



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**«PROSPECCION SISMICA DE REFRACCION Y
DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LOCALI-
ZAR AGUA SUBTERRANEA»**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOFISICO
P R E S E N T A N :
MAURICIO PHILIPPE DE LA VEGA
ROBOAM LEON SANCHEZ**

24.
21

MEXICO, D. F.

1979



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.

PROSPECCION GEOFISICA DE REFRACCION SISMICA Y DE RESISTIVIDAD ELECTRICA PARA LA LOCALIZACION DE AGUA -- SUBTERRANEA

- 1. INTRODUCCION**
 - 1.1. EL AGUA SUBTERRANEA EN MEXICO: PANORAMA GENERAL**
 - 1.2. OBJETIVOS Y BENEFICIOS**
 - 1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AGUA SUBTERRANEA**
 - 1.4. DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA**
- II. DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES TEORICAS**
 - II.1. DEFINICIONES HIDROLOGICAS**
 - 1.a) CICLO HIDROLOGICO**
 - 1.b) HIDROLOGIA**
 - 1.c) HIDROLOGIA SUPERFICIAL**
 - 1.d) HIDROLOGIA SUBTERRANEA**
 - 1.e) GEOMIDROLOGIA**
 - 1.f) HIDROGEOLOGIA**
 - 1.g) ACUIFERO**
 - II.2. GEOLOGIA DE LOS ACUIFEROS**
 - 2.a) ROCAS POROSAS**
 - 2.b) ROCAS FISURADAS**
 - 2.c) ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS**
 - 2.d) ROCAS SEDIMENTARIAS**
 - 2.e) DEPOSITOS TIPICOS**
 - e.i) DEPOSITOS EN LOS VALLES**
 - e.ii) ABANICOS ALUVIALES**
 - e.iii) DEPOSITOS EN EL AGUA**
 - II.3. EL METODO SISMICO DE REFRACCION**

- 3.a) FUNDAMENTO
- 3.b) LEYES QUE RIGEN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS SISMICAS
 - b.i) PRINCIPIO DE HUYGENS
 - b.ii) PRINCIPIO DE FERMAT
 - b.iii) LEY DE REFLEXION
 - b.iv) LEY DE REFRACCION
 - b.v) REFRACCION TOTAL
- 3.c) FENOMENOS EN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS SISMICAS
 - c.i) DIFRACCION
 - c.ii) DISPERSION
 - c.iii) SCATTERING
 - c.iv) ABSORCION
 - c.v) REFLEXION
 - c.vi) REFRACCION
- 3.d) GRAFICAS TIEMPO - DISTANCIA
 - d.i) ONDA DIRECTA
 - d.ii) ONDA REFRACTADA
 - d.iii) ONDA REFLEJADA
- 3.e) TECNICAS DE CAMPO

11.4. EL METODO ELECTRICO - RESISTIVO

- 4.a) RESISTIVIDAD
- 4.b) POTENCIAL ELECTRICO
- 4.c) ARREGLOS ELECTRODICOS
- 4.d) PROBLEMA DIRECTOR DEL METODO GEOELECTRICO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS

- 4.e) PROBLEMA INVERSO DEL METODO GEOELECTRICO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS
 - e.i) INTERPRETACION CUALITATIVA
 - e.ii) INTERPRETACION CUANTITATIVA
 - e.iii) METODOS DE REDUCCION

III. OBJETIVO DE LA PROSPECCION SISMICA Y ELECTRICA PARA UN PROBLEMA ESPECIFICO

- III.1. ANTECEDENTES
- III.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO GEOFISICO
- III.3. METODO DE TRABAJO

IV. LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA

- IV.1. LOCALIZACION Y EXTENSION
- IV.2. CLIMA
- IV.3. FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA
- IV.4. HIDROGEOLOGIA

V. PROSPECCION SISMICA

- V.1. EQUIPO EMPLEADO
- V.2. OPERACION DE CAMPO
- V.3. LEY DE VELOCIDADES APARENTES Y CALCULO DE PROFUNDIDADES
- V.4. INTERPRETACION

VI. EXPLORACION GEOELECTRICA

- VI.1. EQUIPO EMPLEADO
- VI.2. OPERACION DE CAMPO
- VI.3. INTERPRETACION

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1. PERFILES GEOELECTRICOS

VII.2. PERFIL SISMICO

**VII.3. INTEGRACION DE INFORMACION SISMICA, ELECTRICA
Y LITOLÓGICA**

VII.4. CONCLUSIONES

VIII. BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O I

1.1. EL AGUA SUBTERRANEA EN MEXICO: PANORAMA GENERAL.

Nuestro País enfrenta graves problemas relacionados con el agua. El primero de ellos consiste en que la distribución espacial de este recurso es totalmente opuesta a la distribución demográfica y, consecuentemente, a la distribución de las demandas. La mayor parte de los recursos hidráulicos están concentrados en la porción sureste de nuestro Territorio, donde la gran abundancia y la demanda comparativamente pequeña del vital elemento, resultan en un notable desaprovechamiento del mismo; aún más, eventualmente provoca serios daños al presentarse en cantidades no controlables, tales como avenidas extraordinarias o aguaceros de gran intensidad.

En contraste con lo anterior, en más del 50% de la superficie -- del País, donde prevalece un clima desértico o semidesértico, y donde la densidad de población es mucho mayor, el recurso hídrico superficial es muy escaso y la única fuente que puede proporcionar agua en forma permanente, es el subsuelo.

De aquí que el agua subterránea sea un recurso muy importante para el desarrollo de México, puesto que de su disponibilidad depende, en gran parte, la medida en que pueda desarrollarse otros recursos.

El agua meteórica y los escurrimientos que genera, constituyen un recurso transitorio, solo disponible en una parte del año, y cuyo aprovechamiento en gran escala requiere de grandes obras de almacenamiento y conducción.

1.2. OBJETIVOS Y BENEFICIOS DE SU ESTUDIO.

Actualmente cualquier País necesita para su desarrollo entregar - cantidades suficientes de agua para sus habitantes, su Industria, su Agricultura, sin la cual no se entendería su adelanto.

Actualmente el Planeta se acerca a los límites de crecimiento demográfico y se presenta el espectro de la carencia o agotamiento de ciertos recursos no renovables y aún de los renovables (causado por el hombre mismo alterando la Ecología) por lo que el agua no escapa a esta situación y a la demanda creciente de ella.

Por lo tanto se tiene una necesidad urgente de aprovechar óptimamente los recursos de agua y solucionar el problema de la irregular distribución del agua en la naturaleza.

Es necesario contar con estudios sobre la cuantía y comportamiento de los acuíferos para evitar situaciones de repercusión para las generaciones futuras.

México, un País montañoso por excelencia y con una red hidrográfica mal distribuida por la naturaleza y con una población creciente explosivamente tiene la necesidad urgente de aprovechar en forma óptima sus recursos de agua subterránea.

Por ejemplo de la mala distribución lo tenemos en la Cuenca del Sistema Grijalva - Usumacinta que abarca el 5% de la superficie Nacional y genera el 29% de los recursos hidráulicos del País, -- (Benassini, 1974). Es en las Zonas áridas y semiáridas del Territorio Nacional, Norte de la República, en donde se iniciaron los primeros aprovechamientos de agua subterránea del País.

Debido a que no se contaba con estudios sobre la cuantía y el comportamiento de los acuíferos se dio lugar a situaciones peligrosas y de gran repercusión para nuestro futuro al propiciarse una sobre explotación de los mantos acuíferos.

Al bombearse en exceso se convirtió a los acuíferos en "Minas de

Agua".

Algunos problemas ligados a la explotación irracional de los recursos de agua subterránea son: Los abatimientos excesivos de -- los Mantos Freáticos producidos por concentraciones de pozos, la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros: (Costa de -- Hermosillo, Son.) Con la consiguiente degradación de la calidad del agua; contaminación debida a infiltración de agua de riego -- con contenido elevado de sales disueltas (Mexicali, B.C.N.), con -- taminación de acuíferos con detergentes y otras sustancias químicas no desagradables, producidas por filtraciones de canales que conducen aguas negras y desechos industriales (Valle del Mezquital, Hgo.).

Es conveniente aclarar que así como un acuífero puede contaminarse fácilmente y en unos cuantos años, el retornar a condiciones originales en cuanto a la calidad del agua, requiere de muchos años, quizás centurias.

En general las aguas subterráneas son y deben ser la principal -- fuente de abastecimiento de localidades urbanas y rurales por -- requerir tratamientos mínimos para usos domésticos, públicos e industriales.

Cuando las observaciones sistemáticas en que se basan en gran -- parte los Estudios adquieren continuidad y que estos sean apoyados por un número adecuado de personal altamente capacitado, así como por equipos de investigación concientes de la problemática nacional; entonces y solo entonces será posible lograr un aprovechamiento eficiente de las aguas subterráneas en conjunto con -- las superficiales.

1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL AGUA SUBTERRANEA.

La superficie del Planeta esta en gran parte compuesta por Zonas

desérticas o semi desérticas donde el único recursos hidráulico - se halla en el subsuelo (Aún cuando la precipitación sea escasa, - ésta se infiltra hasta los reservorios constituyendo los acuffe-- ros) por lo que la importancia de este recurso en estas zonas es vital.

Pero cabe preguntarse cuales son las ventajas y desventajas del - agua subterránea para ubicar este recurso como factor de desarro- llo y progreso; las ventajas son las siguientes:

- A) Almacenaje subterráneo mayor que el superficial: Además no hay pérdida de capacidad de almacenamiento como sucede con el azo| vamiento de presas.
- B) Menor exposición a la contaminación química y radiactiva: Se - podría decir que los materiales granulares actúan como un gran filtro.
- C) Temperatura y composición química casi constante.
- D) Disponibilidad menos afectada por variaciones climáticas.
- E) Menores pérdidas por evaporación: La evapo-transpiración sólo - es importante cuando el nivel freático es somero.
- F) Ausencia de turbidez y color.

Las desventajas son:

- A) El agua subterránea no es visible: Esto dificulta su Estudio, - cuantificación, su explotación racional y su manejo.
- B) Costo de pozos más alto que el de canales.
- C) Porosidad y permeabilidad insuficiente.
- D) Calidad del agua: Contiene más sales en solución.

4.- DISTRIBUCION DEL AGUA SUBTERRANEA.

El agua es el elemento que más abunda en la Tierra, su abundancia la convierte en la más común de las sustancias. Los Científicos - suponen que el agua que se encuentra en la corteza y en la atmós-

fera representan un volumen equivalente a tres veces la cantidad de todos los otros materiales juntos, el material que le sigue - en abundancia es el Feldespato según los Geólogos, pero en volumen este representa solo la sexta parte del total del agua.

Los mares y océanos contienen el 97% de toda el agua existente en la Tierra. La nieve, los glaciares y los casquetes polares reúnen alrededor de 2.25%.

Considerando en conjunto el agua de los Ríos y los Lagos y la que se halla debajo de la superficie de la Tierra represente algo así como 0.6% del total.

Cierto que las aguas de la superficie son tangibles y se han gastado sumas fabulosas de dinero en construir Presas, Diques, Acueductos, Canales de Riego, todas Obras visibles, resulta lo más natural que nos inclinemos a pensar que esta manifestación del agua constituye la mayor fuente para satisfacer las necesidades del -- Mundo.

En realidad algo menos de un 3% de la disponibilidad de agua dulce fluida de nuestro Planeta, corresponden a Ríos y Lagos.

El 97% restante algo así como 1230 kilómetros cúbicos de agua se encuentran en el subsuelo.

El agua dulce en estado líquido de lagos y ríos representa la parte que se halla en tránsito en tanto que las fuentes subsuperficiales corresponden al agua almacenada.

No toda el agua que se encuentra por debajo de la superficie puede extraerse de las formaciones que la contienen.

Una parte se halla dentro de formaciones tan profundas que solo - los costos de bombeo invalidarían su extracción, otra parte yace dentro de acuíferos que se oponen de diversas maneras a la extracción y desafían la acción de bombeo.

Aunque las cifras de los volúmenes de agua disponibles tanto en - la superficie como en el subsuelo no pueden adoptarse como índice

Los recursos reales, si nos revelan que la reserva subterránea es varias veces mayor que la de la superficie y que no se ha hecho suficiente hincapié en el desarrollo y utilización de las vastas reservas de agua dulce que yacen bajo la superficie de la Tierra.

