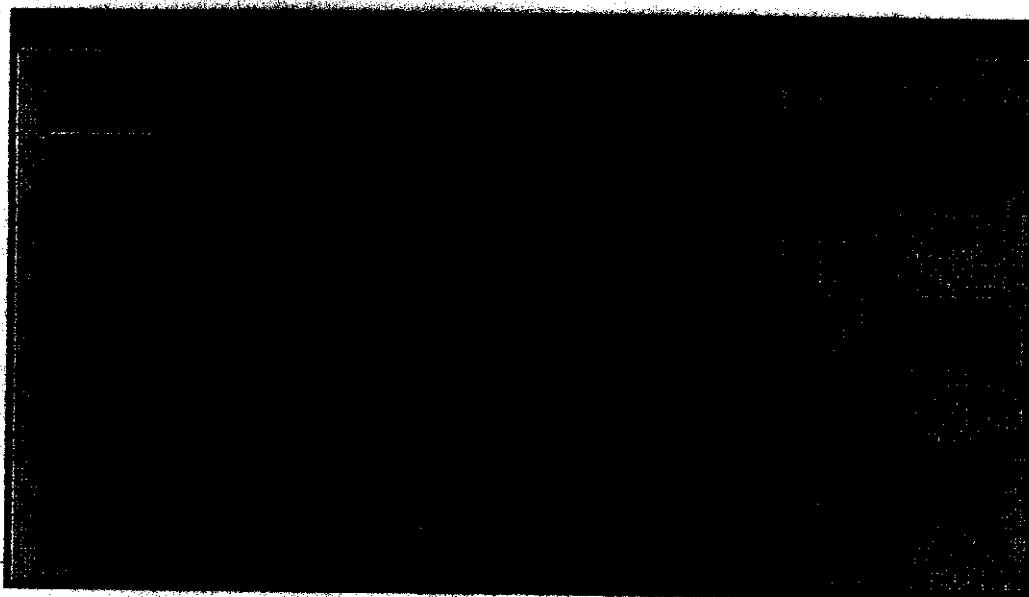


- (14) una vez que termino de introducir todos los datos presiones - enter -  
 (15) antes de concluir es importante darle un "vistazo" al gráfico que se construye con los puntos introducidos anteriormente, esto se logra dando un clic a la "bombilla de luz", con esto se visualiza la curva de almacenamiento vs tiempo, se puede observar que uno de los puntos se despareja según la tendencia general por lo que se considera incorrecto, para poder corregirlo se da un doble clic sobre el punto, lo que nos regresa a la ventana "Edit Data", posicionándonos en el punto erróneo hacemos clic en "Delete" con lo que la lista queda actualizada.

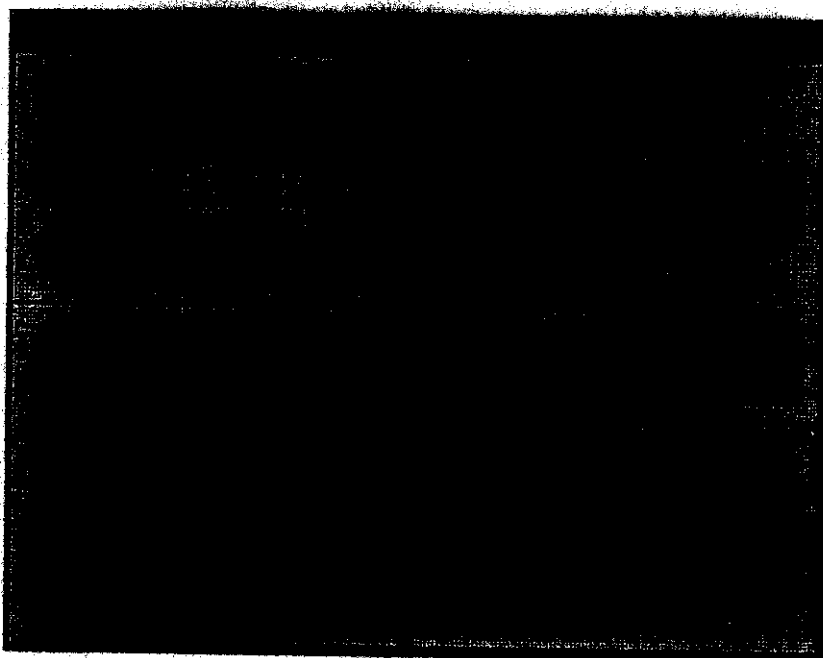
- (16)  en "Method" (para introducir el caudal).
- (17)  en "Select" verifique que se encuentre seleccionado "Time / Drawdown with discharge" OK.
- (18)  en "Data" y después en "Create", donde aparecerá la ventana "Create new Data" (seleccionar "Discharge vs Time", OK).
- (19) aparece un cuadro titulado "Discharge vs Time", el cual deberá llenar como se muestra en la figura, teniendo en cuenta que el caudal es de 1.5 m<sup>3</sup> / seg OK.
- (20) aparecerá otra ventana titulada "Edit Data", la cual para la inserción de tiempo y descarga, se muestra en forma de lista ya que cuando se trabaja con caudales variables se requiere más de un dato OK.