CAPITULO II

DEFINICIONES Y CONSIDERACIONES TEORICAS

II.1. DEFINICIONES HIDROLOGICAS.

En toda Ciencia se hace preciso delimitar lo más acuciosamente posible la materia de estudio para evitar duplicidad y confusiones. Es por eso que definiremos algunos conceptos que son de gran importancia para la comprensión de las ciencias hidrológicas.

1.a) CICLO HIDROLOGICO.

El ciclo hidrológico consiste en la continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro Planeta.

Se podría considerar como un complejo sistema interdependiente -- del agua contenida en la atmósfera, en la superficie y en el subsuelo, el ciclo no tiene principio ni fin pero el concepto de ciclo hidrológico se origina en los océanos y siendo estos el inmenso reservorio de donde toda el agua se origina y a donde toda el agua regresa y considerando las evidencias geológicas de que el volumen de los océanos ha permanecido constante durante los últimos 500 millones de años se podrían enumerar los siguientes pasos del ciclo hidrológico.

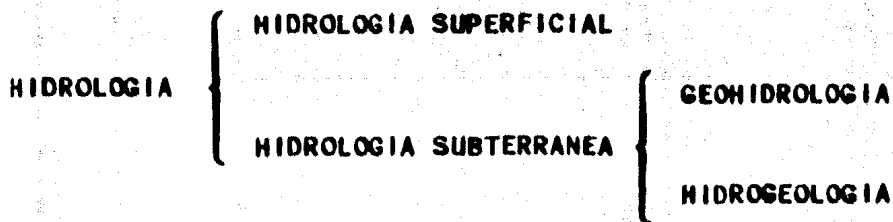
- 1.- Evaporación y transpiración
- 2.- Precipitación
- 3.- Escurrimiento
- 4.- Infiltración y percolación
- 5.- Flujo subterráneo

Ampliando esto podemos decir que la radiación solar evaporará agua de los océanos, ríos, lagos, etc., que nos formarán nubes y bajo ciertas condiciones de presión y temperatura precipitarán en forma de agua o nieve, parte de esa agua escurrirá formando parte de los ríos, lagos y otra parte se infiltrará también sea formando parte de la humedad del suelo o hasta los depósitos definidos. Así mismo el agua que no alcanza a infiltrarse se evapora constituyendo un ciclo secundario dentro del ciclo hidrológico.

1.b) HIDROLOGIA.

Hidrología es la ciencia que estudia los procesos del ciclo hidrológico.

Algunos autores modernos como De Wiest hacen una clasificación de las ciencias hidrológicas que parece ser la más acertada.



1.c) HIDROLOGIA SUPERFICIAL.

Trata sobre los fenómenos del ciclo hidrológico que ocurren en la atmósfera y en la superficie del suelo como la evaporación, transpiración y escorrentía.

Su relación con ciencias atmosféricas como la meteorología, climatología es muy estrecha.

1.d) HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

Trata sobre los fenómenos del ciclo hidrológico que ocurren de bajo de la superficie del terreno como la infiltración, percolación y flujo subterráneo.

La hidrología subterránea puede ser estudiada desde 2 puntos - de vista distintos: Geohidrológico e Hidrogeológico.

1.e) GEOHIDROLOGIA.

Trata sobre los fenómenos del ciclo hidrológico que ocurren en el subsuelo desde el punto de vista de las ciencias físicas:

Flujo de fluidos en medios porosos, Hidráulica, Física de yacimientos, etc.

1.f) HIDROGEOLOGIA.

Trata sobre los fenómenos del ciclo hidrológico que ocurren - en el subsuelo desde el punto de vista de las ciencias geológicas: Geología del subsuelo, sedimentología, estratigrafía, etc.

Ahora debemos considerar los distintos tipos de reservorios de agua en el subsuelo y definirlos por sus características.

1.g) ACUIFERO.

Es una formación geológica que contiene agua y que permite su movimiento bajo condiciones naturales.

Es importante hacer notar que esta definición abarca la roca almacén y el agua que contiene. Agua y roca almacén constituyen dos fases, una estática, la otra dinámica, de un mismo -- complejo físico.

las gravas y las arenas, pueden ser también coherentes (Rocas Compactas) como las areniscas, las calizas Oolíticas y las Tobas.

Las rocas compactas presentan poros y una microfisuración que les confieren las características de rocas porosas. Las rocas arcillosas están incluidas en esta clasificación.

2.b). ROCAS FISURADAS.

Son rocas coherentes o compactas cuyos principales vacíos están esencialmente constituidos por fisuras abiertas.

Estas rocas almacén dan lugar a redes acuíferas como por ejemplo; en el granito.

2.c). ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS.

Las rocas extrusivas constituyen mejores acuíferos que las rocas intrusivas.

El basalto, roca extrusiva, tiene fisuras y burbujas de aire, vesículas interconectadas que pueden contener grandes cantidades de agua.

Los materiales piroclásticos como cenizas y escorias constituyen por lo general buenos acuíferos.

Las rocas intrusivas por lo general no son porosas pero en algunos lugares producen pequeñas cantidades de agua subterránea. La parte superior en donde el material ha sido alterado contiene las únicas aberturas que presentan en forma de fisuras y fracturas.

Las rocas metamórficas por lo general no son buenos acuíferos. Al igual que en las rocas ígneas intrusivas, solo se pue

de obtener algo de agua de las fracturas y grietas que se forman en la parte superior de la formación en donde el material se ha meteorizado.

2.d). ROCAS SEDIMENTARIAS.

Las rocas sedimentarias constituyen un 5% de la corteza terrestre. Se hallan ampliamente distribuidas y poseen excelentes -- propiedades acuíferas.

La deposición de los sedimentos puede tener lugar tanto en el océano como en el continente.

Las rocas sedimentarias coherentes son buenos acuíferos como -- las calizas que han desarrollado canales de disolución.

Las rocas sedimentarias suaves que constituyen buenos acuífe-- ros incluyen arena, grava, bolsones, etc.

Estas rocas clásticas varían ampliamente de tamaño de partículas y grado de acomodo con la consecuente gran variación de su capacidad para rendir agua.

Consideradas globalmente son los mejores acuíferos. Los acuífe-- ros sedimentarios no consolidados incluyen depósitos marinos, -- depósitos aluviales, acarreos glaciales, abanicos aluviales, -- arenas de dunas, etc.

2.e). DEPOSITOS TIPICOS.

Todos los depósitos de los ríos reciben el nombre de aluvión-- (R.M. Pearl, Geología. C.E.C.S.A.) y la depositación resulta -- de (1) una declinación en el gradiente, (2) una reducción de -- velocidad, (3) una reducción en el volúmen.

e.i) DEPOSITOS EN LOS VALLES

Los podemos clasificar así:

- i) Rellenos de cauce
- Depósitos en los Valles ii) Llanuras de inundación
- iii) Terrazas

i) El aluvión que yace en el cauce de una corriente se llama relleno de cauce, estas acumulaciones también se efectúan a lo largo de las márgenes particularmente en el lado interior de las comas agudas.

ii) Después de las fuertes avenidas el aluvión es dejado sobre una superficie a nivel o llanura de inundación que aumenta de espesor con cada inundación.

iii) Una corriente puede excavar una parte de su llanura de inundación dejando terrazas que se mantienen arriba de su nuevo nivel.

e.ii) ABANICOS ALUVIALES

Cuando una corriente abandona las montañas y penetra en una planicie o en un valle sufre una disminución repentina de velocidad lo que causa la depositación del aluvión en un cuerpo que tiene la forma de un abanico.

e.iii) DEPOSITOS EN EL AGUA

El Análogo de un abanico aluvial es un delta y esta estructura resulta por una declinación de la energía de la corriente

cuando penetra en un cuerpo de agua como un lago o el océano.

11.3. EL METODO SISMICO DE REFRACCION.

3.a) FUNDAMENTO.

Si en un punto del terreno se provoca una sacudida, esta se propaga amortiguándose; el tiempo necesario para que llegue a los receptores depende de la naturaleza y disposición de las formaciones geológicas.

La prospección sísmica se basa en el estudio de estos tiempos de propagación.

Ahora bien, la sacudida del terreno se traduce en una emisión de ondas elásticas que pueden ser:

a₁) Ondas Longitudinales

a) Ondas Internas

a₂) Ondas Transversales

ONDAS ELASTICAS

b₁) Ondas Rayleigh

b) Ondas Superficiales

b₂) Ondas Love

La velocidad de propagación de unas y otras es función de las - - constantes elásticas de los medios en que se propagan; principalmente del Módulo de Young (E), del coeficiente de Poisson (ν) y de su densidad.

.....

3.b) LEYES QUE RIGEN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS SISMICAS.

Las Leyes que rigen la propagación de las ondas sísmicas son muy similares a las que se utilizan en óptica: Principio de Huygens, Principio de Fermat, Ley de Reflexión y Ley de Refracción.

b.i) PRINCIPIO DE HUYGENS.

Este Principio establece que cada punto alcanzado por un frente de ondas actúa como una nueva fuente de ondas que se extiende en todas direcciones. Si el medio es homogéneo el frente de ondas es esférico en cualquier momento T.

b.ii) PRINCIPIO DE FERMAT.

Este Principio dice que un rayo dado sigue de un punto a otro -- aquel camino que produce el tiempo mínimo en su recorrido. El rayo sísmico no tiene realidad física pero se puede utilizar este concepto en Sismología y por lo tanto se puede aplicar este Principio.

b.iii) LEY DE REFLEXION.

Esta Ley nos dice que el rayo incidente, la normal y los rayos reflejados están en un mismo plano verificándose la siguiente relación:

$$i = R$$

Es decir que el ángulo incidente es igual al ángulo reflejado para rayos longitudinales.

b.iv). LEY DE REFRACCION.

El rayo incidente, la normal y los rayos refractados se encuentran en el mismo plano cumpliendo esta condición:

$$\frac{\text{SEN } i}{\text{SEN } r} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{LEY DE SNELL})$$

b.v). REFRACCION TOTAL.

De la Ley de Snell, cuando el ángulo de refracción es igual a 90° el rayo refractado experimentará la refracción total, es decir, se propagará por el contacto de los dos medios.

$$\frac{\text{SEN } i}{\text{SEN } 90^\circ} = \frac{V_1}{V_2}$$

ES DECIR :

$$\text{SEN } i = \frac{V_1}{V_2}$$

Al ángulo i se le llama ángulo crítico. En sismica de refracción se estudian los rayos que experimentan la refracción total, que son los que proporcionan los recorridos de tiempo mínimo.

3.c) FENOMENOS EN LA PROPAGACION DE LAS ONDAS SISMICAS.

Cuando el medio en que se propagan las ondas sísmicas no es homogéneo, como ocurre en la Tierra, se producen los fenómenos de difracción, dispersión, scattering, reflexión y refracción.

c.i). DIFRACCION.

En Sismología el fenómeno de difracción es análogo al de óptica. La difracción es mayor, cuanto mayor sea la longitud de onda con

siderada; por ello en la propagación de ondas sísmicas la difracción es más frecuente que en óptica debido a que las ondas sísmicas tienen longitudes de ondas mucho mayores que las de las ondas luminosas y en consecuencia la posibilidad de encontrar obstáculos de dimensiones del orden de su longitud de onda (varias decenas de metros) es corriente.

c.ii) DISPERSION.

Es la variación de velocidad de una onda con el cambio de la frecuencia.

En un medio en que existe dispersión las diferentes componentes del impulso sísmico se separan y pueden aumentar la longitud del impulso hasta tal grado que no pueda determinarse su tiempo de llegada exactamente.

c.iii) SCATTERING.

Es la formación de pequeñas ondas que propagan la energía en todas direcciones y se producen cuando un frente de ondas choca con partículas libres u objetos pequeños comparados con su longitud de onda. Este fenómeno es mayor para frecuencias altas.

Lo que consideramos ruido es un sismograma puede ser debido a este fenómeno ya que el Scattering produce energía distribuida al azar.

c.iv). ABSORCION.

La disminución de la energía sísmica con la distancia produce un amortiguamiento o absorción de la energía.

A la distancia d la intensidad es:

$$I_d = I_0 e^{-\alpha d}$$

Donde α es el coeficiente de absorción.

Este coeficiente parece que aumenta con el cuadrado de la frecuencia; de aquí que las frecuencias altas queden reducidas al aumentar la distancia a la fuente y las bajas frecuencias se conserven.

c.iv) REFLEXION.

La reflexión se produce cuando exista un cambio en las propiedades elásticas del medio.