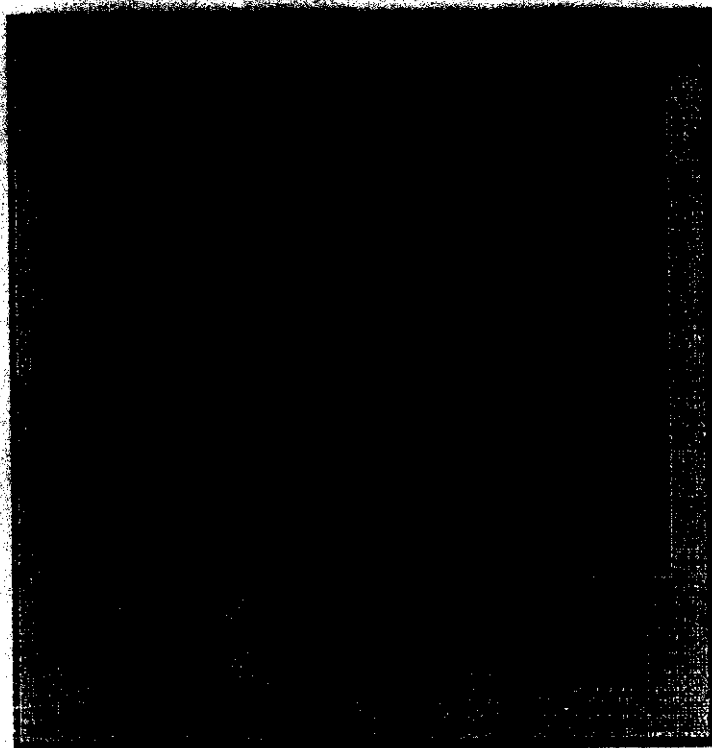






- (21) en "Method" se abrirá una ventana (Select analysis method), donde podemos seleccionar el método para el análisis (escoja "Theis"). OK. Aparece entonces los puntos del problema que debe sobreponer a la curva de Theis, el grado de certeza en el ajuste depende en gran medida del criterio profesional del usuario. Se puede utilizar la herramienta "Zoom In" o "Zoom Out" para un ajuste mejor de las curvas, esta herramienta se encuentra en "View" del menú de cinta. En la parte inferior se encuentran los resultados de Transmisividad y Coeficiente de almacenamiento. El resultado a que debe llegar debe ser semejante.





- (22) en "File" y después en "Save As" con el fin de guardar su trabajo.
- (23) en el icono de "Display Mode" para poder observar lo que se va a imprimir (gráfico).
- (24) en el icono "Página Siguiente" para poder ver una tabla conteniendo los datos ingresados.

Con esto termina el ejercicio.

Para salir del Analizer Test haga clic en "File" y después en "exit".