Para que suceda la reflexión es necesario que el espesor del medio considerado como reflejante sea del orden de la longitud de onda de la onda sísmica.

Por ejemplo: Suponiendo una frecuencia de 15 C.P.S. y una velocidad media de 300 M/Seg.

Entonces:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{3000 \text{ M/Seg}}{15 \text{ C.P.S.}} = 200 \text{ M}$$

Una capa perfectamente homogénea de un espesor de este orden es muy difícil de encontrar en la realidad. La ausencia de reflejos por debajo de los 20 C.P.S. se atribuye al hecho de que las longitudes de onda correspondientes a estas frecuencias -- son grandes comparadas con el espesor de las capas reflejantes. Cuando la frecuencia aumenta, las longitudes de onda se hacen comparables con la discontinuidades verticales representadas por la estratificación y la reflexión se produce.

c.vi) REFRACCION.

A diferencia de la reflexión, la refracción requiere de cier-

tas condiciones para que se produzca:

i) La velocidad de las ondas sísmicas deberá incrementarse con la profundidad .

$$V_0 < V_1 < V_2 < \dots < V_n$$

Si eso no sucede las ondas sísmicas no podrán ser refractadas con el ángulo crítico que es lo que nos interesa aquí.

ii) El estrato refractor debe tener un espesor que la onda refractada llegue como primer arribo (Zona Ciega).

3.d) GRAFICAS TIEMPO - DISTANCIA.

Si se presentan los tiempos T empleados por las ondas en llegar - a los receptores en función de las distancias x se obtiene un conjunto de curvas tiempo - distancia características de las condiciones geológicas locales.

Las ecuaciones de estas curvas correspondientes a las posibles -- trayectorias para el caso más sencillo, que es el de los medios - horizontales y velocidades constantes V_0 y V_1 , son las siguientes:

d.i) ONDA DIRECTA.

Se tiene que

$$t = \frac{PG_1}{V_0} = \frac{PG_2}{V_0} = \frac{x}{V_0}$$

Que es la ecuación de una recta de pendiente $1/V_0$ y que pasa por el origen. Su gráfica es la recta OM.

d.ii) ONDA REFRACTADA.

Se tiene que:

$$t = \frac{PA_1}{V_0} + \frac{A_1A_2}{V_1} + \frac{A_2G_1}{V_0}$$

.....

Como el ángulo de incidencia es igual al de emergencia entonces:

$$\text{SEN}^{-1} \frac{V_0}{V_1} = i$$

$$PA_1 = A_2 G_1 = \frac{h}{\text{COS } i}$$

$$Y \quad A_1 A_2 = x - 2h \text{ TANG } i$$

De donde:

$$t = \frac{h}{V_0 \text{ COS } i} + \frac{x - 2h \text{ TANG } i}{V_1} + \frac{h}{V_0 \text{ COS } i} ; \quad t = \frac{x}{V_1} + \frac{2h \text{ COS } i}{V_0}$$

Que es la ecuación de una recta de pendiente $1/V_1$ con ordenada en el origen:

$$\frac{2h \text{ COS } i}{V_0}$$

d.i.ii) ONDA REFLEJADA.

Tenemos que:
$$t = \frac{2 \text{ PAx}}{V_0}$$

Donde:
$$\text{PAx}^2 = \frac{x^2}{4} + h^2$$

Luego será:
$$t^2 = \frac{x^2 + 4h^2}{V_0^2}$$

Que puede escribirse:

$$\frac{t^2}{\frac{4h^2}{V_0^2}} - \frac{x^2}{4h^2} = 1$$

Que es la ecuación de una hipérbola con asíntota $t = \frac{x}{V_0}$

3.c) TECNICAS DE CAMPO.

El equipo básico empleado en la prospección sísmica por refracción es prácticamente el mismo que se utiliza en reflexión.

Un equipo de refracción se compone de tres equipos de campo, que son el Topográfico, el de Perforación y el de Registro y un equipo de gabinete.

La práctica del método se suele llevar a cabo por el sistema de perfiles continuos.

Cada perfil tiene una longitud constante y forma parte de una línea de rumbo generalmente fijo. El método consiste en disparar -- desde dos puntos fijos de la alineación y registrar sucesivamente el perfil que se va situando entre ambas.

Los perfiles se disponen de manera que los dos últimos geófonos de cada perfil coincidan con los dos primeros del perfil siguiente. Esto se hace para asegurar el enlace entre los perfiles consecutivos ya que los tiempos a los geófonos superpuestos, correspondientes a dos disparos sucesivos, deben coincidir.

Otro método útil es el de mantener la cubierta de tendido constante entre dos puntos de tiro consecutivos. Este método tiene la ventaja de obtener el perfil conjugado inmediatamente.

11.4.- EL METODO ELECTRICO RESISTIVO.

La finalidad de el método eléctrico resistivo es la determinación de las profundidades de las capas del subsuelo y las resistividades de las mismas.

Esta determinación se lleva a cabo mediante el estudio de la distribución de los campos electromagnéticos naturales o artificiales.

Los principales parámetros que intervienen en la distribución de dichos campos son:

- a) La Resistividad
- b) La Permeabilidad Magnética
- c) La Polarizabilidad

4.a) RESISTIVIDAD.

La Resistividad es una propiedad intrínseca de las rocas. Es una medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso, en un material determinado y está determinada por la resistencia eléctrica, por unidad de longitud del material considerado o sea:

$$\rho = R \frac{S}{l}$$

A su vez la resistividad de las rocas depende de estos factores:

- i) La Resistividad de los minerales
- ii) La Resistividad de los fluidos contenidos en los intersticios.

iii) La porosidad efectiva y permeabilidad.

iiii) Grado de saturación

iiiii) Salinidad de los fluidos.

La resistividad es por supuesto el parámetro más importante en el método eléctrico resistivo siendo la permeabilidad magnética y la polarizabilidad parámetros aprovechables en el método electromagnético y polarización inducida respectivamente.

4.b) POTENCIAL ELECTRICO.

Para el desarrollo teórico del método, es necesario disponer de una expresión que nos defina el potencial eléctrico.

Las restricciones impuestas a la teoría es el de considerar al terreno como un semi espacio isótropo y homogéneo. Supondremos una fuente A y un punto P donde se analiza un elemento diferencial dS situada a una distancia r y dr del punto A. Con r y $r + dr$ se trazan dos esferas y suponemos la resistividad dR .

Según la Ley de OHM la diferencia de potencial a través de la capa será:

$$dV = I dR$$

Y de la ecuación IV.1.1. despejando

$$R = \rho \frac{r}{S}$$

Diferenciando:

$$dR = \rho \frac{dr}{dS}$$

La superficie de la esfera de radio r es $4 \pi r^2$

Por lo tanto

$$dR = \frac{\rho}{4\pi r^2} dr$$

Sustituyendo

$$dV = \frac{\rho I}{4\pi} \frac{dr}{r^2}$$

Integrando entre r e infinito

$$\int_r^{\infty} dV = \frac{\rho I}{4\pi} \int_r^{\infty} \frac{dr}{r^2}$$

Si el potencial en el infinito es cero y como nos interesa so lo un semiespacio el potencial será:

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r}$$

Ahora si llamamos V_x^y al potencial en el punto x creado por y , y a V_x^{yz} como el potencial en el punto x creado por Y y Z - tenemos que:

$$V_M^{AB} = V_M^A - V_M^B$$

$$y \quad V_N^{AB} = V_N^A - V_N^B$$

$$\text{Como} \quad V = V_M^{AB} - V_N^{AB}$$

Obtenemos

$$V = V_M^A - V_M^B - V_N^A + V_N^B$$

....

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right]$$

Reduciendo

$$V = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Despejando

$$\rho = \frac{V}{I} K$$

Donde K es :

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}}$$

K es llamada factor geométrico, esta fórmula se utiliza para un semiespacio homogéneo aunque puede ser usada para el caso no-homogéneo donde ρ se transformará en " ρ_a " denominada resistividad aparente.

IV.c) ARREGLOS ELECTRODICOS.

Los arreglos electródicos por lo general constan de cuatro elementos, un par de ellos A y B llamados electrodos de corriente y los otros dos M y N entre los cuales se mide la diferencia de potencial.

Los electrodos A y B van conectados a una fuente de poder y a un amperímetro constituyendo el circuito de corriente.

Los electrodos de potencial van unidos a un voltímetro capaz de leer la diferencia de potencial entre ellos. Este circuito es independiente del de corriente.

Las dos disposiciones eléctricas más usadas son los dispositivos Schlumberger y Wenner.

Aunque los dispositivos dipolares se utilizan cada día más frecuentemente.

El dispositivo Schlumberger es el de uso más extendido, comparado con el Wenner.

Presenta la ventaja importante de ser menos sensitivo ante inhomogeneidades laterales a causa de la inmovilidad de los electrodos de potencial, durante una serie de mediciones consecutivas.

Además el trabajo de campo se efectúa con mayor rapidez.

El dispositivo Schlumberger presenta dos desventajas respecto al Wenner: Ciertas correcciones deben aplicarse a veces a los datos de campo antes de su interpretación y los instrumentos de medición exigen mayor sensibilidad.

Los dispositivos dipolares reducen al mínimo los acoplos entre circuitos así como los problemas de manejo de cables muy largos, estos dispositivos son sensibles a variaciones laterales.

Para cada dispositivo eléctrico puede deducirse su fórmula de resistividad aparente a partir de la ecuación siguiente:

.....

SCHLUMBERGER :

$$e_a = \frac{\Delta V}{I} \left[\left(\frac{L}{MN} \right)^2 - \frac{1}{4} \right] MN \dots$$

Donde $L = AB/2$

Usualmente se toma $AB/MN > 5$ para poder considerar que el campo eléctrico es uniforme entonces $AB/2$ resulta ser el único parámetro característico del dispositivo.

WENNER :

$$e_a = 2 \pi a \frac{\Delta V}{I} \dots$$

4.d) PROBLEMA DIRECTO DEL METODO GEOELECTRICO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS.

El problema directo de la exploración geoelectrica para medios estratificados es el de determinar el comportamiento del campo eléctrico a partir de un corte geoelectrico determinado.

El Problema es resuelto por dos métodos. Uno es el de la solución por medio de la Ecuación de Laplace para medios estratificados. El otro método empleado es el conocido como el de las imágenes eléctricas.

Estos, han sido utilizados para la solución del caso de n horizontes eléctricos homogéneo de extensión ilimitada y de estratificación horizontal.

Para el caso de dos capas

$$R = R \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^2 r}{[r^2 + (2nh)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

donde:

- ρ , resistividad aparente
- ρ_1 , resistividad del primer horizonte
- r , distancia en la superficie desde el punto donde se mide el potencial a la fuente de energía.
- k , el factor de reflexión
- h , espesor de la capa considerada

Para el caso de que se use configuración Wenner, será:

$$\rho = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{\left[1 + \left(\frac{2nh/a^2}{1} \right)^2 \right]^{3/2}} \right\}$$

4.e) PROBLEMA INVERSO DEL METODO GEOELECTRICO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS.

El problema inverso, es el de obtener el corte geoelectrico a partir de un campo electrico conocido. La interpretacion es similar al problema inverso, existiendo dos tipos de interpretaciones una cualitativa y otra cuantitativa.

e.i) Interpretación Cualitativa.- Este tipo de interpretación tiene como objetivo dar una idea general sobre la Geología del área estudiada.

Se realiza la interpretación trazando curvas de igual resistividad conocidas como curvas de isorresistividades aparentes, que son trazadas a la vertical del centro del sondeo eléctrico vertical (S.E.V.), tomando como referencia el valor "a" (separación entre electrodos) para el caso Wenner y AB/2 para el ca

so Schlumberger.

e.ii) Interpretación Cuantitativa.- La finalidad es la de determinar la distribución espacial de la resistividades en el subsuelo. Mencionaremos entre ellos el de Reducción y el de Superposición, que son los más usados.

La práctica de los métodos de superposición y de reducción, necesita de catálogos o colecciones de curvas maestras o patrón.- Estas son obtenidas a partir de las soluciones del problema directo antes obtenido, para 2,3,4 y 5 horizontes, graficándose en el eje vertical ρ_0 y en el horizontal $AB/2$.

En el método de superposición, se comparan directamente las curvas de campo por interpretar con las curvas maestras, hasta encontrar una de estas que coinciden con la primera.

e.iii) Métodos de Reducción.- Conocido como método del punto auxiliar en el cual, artificialmente se reduce el número de capas, sustituyendo las dos primeras por una sola equivalente y así sucesivamente, lo que permite aplicar el método de superposición con una colección de curvas patrón de dos o tres horizontes. Este método tiene la desventaja de que la exactitud disminuye conforme aumenta el número de horizontes.

Curvas de dos Capas.- En este caso se usa el método de superposición, guardando el paralelismo entre los ejes de la curva de campo y las curvas maestras, marcamos la "cruz" y el valor de la relación ρ_1 / ρ_2 , obteniéndose H_1 , ρ_1 y ρ_2 .

Curvas de tres Capas.- (Método de Superposición). Teniendo graficada la curva de campo, por una rápida inspección se define el tipo de curva (A, K, Q, H.). Se hace coincidir alguna curva patrón con la curva de campo. En las curvas patrón aparecen las relaciones de resistividades y espesores, obteniéndose la info

mación suficiente que determina completamente el corte geoelectrónico.

Curvas de tres Capas.- (Método de Reducción). Se identifica el tipo de curva ya que se utilizarán las curvas maestras de dos capas. Se hace coincidir la parte izquierda de la curva de campo con la patrón. Se calca sobre la curva de campo, la marca de resistividad (señales numeradas que aparecen sobre el eje vertical de las curvas patrón, y que corresponden a las resistividades verdaderas de las capas), con los que determinamos h , e_1 y e_2 . Superponemos la curva de campo sobre el gráfico auxiliar correspondiente, colocando la marca cruz en el origen, conservando paralelos los ejes, durante todo el proceso. En el gráfico auxiliar se toma la curva que corresponde al valor de e_1 / e_2 y se calca sobre la curva de campo. De nuevo se utiliza la lámina patrón de dos capas, se mueve una hoja respecto de la otra hasta que la parte derecha de la curva de campo coincida con una de las curvas patrón. Durante este proceso, hay que mantener la marca cruz (origen de coordenadas) de la lámina patrón en coincidencia de la curva auxiliar trazada anteriormente, sobre la curva de campo se marca la posición de la segunda marca cruz y la marca de resistividad de la curva patrón la cual nos da ρ . La curva de campo de nuevo se coloca sobre el gráfico auxiliar, colocando la primera marca cruz. La segunda marca cruz quedará ahora cerca o sobre de una de las líneas de trazo. Esta línea llevará un número de identificación que es igual a h_2/h_1 y como conocemos h_1 , determinamos h_2 .

CAPITULO III

OBJETIVO DE LA PROSPECCION SISMICA Y ELECTRICA PARA UN PROBLEMA ESPECIFICO

III.1.- ANTECEDENTES.

La Ciudad de Hermosillo, Capital del Estado de Sonora enfrenta - uno de los principales problemas derivados de la explosión demográfica: El Abastecimiento de Agua Potable.

Hasta la fecha sus demandas de agua han sido satisfechas mediante el aprovechamiento de los escurrimientos superficiales del -- Río Sonora, almacenados en la Presa Abelardo L. Rodríguez, y de las aguas subterráneas extraídas por pozos perforados en el su-- bálveo del mismo Río.

En los últimos años sin embargo se ha puesto de manifiesto que - el Sistema de Abastecimiento actual no tiene la capacidad para - satisfacer las crecientes necesidades de la Ciudad y que la disponibilidad de agua en las inmediaciones de ésta es insuficiente para tal fin puesto que los escurrimientos del Río Sonora son -- transitorios y de cuantía muy variable; además, la capacidad de la Presa ya de por sí reducida va en decremento a consecuencia - de su azolvamiento. A esto hay que agregar una contaminación de agua provocada por la descarga de aguas negras y desecho al Vaso de la Presa.

Es por eso que se precisaba realizar un Estudio tendiente a lo-- calizar fuentes complementarias en Zonas circunvecinas a la ciu-- da Ciudad.

III.2. OBJETIVO DEL ESTUDIO.

Esta Tesis pretende presentar las condiciones Geohidrológicas--

que prevalecen en las proximidades de la Presa Abelardo L. Rodríguez mediante exploración Geofísica. Esta Exploración Geofísica nos permitirá:

- a) Seleccionar la zona más favorable para emplazar las captaciones de agua subterránea, que permitan complementar el Abastecimiento de Agua Potable de la Ciudad de Hermosillo.
- b) Definir la profundidad de la roca basal en esa zona.
- c) Correlacionar velocidades sísmicas con la columna estratigráfica de los pozos cercanos.
- d) Determinar formaciones saturadas a partir de sus valores de resistividad.

III.3.- METODO DE TRABAJO.

El Estudio se llevo a cabo siguiendo esta secuencia:

En primer lugar se recopilaron los informes correspondientes a los estudios Geohidrológicos de las Cuencas de los Ríos Sonora, San Miguel y Zanjón, así como los datos referentes al Sistema de Abastecimiento actual de la Ciudad.

Con base en el conocimiento preliminar de la Región circunvecina a la Capital, adquirido mediante reconocimiento de campo y revisión de la Información Recolectada, se seleccionó una zona por presentar a primera vista las condiciones requeridas para resolver el problema. Esta zona es la denominada Mesa del Seri.

Seguidamente se elaboró un programa para la Exploración Geofísica del subsuelo considerando las características del marco Geológico local y la ubicación de los pozos que podrían constituir puntos de apoyo para la interpretación de los sondeos.

La Exploración Geofísica consistió en 58 sondeos de resistividad-inferiéndose de su interpretación la estructura Geológica del sub

suelo, la probable distribución espacial de la calidad del agua subterránea y en consecuencia la posición y geometría de las -- formaciones que constituyen acuíferos.

Así mismo se efectuó un Estudio de Sísmica de Refracción para poder determinar la profundidad de basamento sobre el perfil y poder correlacionar las velocidades sísmicas con las resistividades de los sondeos eléctricos.

CAPITULO IV

LOCALIZACION Y DESCRIPCION DEL AREA.

IV.1.- LOCALIZACION Y EXTENSION.

La zona denominada "Mesa del Seri" está situada en la porción Central del Estado de Sonora, entre los meridianos $110^{\circ} 45'$ a $110^{\circ} - 58'$ de longitud Oeste y entre los Paralelos $29^{\circ} 02'$ y $29^{\circ} 28'$ de latitud Norte.

La zona está enclavada en la Cuenca del Río Sonora inmediatamente aguas arriba de la Ciudad de Hermosillo, tiene forma aproximadamente rectangular y extensión superficial de unos 340 km². Dentro de ella se encuentran los poblados Mesa del Seri; del cual toma su nombre y La Victoria.

IV.2. CLIMA.

El clima imperante en la Región considerada de acuerdo con la clasificación de Koeppen es seco o árido por su humedad y cálido por su temperatura.

La precipitación anual media es del orden de 300 mm, según los datos registrados en las estaciones climatológicas "Abelardo L. Rodríguez", "Carbó" y "El Orégano" ubicadas dentro de la zona estudiada.

La temperatura media anual es de unos 25°C , la capacidad evaporante de la atmósfera es muy elevada, la lámina media de evaporación potencial es de unos 2200 mm/año, esto representa casi ocho veces la precipitación media anual. Obviamente tales características se traducen en una escasa disponibilidad del recurso hidráulico. La baja precipitación pluvial genera escurrimientos transitorios de poca magnitud y un volumen infiltrado poco considerable, y esto último, aunado a la gran deficiencia de humedad, originada por la

intensa evaporación se traduce en una pobre recarga de las fuentes de agua subterránea.

IV.3.- FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA.

La zona estudiada está situada en el borde Oriental de la provincia fisiográfica de la zona desértica de Sonora, El Sistema Orográfico está constituido por cadenas montañosas más o menos paralelas con Orientación preferente NW-SE y elevaciones máximas dentro de la zona considerada entre 500 y 700 mts., sobre el nivel del mar.

Desde el punto de vista hidrográfico la zona está enclavada en la Cuenca del Río Sonora. Este Río nace en las inmediaciones de la población de Cananea; sigue un curso N-S hasta el poblado de Mazocahui donde cambia de dirección hacia el SW y desemboca a la Planicie Costera en las inmediaciones de la Ciudad de Hermosillo. A lo largo de su curso recibe a numerosos tributarios por ambas márgenes; el río San Miguel, su tributario principal concluye -- con el nacimiento de la Planicie.

La descripción geológica está basada parcialmente en estudios y levantamientos previos.

Muy importante es la contribución de la exploración geofísica al conocimiento de la Geología Subterránea y de la Hidrogeología de la zona considerada, aunque con esta se alcanzaron profundidades relativamente reducidas (300 m) su utilidad es obvia pues es precisamente esta parte del marco geológico la que mayor interés reviste por lo que toca al aprovechamiento de las aguas subterráneas.

La columna estratigráfica de la región está integrada por rocas desde la Era Paleozoica hasta el período reciente.

Los afloramientos más antiguos se encuentran en las Sierras; ro-

cas metamórficas de edad Paleozoica (calizas marmorizadas), rocas ígneas intrusivas pre-terciarias (granitos) y rocas ígneas extrusivas del terciario (andesitas, riolitas, basaltos y tobas). Una de las unidades estratigráficas principales, tanto por su extensión superficial como por su importancia hidrogeológica es la llamada localmente conglomerado Baucarit. Está compuesto por detritos de rocas terciarias, formando extensas terrazas cortadas por las corrientes actuales, que separan entre sí los Valles principales.

Las rocas más jóvenes son los materiales aluviales del reciente, expuestos en la superficie de los Valles y en los cauces.

En las estribaciones de las Sierras estos depósitos forman abanicos aluviales y depósitos de talud que cubren a los rellenos antiguos.

IV.4.- HIDROGEOLOGIA.

Las rocas pre-terciarias son impermeables por su estructura cristalina masiva.

Localmente pueden contener pequeñas cantidades de agua en la cobertura alterada, pero desde el punto de vista regional se comportan como barreras al flujo de agua y por lo mismo constituyen las fronteras laterales de los acuíferos granulares.

Los rellenos tienen un espesor considerable ya que se depositaron en profundas fosas tectónicas formadas por el hundimiento de grandes bloques.

A través de exploraciones y captaciones se tiene cierto conocimiento de su parte superficial (300 m) desconociéndose sus características a mayores profundidades, no obstante es lógico suponer que su permeabilidad y porosidad decrecen conforme aumenta la profundidad a causa de la compactación por peso propio.

Los materiales de grano medio a grueso no cementado y poco conso

lidad tienen capacidad de infiltración y permeabilidad medias. En la superficie constituyen receptores del agua de lluvia que transmiten el agua infiltrada hasta la zona de saturación.

Bajo la superficie freática regional constituyen acuíferos heterogéneos de geometría irregular.

Los materiales de grano fino tienen alta porosidad pero su permeabilidad y capacidad de infiltración son bajas, por consiguiente sus afloramientos no favorecen la recarga de las fuentes subterráneas.

En la zona saturada se comportan como semiconfinantes o confinantes.

Los depósitos recientes al igual que los antiguos tienen un comportamiento hidrogeológico variado dependiendo de su granulometría y estructura.

CAPITULO V

PROSPECCION SISMICA

V.1. EQUIPO EMPLEADO.

El aparato empleado en la exploración geosísmica fué un sismógrafo marca Sie Tipo P-11, de 12 canales y sismodetectores de baja-frecuencia: 7.5 Hertz, una caja de tiro y los cables correspondientes.

La perforación para los pozos de tiro se llevó a cabo mediante una máquina rotaria con barrena de 6 pulgadas de diámetro. Las profundidades de los pozos variaron desde 6 metros a 10 metros - dependiendo de la dureza del terreno.

Los registros o monitores de cada explosión se obtuvieron sobre papel foto-sensible, marca Kodak de 6 pulgadas de ancho.

La dinamita empleada fué de tipo gelatina al 40% y estopines - eléctricos de ruptura instantánea.

Las cargas en los pozos de tiro variaron desde 2 hasta 6 kilogramos de dinamita.

V.2. OPERACION DE CAMPO.

La exploración de refacción sísmica se realizó mediante 7 estaciones de un kilómetro de longitud alineados consecutivamente empleando en cada una de ellas 12 sismodetectores espaciados 100 metros y con punto de tiro al extremo y centro de cada estación - en tal forma que la separación entre puntos de tiro consecutivos fué de 500 metros.