## **7 - Planos del laboratorio.**

**7.1 Plano de mobiliario y ubicación.**

**7.2 Plano de distribución de mobiliario y equipo.**

**7.3 Plano de instalación eléctrica.**

**7.4 Plano de instalación hidráulica sanitaria.**

**ANEXO**

<b>PLANO</b>	<b>CLAVE</b>
Zonificación y ubicación.	LH-ZU-01
Distribución de mobiliario y equipo	LH-ME-02
Instalación eléctrica.	LH-IE-03
Instalación hidráulica sanitaria.	LH-INS-04

## **8 - Costo de mobiliario y equipo de laboratorio.**

### **8.1 Presupuesto.**

### **8.2 Resumen de partidas presupuestales por porcentaje y monto.**

## 8 - Costo de mobiliario y equipo de laboratorio.

### 8.1 Presupuesto.

El presupuesto de mobiliarios y equipos con el fin de implementar e instalar un laboratorio de hidrogeología, se elaboró bajo la premisa de adecuar áreas de docencia existentes (salón 417-A Edificio "C"), en espacios multimedia que apoye la labor didáctica y de docencia, mediante la instalación de equipos experimentales, equipos de cómputo, equipo de televisión, de proyección y de video.

El lugar físico donde se propone ubicar el laboratorio de hidrogeología, cuenta con un área de 128.37 m<sup>2</sup>, se contempla dentro de la distribución de áreas, espacios donde se instalarán equipos experimentales (Mesa de Placa Laminar, la Mesa de Arena, la Mesa del Simulador de la conexión de Darcy, la Mesa para el Modelo analítico de placa conductiva), equipos de cómputo (dos computadoras y dos impresoras), equipo de televisión y video, área de restridores (varias mesas), escritorios para personal docente (dos muebles), bancos y sillas ejecutivas, gabinetes (dos muebles), área de bodega (20m<sup>2</sup> aprox.) y pizarrones, las cotizaciones de los diferentes equipos y mobiliario, se solicitaron a empresas fabricantes, establecimientos comerciales y en algunos casos a través de distribuidores exclusivos en México para equipos de importación.

Para lo relacionado con la instalación hidráulica, sanitaria y eléctrica, se consultó el manual de Costos de Edificación ENHSA, a fin de determinar cantidades y rendimientos de insumos de materiales, mano de obra y herramientas, así como también cotizaciones de precios de mercado de materiales, para obtener precios actualizados y costos reales.

El presupuesto del costo para la implementación e instalación del laboratorio de hidrogeología, está integrado de nueve partidas presupuestales:

1. Equipo experimental
2. Instalación hidráulica
3. Instalación sanitaria
4. Instalación eléctrica
5. Equipo de cómputo
6. Equipo de televisión
7. Equipo de proyección
8. Mobiliario
9. Bodega

A continuación se describen por conceptos, unidades de medida, cantidades, costo e importes totales y por partida.

## Presupuesto del costo para la implantación e instalación del laboratorio de hidrogeología

No	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	UNIDAD	IMPORTE	IMPORTE/PARTIDA
<b>EQUIPO EXPERIMENTAL</b>						
1	Mesa de Flujo Laminar 80x120x150 cm. marca Armfield. Límite según normas BSI. El costo de adquisición no incluye envío o tránsito aéreo, su entrega es en un punto comercial británico.	pie	1.00		\$101,843.01	\$101,843.01
2	Mesa de Agua (onda) 80x120x150 cm. marca Armfield. Límite según normas BSI. El costo de adquisición no incluye envío o tránsito aéreo, su entrega es en un punto comercial británico.	pie	1.00		\$247,472.27	\$247,472.27
3	Simulador de la ecuación de Darcy prototipo de fabricación nacional.	pie	1.00		\$5,236.85	\$5,236.85
4	Modelo analógico de placa conductiva prototipo de fabricación nacional.	pie	1.00		\$6,281.15	\$6,281.15
						<b>\$360,815.28</b>
<b>INSTALACIÓN HIDRÁULICA</b>						
5	Instalación hidráulica de tubería de cobre de 13mm, 18mm, trabajo mecánico, soldaduras, mano de obra, materiales y mano de obra.	ml	3.00		\$2,400.00	\$2,400.00
						<b>\$2,400.00</b>
<b>INSTALACIÓN SANITARIA</b>						
6	Instalación sanitaria de tubería de P.V.C. de 2" incluye: conexiones, sanitarios, mano de obra, materiales y mano de obra.	ml	5.00		\$3,900.00	\$3,900.00
						<b>\$3,900.00</b>
<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA</b>						
7	Salda eléctrica para conductores de 12/0, 10/0 y apagadores, incluye: cables, conductores de 1/2", 3/4", chapas, placas, interruptores, etcétera, mano de obra, materiales y herramientas.	pie	17.00		\$12,750.00	\$12,750.00
8	Salda eléctrica para iluminación que incluye: cable, tubo conduct de 1/2", etcétera, mano de obra, materiales y herramientas.	pie	15.00		\$10,500.00	\$10,500.00
9	Tablero de distribución cuadro de carga, interruptores termomagnéticos, incluye: mano de obra, materiales y herramientas.	pie	1.00		\$800.00	\$800.00
10	Suministro y colocación de lámparas fluorescentes tipo Slim - Línea 2 x 70 watts, de 100 watts, incluye: lámparas, balastro, gabinete, etcétera.	pie	15.00		\$12,750.00	\$12,750.00
						<b>\$36,000.00</b>

## Presupuesto del costo para la implantación e instalación del laboratorio de hidrogeología

No	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO	IMPORTE	IMPORTE/PARTIDA
<b>EQUIPO DE CÓMPUTO</b>						
11	Computadora Hewlett Packard, modelo hp pavilion 9751C, procesador Intel Pentium PIII 800 MHz, 128 Mb Ram 40 Gb HD DVD/CD-R-W, Fax Modem 56 k Web Cam, Monitor color 17", Teclado inalámbrico con acceso a Internet con un solo botón en el ratón.	pcn	10.00	\$25,990.00	\$259,900.00	
12	Impresora Hewlett Packard, modelo hp deskjet 610C, compatible con Microsoft, windows 95,98 y NT 4.0 impresora de tinta a color.	pcn	2.00	\$999.00	\$1,998.00	
13	Regulador eléctrico 1200 watts, 4 contactos, marca ALTER.	pcn	10.00	\$318.00	\$3,180.00	\$285,178.00
<b>EQUIPO DE TELEVISIÓN</b>						
14	Televisión Sony de Color Trinitron 27", modelo KX-27XL42M/S.	pcn	1.00	\$4,699.00	\$4,699.00	
15	Videograbadora Sony modelo SLV-LX7S	pcn	1.00	\$1,995.00	\$1,995.00	
16	Soporte de pared tubular negro para televisión de 27"	pcn	1.00	\$680.00	\$680.00	
17	Soporte de pared tubular negro para videograbadora.	pcn	1.00	\$320.00	\$320.00	\$7,584.00
<b>EQUIPO DE PROYECCIÓN</b>						
18	Retroproyector 9100-AABM, (proyector de acetatos) gancho para enrollar el cable, 2800 lumens lámpara ENX, marca 3 - M.	pcn	1.00	\$4,230.00	\$4,230.00	
19	Proyector Kodak 9800228, (proyector de transparencias) Edigeo III A, con control remoto inalámbrico, Marca Kodak.	pcn	1.00	\$5,860.00	\$5,860.00	
20	Proyector de video y datos marca Infocus modelo LP 425Z de 800 lumens.	pcn	1.00	\$33,485.00	\$33,485.00	\$43,575.00
<b>MOBILIARIO</b>						
21	Restrador Ice Board 80 x 120 cms., Tubular Pintaron Alfa Blanco, marca Ice Board.	pcn	20.00	\$1,200.00	\$24,000.00	
22	Banco Metálico para Restrador marca Esco.	pcn	20.00	\$245.00	\$4,900.00	
23	Escritorio Básico con cajón modelo 804 de 120 x 62 x 75 cms. Marca Industrias RTA.	pcn	2.00	\$1,199.00	\$2,398.00	
24	Silla ejecutiva Ergonomica con braso ajustables modelo 9477VMSAP/3002 marca True Seating.	pcn	2.00	\$1,499.00	\$2,998.00	
25	Gabinete color madera estacion oficina modelo 703 de 1.80 x 0.71 x 0.41 mts. Marca Industrias RTA.	pcn	2.00	\$1,899.00	\$3,798.00	