Los resultados de la exploración sísmológica se presentan en el plano (V.1.) la cual en su parte superior muestra la gráfica - tiempo-distancia (Dromocrónicas) y en la parte inferior el corres

pendiente perfil geosísmico cuyas profundidades están referidas al nivel del terreno, las interpretaciones respectivas se obtuvieron a partir de los tiempos de primeros arribos de las ondas de propagación longitudinal a cada uno de los sismodetectores y de su aplicación a las Leyes Generales que rigen la Teoría de la Refracción Sísmica.

V.3. LEY DE VELOCIDADES APARENTES.

La Ley de velocidades aparentes dice que la velocidad con que aparenta transmitirse una onda es igual al cociente entre la velocidad del medio y el seno del ángulo de emergencia.

$$V_A = \frac{V_M}{\text{Sen } i_c}$$

Como normalmente se tienen puntos de tiro conjugados entonces --- tendremos una velocidad aparentes de " ascenso " y otra de " bajada " cuando el refractor esté inclinado, y las expresamos así:

$$V_{1a} = \frac{V_0}{\text{Sen}(i_c - \alpha)} \quad (\text{Velocidad Aparente de Ascenso})$$

$$V_{1b} = \frac{V_0}{\text{Sen}(i_c + \alpha)} \quad (\text{Velocidad Aparente de Bajada})$$

Donde i_c = Angulo Crítico

α = Echado del refractor

De donde deducimos que la velocidad real esta comprendida entre dos velocidades aparentes:

$$V_{1a} > V_1 > V_{1b}$$

.....

Por lo que la velocidad de ascenso es siempre igual o mayor que la real y está a su vez igual o mayor que la descendente.

Ahora deduciremos las fórmulas de trabajo para dos refractores inclinados, que se pueden generalizar para más capas pero a medida que aumenta el número de refractores va disminuyendo la precisión ya que por ser un método gráfico sufre de este inconveniente.

Sabemos que:

$$\text{Sen } i_c = \frac{v_1}{v_A}$$

De la figura (V.1) vemos que

$$\text{Sen } (i_{12} + W_{12}) = \frac{v_1}{v_{2b}} \quad \text{Donde se deducen } i_{12}, W_{12}, v_2$$

$$\text{Sen } (i_{12} - W_{12}') = \frac{v_1}{v_{2a}}$$

$$\text{Sen } (\beta_{13} + W_{12}) = \frac{v_1}{v_{3b}} \quad \text{Donde se deducen } \beta_{13}, \alpha_{13}$$

$$\text{Sen } (\alpha_{13} - W_{12}') = \frac{v_1}{v_{3a}}$$

Por la Ley de Snell:

$$\frac{\text{Sen } \beta_{13}}{\text{Sen } (i_{23} + W_{23})} = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{Donde se deducen } i_{23}, W_{23}, v_3$$

$$\frac{\text{Sen } \alpha_{13}}{\text{Sen } (i_{23} - \beta_{23})} = \frac{v_1}{v_2}$$

Los tiempos de intercepción de la gráfica Tiempo - Distancia nos permite calcular las profundidades normales a los contactos.

$$T_{1a} = \frac{2h_{1a} \text{ Cos } i_{12}}{v_1} \quad T_{1b} = \frac{2h_{1b} \text{ Cos } i_{12}}{v_1}$$

$$T_{2a} = \frac{2h_{2a} \text{ Cos } i_{23}}{v_2} + \frac{h_{1a} [\text{Cos } \alpha_{13} + \text{Cos } \beta_{13}]}{v_1}$$

$$T_{2b} = \frac{2h_{2b} \text{ Cos } i_{23}}{v_2} + \frac{h_{1b} [\text{Cos } \alpha_{13} + \text{Cos } \beta_{13}]}{v_1}$$

V.4. INTERPRETACION.

El análisis de la gráfica correspondiente a cada una de las 7 Estaciones observadas sísmicamente define la presencia de 5 capas de material de relleno con constantes elásticas diferentes características por el valor de su velocidad longitudinal cuya magnitud también es correlacionable con la posible litología de los estratos respectivos. Las capas antes mencionadas se presentan en forma de acuñamientos tal como se muestra en el perfil geosísmico de la gráfica T-D que a continuación se describen.

A.- CAPA DE 700 A 800 M/SEG.- Corresponde a un estrato superficial en la parte occidental de la línea estudiada, con espesores de unos 20 metros y correlacionable con gravas y arenas o con li

mo húmedo.

B.- CAPA DE 1150 A 1600 M/SEG.- Corresponde también a un estrato superficial el cual se acuña con la capa anterior en las proximidades del PT-II y persiste sobre todo el resto de la línea explorada con espesores variables entre 40 y 120 metros, sus velocidades son correlacionables con materiales finos o aluvión -- con profundidad.

C.- CAPA DE 2000 A 2300 M/SEG.- Esta capa se detecta sobre la -- parte occidental de la línea explorada y sus velocidades con correlacionables con aluvión a profundidad o con materiales finos -- como arcillas.

D.- CAPA DE 2450 A 2500 M/SEG.- Esta capa acusa grandes espesores descansando sobre la roca volcánica; se muestra desde la parte occidental hasta la parte central de la línea; sus velocidades son correlacionables con materiales finos cementados o con aluvión a profundidad.

E.- CAPA DE 2750 A 2900 M/SEG.- Este estrato se detecta únicamente sobre la porción oriental de la línea, son correlacionables con materiales finos o material compactado.
Esta capa puede considerarse ya como impermeable.

F.- CAPA DE 3200 A 3300 M/SEG.- Esta capa se manifiesta únicamente en la porción oriental de la línea, sus velocidades son correlacionables, con granito posiblemente alterado en la parte superior; se considera por lo tanto impermeable.

CAPITULO VI

EXPLORACION GEOELECTRICA

VI.1. EQUIPO EMPLEADO.

Se empleó un aparato medidor de cero alimentado con corriente con
inua.

En este aparato se realizan las lecturas por oposición o compensa
ción ya que el circuito de potencial es en realidad doble.

El primero está colocado en serie con el galvanómetro y sirve pa-
ra eliminar la influencia del potencial espontáneo con el fin de
dejar la zona de investigación eléctricamente neutra.

El segundo circuito de tensión equilibra la diferencia de poten-
cial existente entre M y N a través del milivoltímetro y del gal-
vanómetro midiendo por oposición la tensión entre M y N.

Los electrodos de potencial que se usaron fueron de bronce y los
electrodos de corriente de acero.

VI.2. TECNICA DE CAMPO.

En esta investigación se utilizó la configuración electródica de
Wenner utilizando los S.E.V. como modalidad para obtener las re-
sistividades.

La zona de estudio presentó el problema de los "contactos".

La corriente (I) que se envía al terreno depende de la resis-
tencia que existe entre el terreno y el electrodo de corriente a-
esta resistencia se la denomina de contacto.

Hay formas de disminuir la resistencia de contacto y consistió en
regar los electrodos de corriente con agua salada y cuando aún --
aún no se lograba buen contacto entonces se utilizó el sistema de
utilizar varios electrodos de corriente conectados en paralelo lo

grándose magníficos resultados.

VI.3. INTERPRETACION.

Para la obtención de las resistividades y espesores reales, se ha ché mano de la interpretación Cualitativa y Cuantitativa, para es to hay la necesidad de trazar algunas gráficas.

Se trazaron curvas de isorresistividades aparentes, los puntos -- del S.E.V., se dibujan en el perfil topográfico, en cada punto a lo largo del eje vertical se ponen los valores de resistividad a la profundidad de $AB/3$ y en base a estos valores de ρ_a , se dibujan las curvas de igual resistividad. La configuración de éstos tos, caracterizan cualitativamente el corte geoelectrico.

Para la interpretación cuantitativa, se trazan las curvas de campo sobre papel bilogarítmico al mismo módulo que las curvas maestras.

La interpretación cuantitativa se realizó por el método de reducción. Graficando sobre el perfil topográfico, en los ejes verticales de los centros de los sondeos, los contactos geoelectricos -- con sus respectivas resistividades. El trazado de la estructura - geoelectrica se realizó con la ayuda fundamental de las curvas de isorresistividades aparentes, que dan una idea de la estructura - geológica.

Los resultados de la Exploración Geoelectrica se presentan en los planos V-2, V-3, y V-4. Para expresar estos resultados en térmi-- nos de la Litología, se correlacionaron los valores de resistividad con la información Geológica y de los cortes litológicos de - los pozos de la región.

Los datos disponibles respecto a la calidad del agua extraída se utilizaron para asociar los valores de la resistividad con la probable salinidad del agua contenida por los materiales de cada sub zona.

Agrupando la resistividad reales conforme a rangos seleccionados de valores, se delimitaron las siguientes "zonas", que definen a los principales elementos de la estructura geológica del subsuelo.

ZONA A

Esta zona comprende resistividades entre 20 y 130 ohms-m., las cuales corresponden a materiales de granulometría y grados de saturación, compactación y cementación muy variados.

Las subzonas A_1 y A_2 , de resistividades entre 20 y 80 ohms-m., corresponden a materiales de grano medio a grueso, poco o nada consolidados, cuya permeabilidad decrece conforme aumenta la resistividad. La subzona A_3 definida por resistividades entre 80 y 130 ohms-m., corresponde a materiales de grano grueso (arena gruesa a boleo) de alta permeabilidad, aunque también puede tratarse de rellenos consolidados o cementados (conglomerados) poco permeables. Abajo de la superficie freática regional, los materiales comprendidos en las subzonas citadas contienen agua de baja salinidad. La subzona A_4 es un elemento superficial de alta resistividad (100 a 180 ohms-m.), constituido por materiales secos o parcialmente saturados, predominando capas de evaporita, llamada "Argemasa" en la localidad.

ZONA B

Agrupada a las resistividades comprendidas entre 8 y 18 ohms-m., características de los rellenos de grano predominantemente fino: arcillas, arcillas arenosas y arenas finas. En la zona saturada estos materiales contienen agua de salinidad variada.

Su permeabilidad es baja, en términos generales, aunque las resistividades mayores de 10 ohms-m., también pueden corresponder a materiales más gruesos de permeabilidad media: arenas y gravas.

Comprende a las resistividades más altas que definen el basamento constituido por rocas cristalinas (granitos) expuestas en las sierras próximas.

VI.4. PROCESAMIENTO DE LAS MEDICIONES.

El procesamiento de las mediciones se efectuó de la siguiente manera:

- a) Cálculo de las Resistividades aparentes
- b) Trazado de las gráficas de Resistividad Aparente - Distancia - Interelectrónica que proporciona una primera idea, local y regional de la estructura del subsuelo a lo largo de los perfiles.
- c) Configuración de las curvas de Isorresistividad aparente, que refleja más claramente los rasgos estructurales en su conjunto.

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1. PERFILES GEOELECTRICOS.

PERFIL P₁

En éste predomina la zona A. En los primeros 100 metros se muestran los estratos A₂ y A₃ intercalados con algunos estratos B de menor extensión; entre los 100 metros y la profundidad máxima explorada, se encuentra un gran estrato de materiales clasificados como A₁, que se extiende a todo lo ancho del Valle. El basamento rocoso se encuentra a profundidades menores de 250 metros en los bordes del Valle, encontrándose abajo de la profundidad explorada en la porción central del mismo.

PERFIL P₇

Este perfil revela también una estructura heterogénea. En los primeros 70 metros se encuentran principalmente materiales clasificados como "A" abajo de la profundidad predomina la zona B en el tramo 705-713. En este mismo tramo el basamento presenta una configuración irregular que sugiere la presencia de fallas que lo han fraccionado en bloques escalonados.

PERFIL P₈

Este perfil revela una estructura más heterogénea. En el tramo 801-807 predomina la zona A; en el resto del perfil ésta se encuentra cubierta por un gran estrato de materiales clasificados como "B", cuyo espesor decrece hacia el borde del Valle.

El basamento se identifica a profundidades menores de 200 m., --

en el tramo 801-804 desapareciendo bruscamente en el sondeo - 804; en el resto del perfil no aparece.

En resumen y de acuerdo con todo lo expuesto, las condiciones más favorables para el emplazamiento de pozos en cuanto a permeabilidad de los acuíferos, se encuentra en toda la faja ocupada por los perfiles P₁ y en la mitad occidental de las ocupadas por los perfiles P₇ y P₈.

VII.2. PERFIL SISMICO.

Este perfil nos muestra una depresión entre los PT-11 y PT-6- cuyas velocidades sísmicas podrían corresponder a materiales granulares no compactados y que por su espesor representan la zona posiblemente productora. Del PT-6 al PT-1 el techo impermeable se encuentra a profundidades del orden de 180 m siendo los materiales suprayacentes de granulometría fina (limo-arcilloso).