## Presupuesto del costo para la implantación e instalación del laboratorio de hidrogeología

No	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	IMPORTE/PARTIDA
26	Mesa para impresora, modelo L101, de 0.63 x 0.61 mts. Marca Citra.	pie	2.00	\$1,389.00	\$2,798.00	
27	Mesa de cómputo con porta CPU, modelo WINDSOR-IV de 1.00 m de largo y 0.60 m de ancho.	pie	10.00	\$999.00	\$9,990.00	
28	Silla ejecutiva por partes acabada en aluminio de 70.25 cm de ancho, 1.22 cm de largo, cubierta en vinil para protección de la silla.	pie	2.00	\$1,078.00	\$2,156.00	
29	Silla ejecutiva con desmontables modelo LA09TQETI marca Productiva realizada en Steel.	pie	12.00	\$966.00	\$11,998.00	
30	Pizarrón blanco, de 3.00 m de largo por 1.20 m de ancho, marca Everest.	pie	2.00	\$2,116.00	\$4,232.00	\$89,280.00
<b>BODEGA</b>						
31	Bodega a base de muros fabricada de ladrillos, de 12.7 mm 2 caras postes y nervios de 8.25 cm esp. 28 altura máxima de 4.50 m, ancho de base de 11.74 cm, incluye pintura en muro y pintura, mano de obra, materiales y herramientas.	lote	1.00	\$3,250.00	\$3,250.00	
32	Puerta de madera de pino de 0.80 x 2.10 m con bastidor de 1.1/2" x 1" a cada 30 cm formada con triplay de cedro incluye: sistema de cerradura, grapa tipo reosmora, mano de obra, materiales y herramientas.	lote	1.00	\$2,145.00	\$2,145.00	\$5,385.00
						<b>\$794,967.28</b>

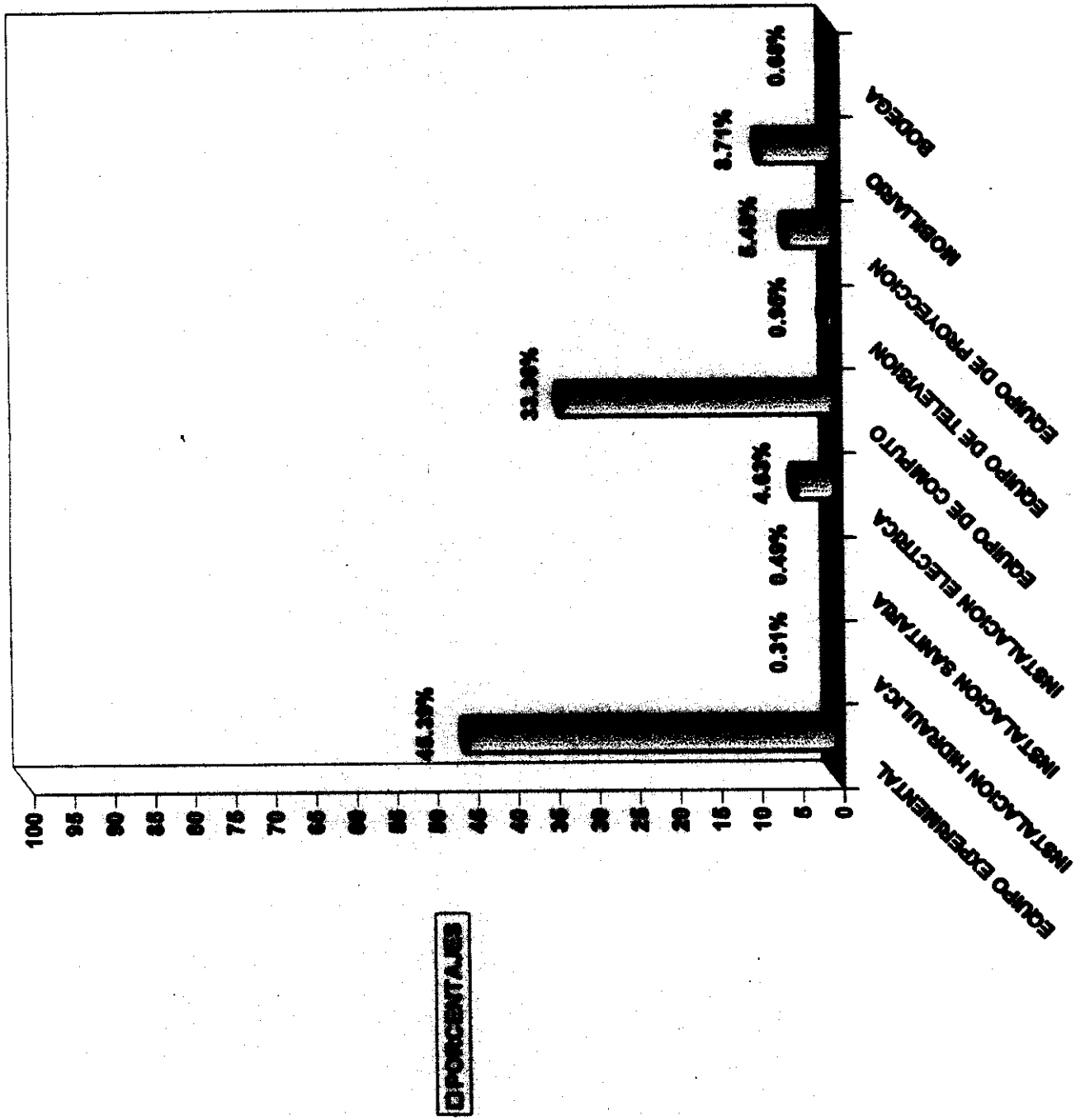
## 8.2 Resumen de partidas presupuestales por porcentaje y monto.

<b>Equipo computacional</b> (cotización recibida por las empresas licitantes)	45.30%	\$380,815.28
<b>Instalación eléctrica</b> (Insumos actualizados de acuerdo al manual de costos de edificación SIMBA)	0.31%	\$2,490.00
<b>Instalación sanitaria</b> (Insumos actualizados de acuerdo al manual de costos de edificación SIMBA)	0.48%	\$3,900.00
<b>Instalación plomería</b> (Insumos actualizados de acuerdo al manual de costos de edificación SIMBA)	4.89%	\$38,800.00
<b>Equipo de oficina</b> (cotización de servicio e investigación de precios de mercado en establecimientos comerciales)	33.30%	\$265,178.00
<b>Equipo de teleseñal</b> (cotización de servicio e investigación de precios de mercado en establecimientos comerciales)	0.98%	\$7,584.00
<b>Equipo de promoción</b> (cotización de servicio e investigación de precios de mercado en establecimientos comerciales)	5.48%	\$43,575.00
<b>Mobiliario</b> (cotización de servicio e investigación de precios de mercado en establecimientos comerciales)	8.71%	\$69,280.00
<b>Bodega</b> (Insumos actualizados de acuerdo al manual de costos de edificación SIMBA)	0.88%	\$5,385.00
	<b>100.00%</b>	<b>\$794,997.28</b>
<b>TOTAL DEL PRESUPUESTO A COSTO DIRECTO</b> (TRABAJO EJECUTADO POR ADMINISTRACIÓN DIRECTA)		<b>\$794,997.28</b>
<b>CONSIDERANDO UN FACTOR DE CORRECCIÓN DEL 30 %</b> (TRABAJO EJECUTADO POR CONTRATO)		<b>\$1,033,406.46</b>
<b>IMPORTE TOTAL CON I.V.A.</b>		<b>\$1,188,520.93</b>