En la parte noroeste del perfil a partir del PT-11 puede presentar posibilidades si la cantidad de material fino no es -- grande.

VII.3. INTEGRACION DE INFORMACION SISMICA, ELECTRICA Y LITOLOGICA.

La interpretación sísmica y eléctrica presentan semejanza estructural en cuanto a que las dos definen un posible cauce sepultado relleno de material mal graduado constituido por gravas y arenas con diferentes porcentajes de finos. Esta secuencia se continúa en los perfiles 7 y 2. Es decir podríamos correlacionar subzonas así: Del SEV-804 al SEV-807 en el perfil 8 correspondería a los SEV-703 y SEV-706 del perfil 7 y a los SEV-102 al SEV-105.

í mismo en todos los perfiles geoelectrico se marca hacia el su-
ste un mayor porcentaje de material arcillo-limoso de baja per-
meabilidad.

nsiderando el corte litológico del pozo 16 podemos resumir que-
la correlación con el SEV-808 es casi perfecta ya que se marca la
zona arcillosa desde los 30 metros de profundidad en la interpre-
tación Cuantitativa del SEV.

igualmente podemos correlacionar el corte litológico del pozo con
la interpretación sísmica entre los PT-8 y PT-9, en donde la velo-
cidad de 1225 M/S se correlaciona con los primeros 35 metros en -
donde los materiales varían desde arcilla hasta boleas.

II.4. CONCLUSIONES.

PRIMERA: En el subsuelo de esta zona existen acuíferos superficia-
les constituidos por depósitos recientes de grano grueso, y acuí-
feros profundos constituidos por depósitos antiguos poco consoli-
dados y muy permeables.

unos y otros están separados por estratos arcillosos de extensión
y espesor muy irregular que funcionan como confinantes o semicon-
finantes.

SEGUNDA: Los acuíferos superficiales se explotan con fines agrí-
colas por medio de un gran número de pozos someros que extraen un
volumen anual estimado en unos 40 millones de m³.

Los acuíferos profundos en cambio solo son captados por unos cuan-
tos pozos profundos que extraen un volumen de agua poco significa-
tivo a través de ellos circula un caudal aproximado de 1m³/Seg.

(Diagrama Esquemático).

TERCERA: La Presa Abelardo L. Rodríguez suministra actualmente a
la Ciudad un caudal de 560 L.P.S. aunque con bastante irregulari-

dad a causa de las notables variaciones del volumen de escurrimien-
to de las corrientes, que la alimentan. Su capacidad de almacena-
miento esta decreciendo por azolvamiento.

El flujo subterráneo procedente del Valle del Río Sonora y la in-
filtración del Vaso suman un caudal algo mayor de $1m^3/Seg.$ y cons-
tituye la alimentación que recibe el subálveo aguas abajo de la --
cortina.

Las captaciones de agua subterránea que abastecen a la Ciudad es-
tan situadas inmediatamente aguas abajo de la Cortina de la Presa.
En la actualidad 26 pozos suministran 1200 L.P.S.

CUARTA: Los acuíferos de la Mesa del Serf, constituyen la fuente-
más atractiva para complementar el abastecimiento de Hermosillo, -
sin embargo el recurso hidráulico renovable ya esta siendo prove-
chado con fines agrícolas y considerando que el abastecimiento de-
agua potable es un uso que tiene prioridad sobre todos los demás y
a fin de no lesionar el desarrollo agrícola local seria convenien-
te negociar con los usuarios de la localidad la adquisición de un-
volumen de agua equivalente al incremento de las demandas de la --
Ciudad y tramitar con la SARH su cambio de uso.

QUINTA: El área recomendada para emplazar los pozos dista unos 8-
km. del borde oriental de la Ciudad (Área achurada del Plano # /)
en esa área los niveles del agua se encuentran a profundidades me-
nores de 20 metros; la salinidad del agua es menor de 1000 ppm, y-
los materiales permeables tienen espesores hasta de 250 metros.
Se recomienda perforar pozos de unos 200 m. de profundidad mediante
los cuales se estima obtener un caudal medio de 100 L.P.S. por pozo
con abatimientos menores de 25 metros.

SEXTA: De acuerdo con las proyecciones de Población se estima que-
para el año 2000, la Ciudad de Hermosillo demandará un caudal adi--

cional de 900 l.p.s. y considerando un caudal de 80 a 100 l.p.s. por pozo serán necesarios de 12 a 18 pozos para satisfacer el incremento de las demandas. Actualmente Hermosillo, con una población de 250,000 habitantes donde 25,000 carecen de agua, necesita un aporte adicional de 100 l.p.s.

SEPTIMA: La zona Mesa del Serí es muy ventajosa por presentar -- condiciones favorables para captar agua del subsuelo y por estar muy próxima a la Ciudad, pero presenta por otra parte la desventaja de que el recurso Hidráulico renovable ya está siendo aprovechado, por consiguiente, todo incremento del bombeo sería a -- costa del almacenamiento subterráneo y se traduciría en abatimientos progresivos de mayor magnitud que afectarían a las captaciones existentes.

COMENTARIOS

Tomando en cuenta la información obtenida en estudios previos respecto al comportamiento, recarga, explotación y características de los acuíferos, se vio la posibilidad de extraer permanentemente del subsuelo las cantidades de agua adicionales que requería la Ciudad de Hermosillo.

A partir de las conclusiones de este análisis y considerando los resultados de la exploración se seleccionaron áreas favorables para el emplazamiento de pozos.

El Estudio de Geoelectricidad tuvo una densidad mayor de observaciones por lo que fue el que más información suministró para la localización de las áreas favorables, no así el de Sísmica de Refracción ya que sólo se levantó una línea para la verificación --

parcial del Estudio Geoeléctrico. No obstante consideramos que - el levantamiento por el Método Eléctrico Resistivo fue suficiente para prospección de agua subterránea y nos proporcionó un panorama geológico-estructural del área estudiada así como una estimación de ciertos parámetros como porosidad, profundidades y espesores de capas, calidad del agua, proporción de materiales arcillosos, saturación, etc.

CAPITULO VIII

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

ASTIER J.L

GEOFISICA APLICADA A LA HIDROGEOLOGIA
PARANINFO

BHATTA CHARYA P.K. AND PATRA H.P.

DIRECT CURRENT GEOELECTRIC SOUNDING
PRINCIPLES AND INTERPRETATIONS
ELSEVIER, NEW YORK

CANTOS FIGUEROLA JOSE

TRATADO DE GEOFISICA APLICADA
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
MADRID 1974

CUSTODIO E. Y LLAMAS M.R.

HIDROLOGIA SUBTERRANEA
OMEGA, BARCELONA

DANKO JAN Y AIDA AZZE PAVON

GEOELECTRICIDAD I
UNIVERSIDAD DE LA HABANA 1972

GRIFFITHS D.H. Y KING R.F.

GEOFISICA APLICADA PARA INGENIEROS Y GEOLOGOS
PARANINFO

KING ROBERT
GEOLOGICAL RECONNAISSANCE IN
NORTHERN SIERRA MADRE OCCIDENTAL
OF MEXICO. 1936

ORELLANA ERNESTO
PROSPECCION GEOELECTRICA EN CORRIENTE CONTINUA
PARANINFO 1972 MADRID.

ORELLANA E. Y MOONEY H.
MASTER TABLE AND CURVES FOR VERTICAL
ELECTRICAL SOUNDING OVER LAYERED STRUCTURES
INTERCIENCIA, MADRID.

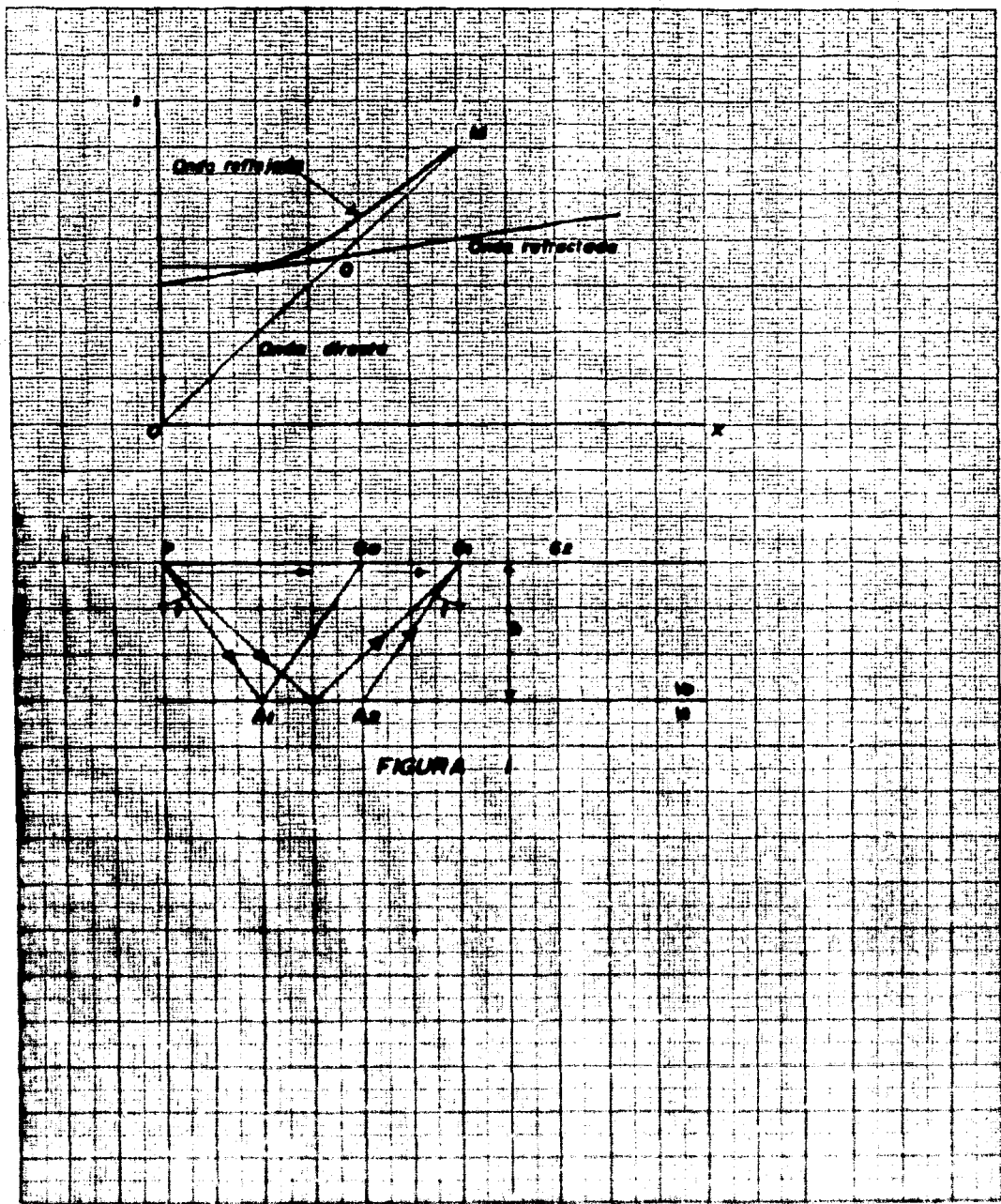
PARASNIS D.S.
PRINCIPIOS DE GEOFISICA APLICADA
PARANINFO, MADRID. 1971

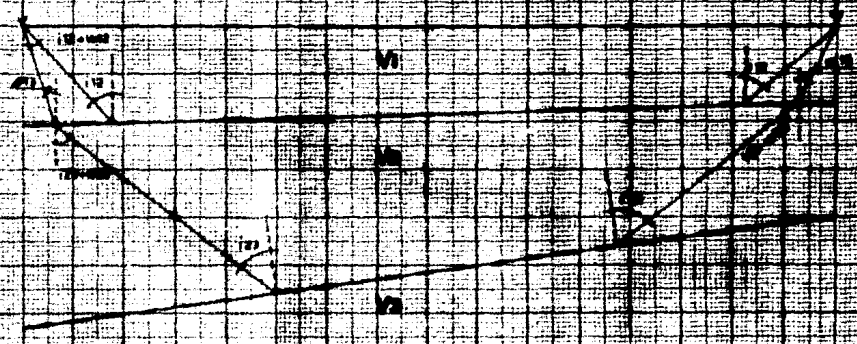
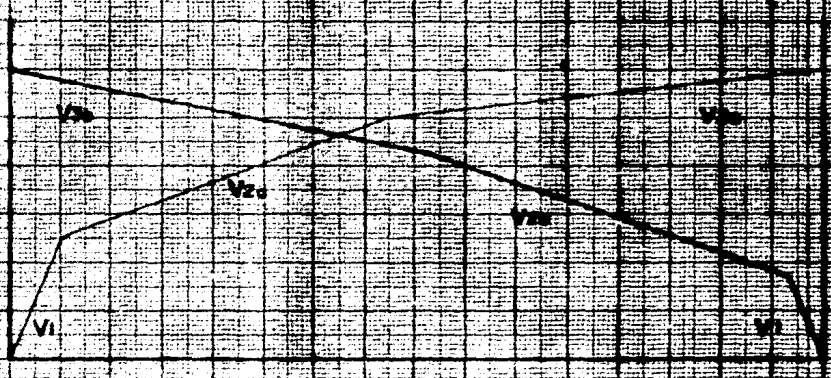
PEARL R.M.
GEOLOGIA
CECSA

ZOHDY, A.A.R. Y EATON, G.P.
APPLICATION OF SURFACE GEOPHYSICS
TO GROUND-WATER INVESTIGATIONS.
UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY

**ESTUDIOS GEOFISICOS EN DIVERSAS ZONAS
DEL ESTADO DE SONORA VOL. 1
REALIZADO POR I.D.S.A. PARA LA
SECRETARIA DE RECURSOS HIDRAULICOS. 1974**

**ESTUDIO GEOHIDROLOGICO PRELIMINAR DE LAS
CUENCAS ALTAS DEL RIO SONORA
ARIEL CONSTRUCCIONES, S.A. PARA LA
DIRECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS. 1970**

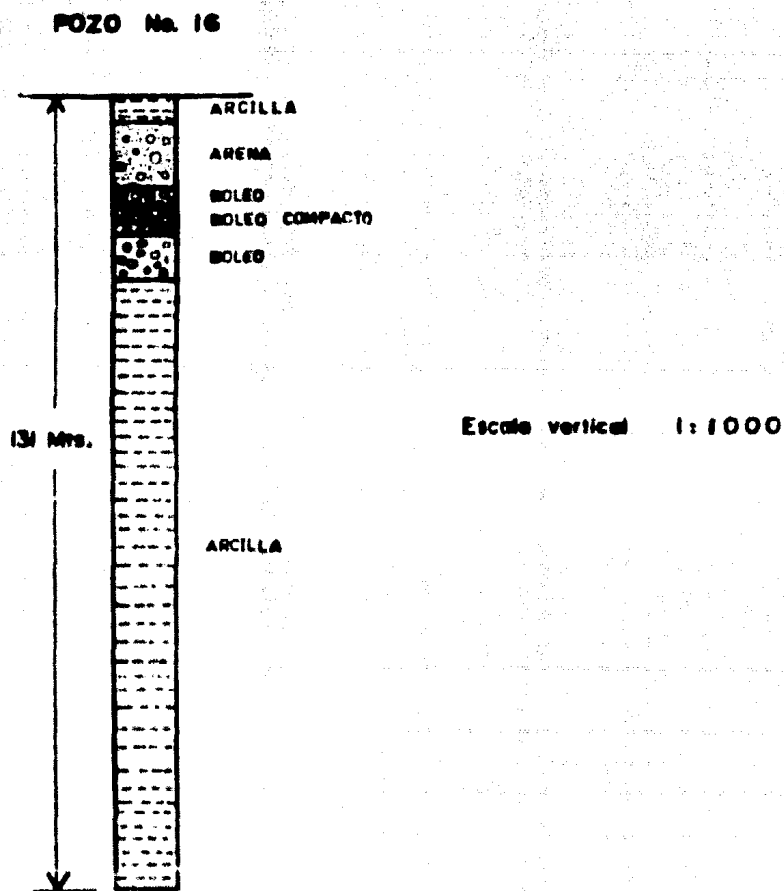


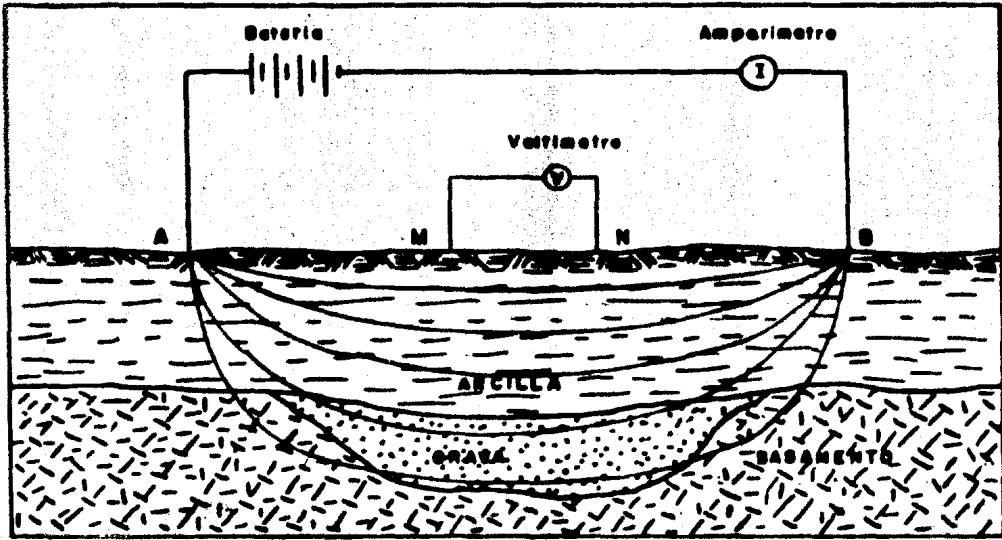


$V_1 > V_2 > V_3$

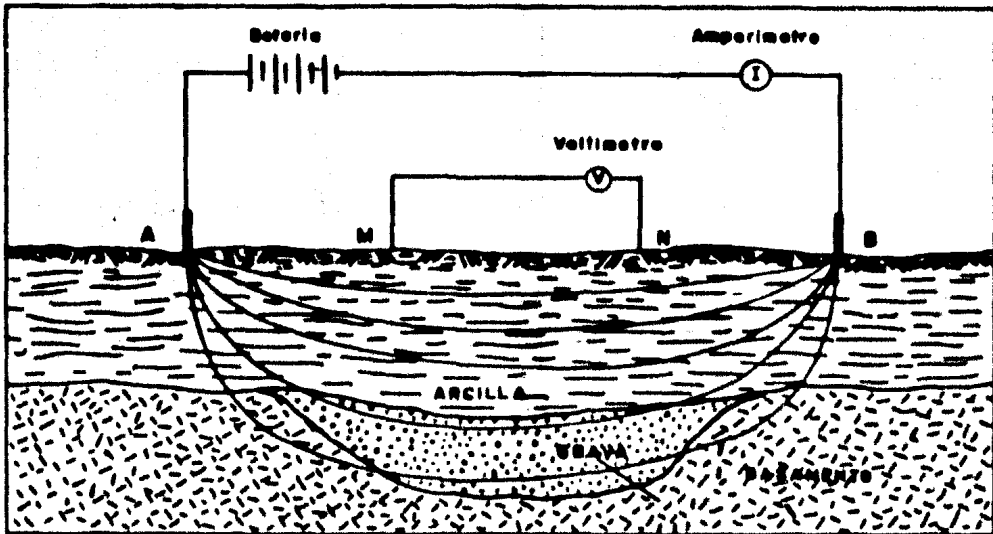
FIGURA 2.

CORTE LITOLOGICO DEL POZO No. 16



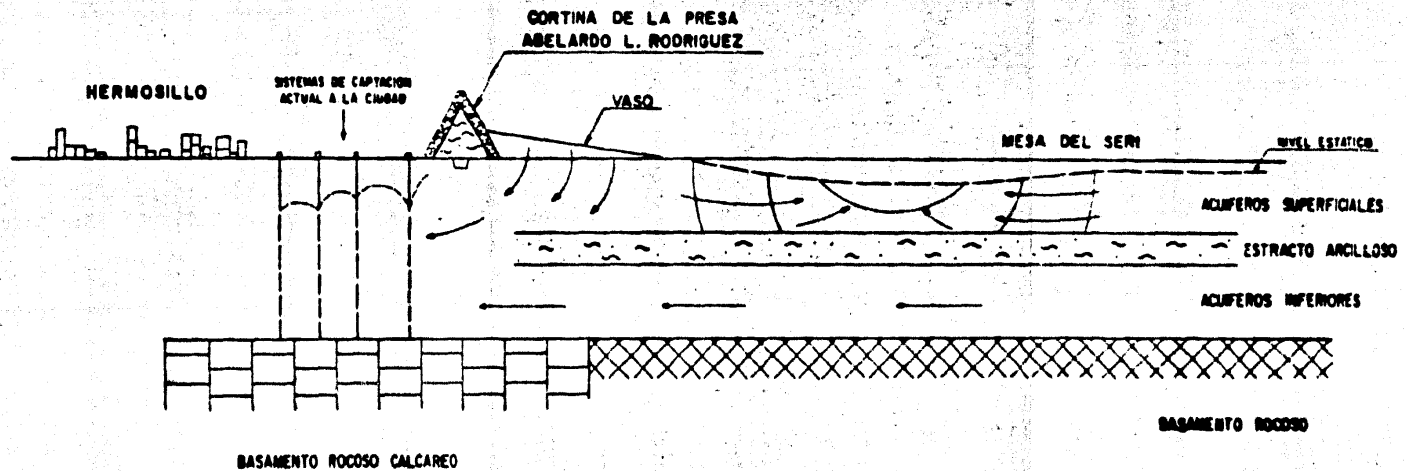


(FIGURA IV.2) DISPOSITIVO SCHLUMBERGER AB > 5MN



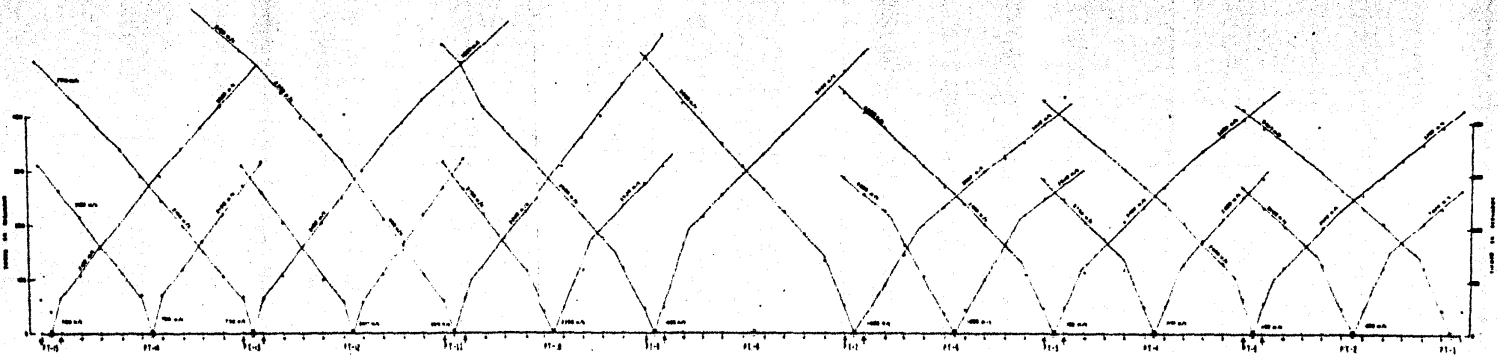
(FIGURA 3) DISPOSITIVO WENNER LOS ELECTRODOS SON EQUIDISTANTES
AM = MN = NB

DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LOS ACUIFEROS DE LA ZONA MESA DEL SERI