### RESUMEN DE PARTIDAS PRESUPUESTALES POR MONTOS

		\$300,815.28
Equipo experimental	\$3,000.00	
Investigación básica	\$3,000.00	
Investigación aplicada	\$35,000.00	
Equipo de cómputo	\$288,375.00	
Equipo de laboratorio	\$7,000.00	
Equipo de protección	\$43,375.00	
Materiales	\$30,300.00	
Bodega	\$3,305.00	

# RESUMEN DE PARTIDAS PRESUPUESTALES POR PORCENTAJE



## 9 - Conclusiones

Los cambios a nivel mundial son inexorables, y se dan en el ámbito tecnológico, científico, académico, económico, comercial, social, político. El tema de la Educación no puede sustraerse a estas transformaciones, producto de un mundo cada vez más globalizado, de libres fronteras y de mayor cooperación. La transformación y renovación educativa es un tema presente y futuro, que tiene como premisa poner a la sociedad a la altura de los nuevos retos, disminuyendo distancias y eliminando barreras entre los individuos, como entre las naciones.

Se vive una época de la llamada revolución de la información, que ha incidido directamente sobre la concepción del modelo educativo predominantemente a nivel superior, con el desarrollo a veces vertiginoso de la telemedicina, y autoeducación, que crece de manera paralela y más acelerada que las instituciones educativas, el hecho no puede negarse, la tecnología constituye un instrumento formidable para diseminar información, transmitir conocimientos y permitir la comunicación instantánea entre las comunidades académicas y entre éstas y la sociedad en general, cada vez más ávida de educarse y superarse a través del conocimiento.

La tecnología es un complemento del proceso educativo, es "educación virtual", corresponde a la docencia coordinarla, dirigirla, evaluarla, para su mejor aprovechamiento, utilización y enfoque dentro de los planes y programas de estudio, esta dualidad educación virtual - docencia fortalece y enriquece la relación profesor-alumno.

Es necesario que la tecnología educativa, tecnología didáctica, el fortalecimiento de la función docente, de las tareas de investigación, se conjuguen de manera indisoluble para fomentar un modelo educativo de vanguardia, defendiendo principios, aspectos éticos, búsqueda de la verdad y respeto a la pluralidad.

Educar es una actividad que hace uso de todos los recursos humanos, materiales, tecnológicos, con el fin de, formar personalidades, propiciar el desarrollo de los sujetos éticos que habrán de asimilar y digerir todo un orden cultural y moral en el que los conocimientos adquiridos tengan pertinencia y sentido. Educar es forjar seres humanos libres, sensibiles, autónomos, críticos y creativos, aptos para el ejercicio consciente de la democracia y para enriquecer la tradición cultural en la que estamos inmersos.

La Universidad Nacional Autónoma de México ha sido, es y será el crisol donde confluyen saber, cultura y formación ética. Ha sido capaz de renovarse, transformarse y revitalizarse enarbolando así nuestra tradición milenaria de enseñanza de la ingeniería, desde el Real Seminario de Minería hasta la época actual en Ciudad Universitaria, antes en la antigua Escuela Nacional de Ingeniería, ahora Facultad de Ingeniería.

El laboratorio de hidrogeología es un proyecto para transformar espacios de enseñanza y aprendizaje, en aquellos que fomentan y modernizan la labor didáctica, que permita el enriquecimiento de criterios, el intercambio de ideas, el desarrollo de habilidades y actitudes, así como la solución a múltiples aplicaciones del campo profesional.

Impulsar y promover proyectos tendientes a cumplir estos objetivos y metas permitirá la renovación sistemática en los modelos educativos.

### PRIMERA

El proyecto para implantar e instalar el laboratorio de Hidrogeología, tiene como parte sustantiva el crear un espacio multifuncional, provisto de equipos experimentales (mesa de flujo laminar, mesa de arena, simulador de la ecuación de Darcy, modelo analógico de placa conductiva), equipo de cómputo, equipo de televisión y videogradora, equipo de proyección, instalaciones hidráulicas, eléctricas, sanitarias, mobiliario, respaldos, escritorios, gabinetes y área de trabajo, en donde haciendo uso de una infraestructura tecnológica y material se vincula de manera directa el quehacer de enseñanza-aprendizaje, facilitando en el alumno, la comprensión de muchos aspectos técnicos relacionados con el estudio de la hidrogeología, así como su conceptualización física y práctica.

### SEGUNDA

El programa de hidrogeología está diseñado de 88 horas de clase por semestre y 32 horas de laboratorio por semestre, el proyecto de contempla un cupo de 20 alumnos, lo que representa un uso de hasta 640 horas semestre alumno, es decir 27 días/semestre, y aproximadamente 2 meses/año, si la inversión a costo directo se considera de \$ 794,997.28 cada año se amortizaría una cantidad de \$ 132,499.54 por lo que la inversión quedaría cubierta en seis años. Además dada la infraestructura mantenida que contempla el laboratorio, puede dar servicio a otras asignaturas afines, como pueden ser mecánica de suelos, geotecnia e hidráulica, ampliando así su utilización y factibilidad como proyecto educativo.

### TERCERA

Transformar, renovar, modernizar no es fácil, se requiere en este caso voluntad de acción, presupuesto y trabajo docente, sin embargo toda esta inversión económica, material y humana estará recompensada por el beneficio que semestre a semestre prestará el laboratorio, coadyuvando a elevar el nivel académico tanto del alumno como del personal docente y quedando como un activo fijo no solamente en términos contables sino de infraestructura docente, académica y por supuesto, el egreso de profesionales altamente capacitados.

## CUARTA

Es de vital importancia no perder la distancia mundial actual, ya que la tendencia es, hacia un mundo cada vez más globalizado, asimilarse a un nuevo modelo multinacional, es un reto que exige transformación, renovación, en aspectos económicos, comerciales, sociales, políticos y sobretodo educativos, culturales, científicos, solo así dentro de esa diversidad, podremos ser verdaderamente competitivos, profundamente nacionales, saber quienes somos, hacia donde vamos y enfrentarnos a la desaparición de fronteras sin perder lo más valioso que tenemos, nuestra identidad, que nos seguirá distinguiendo como país, como nación, como mexicanos.

## **Bibliografía.**

- Manual para la Mesa de Flujo Laminar.  
Armfield Technical Education Company Limited, Hampshire England.  
Laboratorio de Hidráulica  
División de Estudios de Posgrado  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- Manual para la Mesa de Arena (sistema hidrológico básico).  
Armfield Technical Education Company Limited, Hampshire England.  
Departamento de Geología de Petróleo y Geohidrología.  
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- Apuntes de Mecánica de Fluidos  
Sánchez Bidiresca José Luis, Carmona Paredes Rafael  
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- Mecánica de Fluidos e Hidráulica  
Ronald v. Giles, B.S.  
Mc Graw -Hill
  
- Apuntes de Mecánica de Fluidos  
Roberto A. Castro Flores  
Raúl León Ventura  
Rafael Rodríguez Nieto  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- Hidrología primera parte.  
Rolando Springall G.  
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- Aspectos Fundamentales en el Estudio del Agua Subterránea (Geohidrología).  
Jaime A. Tinajero González  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.



- **Manual de Usuario Acuífero Test**  
(El programa interactivo de pruebas de acuífero) waterloo hidrogeologic  
Departamento de Geología de Petróleo y Geohidrología.  
División de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.  
Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.
  
- **Manual de Costos de Edificación BIMSA**  
(Construction Market Data Group) número 255.
  
- **Groundwater**  
R. Allan Freeze, John A. Cherry  
Prentice - Hall, Inc.
  
- **Manual de Construcción en Acero**  
Instituto Mexicano de la Construcción en Acero, A. C.  
Tomo I, Editorial Limusa.
  
- **Física Conceptos y Aplicaciones.**  
Paul E. Tippens  
Mc Graw-Hill.