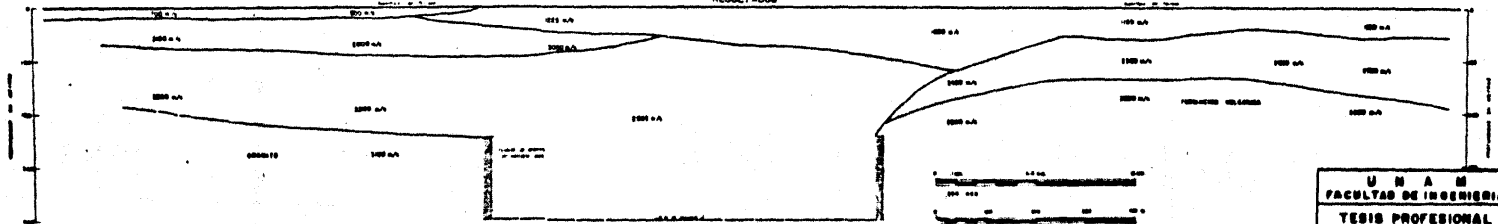


NOTA: ALIMENTACION DE LA MESA DEL SERI Y VASO DE LA PRESA HACIA LA ZONA DE CAPTACION ES DE APROXIMADAMENTE 1m³/A

INTERPRETACION DEL ESTUDIO SISMOLOGICO EFECTUADO EN LA PORCION ORIENTAL
DE LA PRESA ABELARDO L. RODRIGUEZ



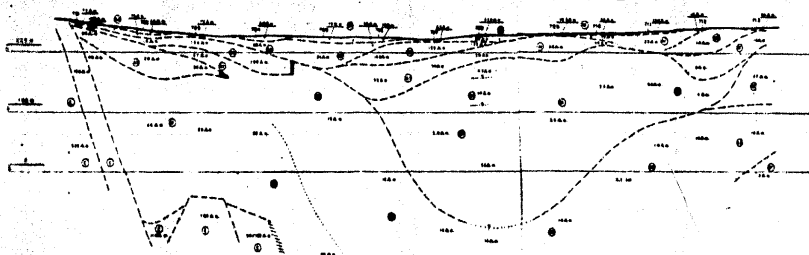
RESULTADOS



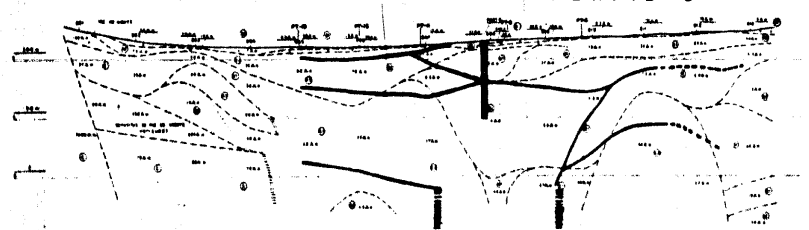
ESC. VERTICAL 1:4000
ESC. HORIZONTAL 1:10000

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
INVESTIGACION SISMOLOGICA
LOS GARCERAN RODRIGUEZ
PHILIPPE DE LA VEGA MAURICIO

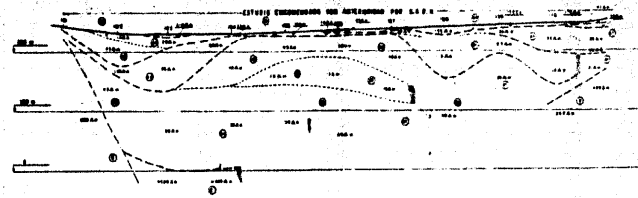
PERFIL 7



PERFIL 8



PERFIL 1



2076.5. Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.

- 1. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.
- 2. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.
- 3. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.
- 4. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.

2076.6. Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.

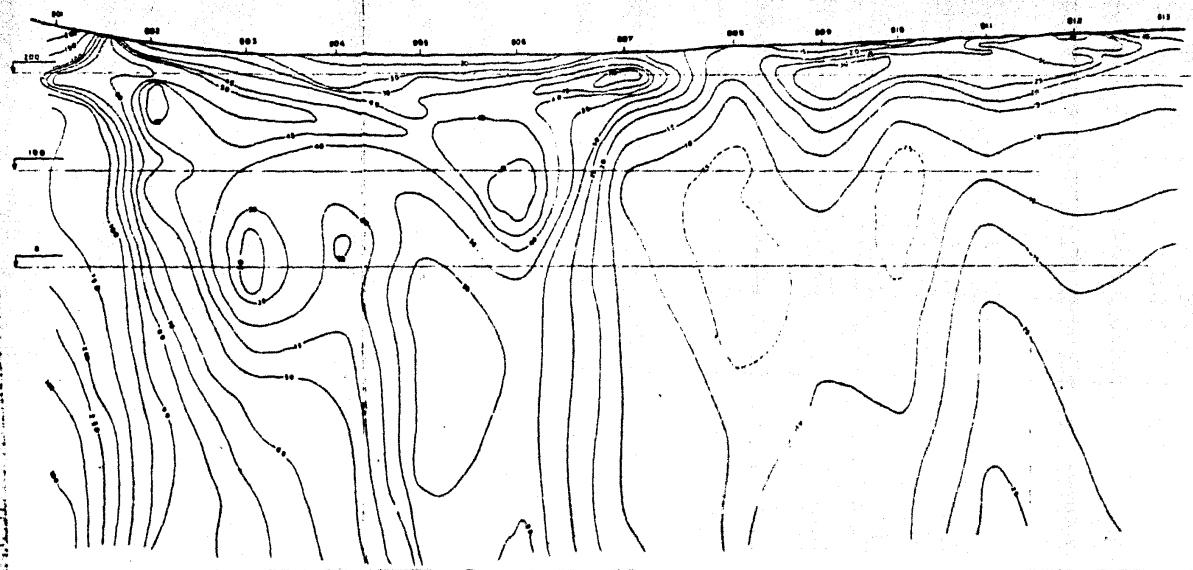
- 5. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.
- 6. **Sección transversal con M. 1:2500.**
Este perfil se elaboró para determinar la línea de terreno que debe seguirse en el trazado de la línea férrea, considerando la línea de terreno que se indica en el plano adjunto.

ESCALAS H: 1:25 000
V: 1:2 500

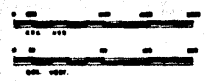


U N I V E R S I T A D
P A S A D O S D E I N D U S T R I A
T E C N I C O P R O F E S I O N A L
R E S U L T A D O S D E L A I N V E S T I G A C I O N
G E O L O G I C A
T E M A: D I S E Ñ O D E L A L I N E A F E R R E A
P A R T E: D I S E Ñ O D E L A L I N E A F E R R E A

PERFIL 8

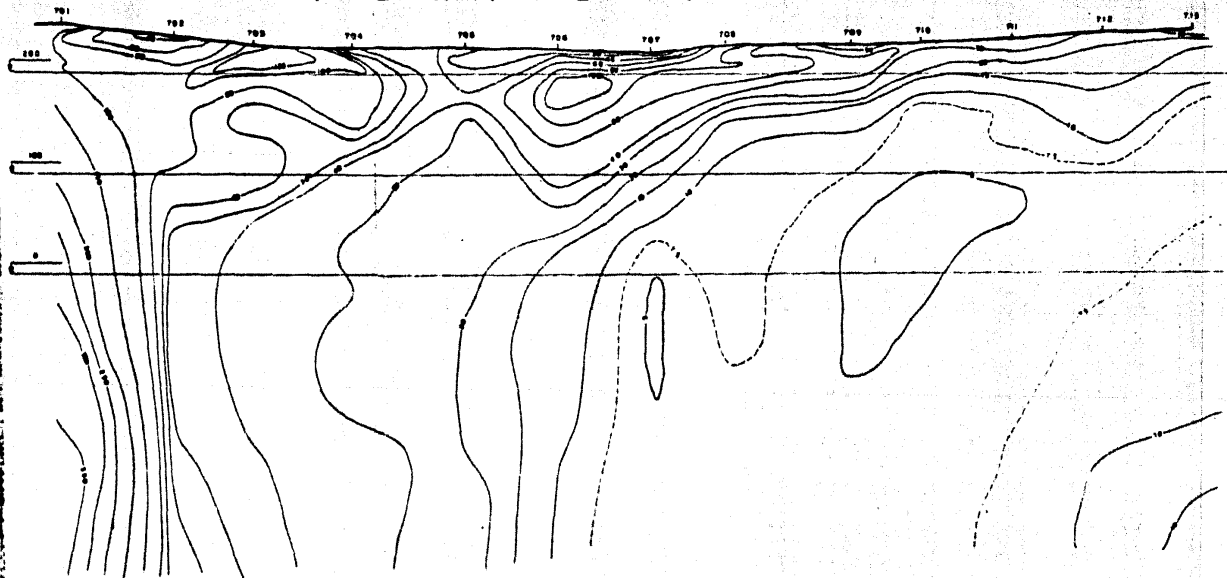


ESCALAS
H. 1: 25 000
V. 1: 2500

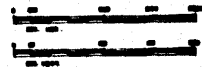


U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
PERFILES DE LOS SONDEOS Y CURVAS DE ISORESISTIVIDAD
LEON SANCHEZ ROBOAN PHILIPPE DE LA VEGA BAURICIO

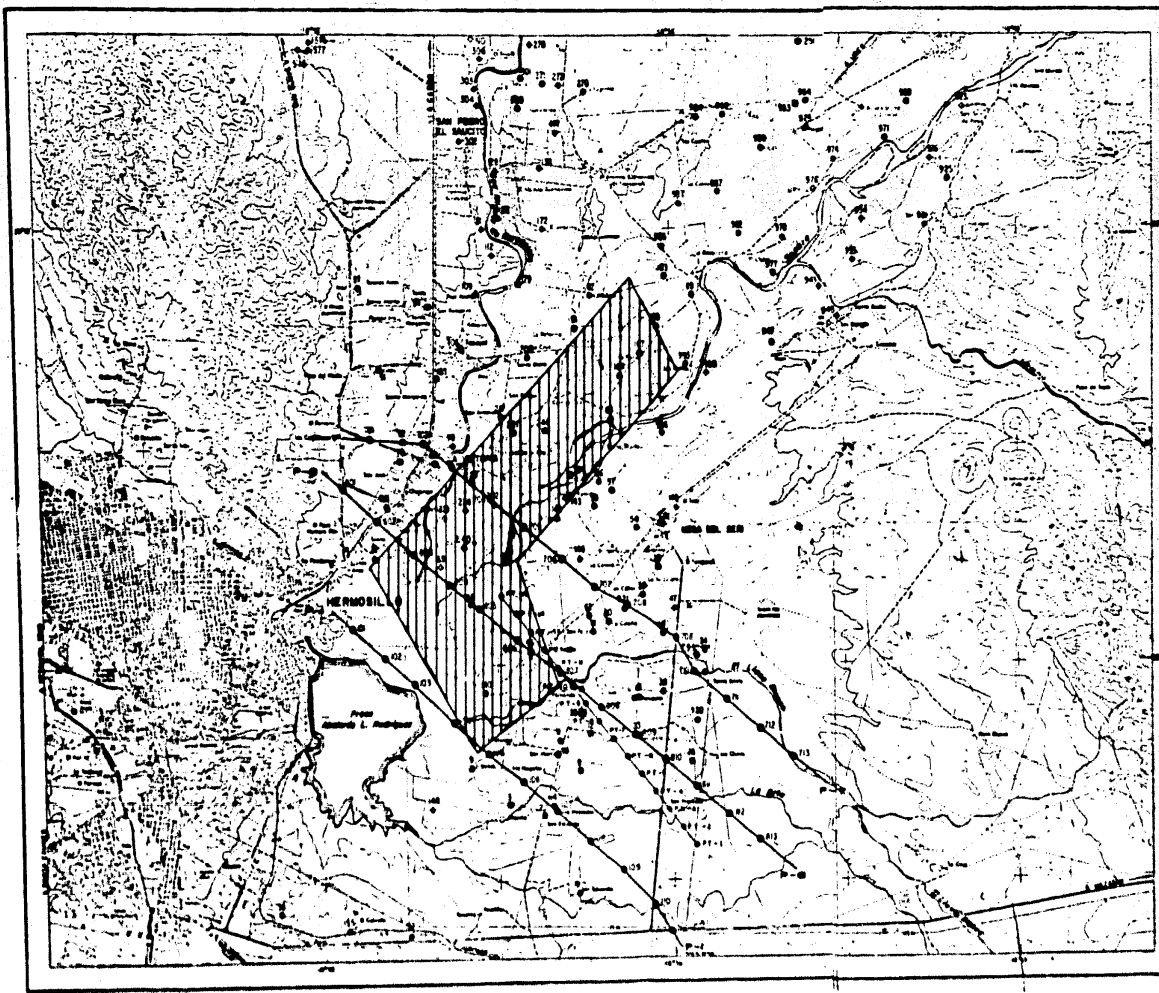
PERFIL 7



ESCALAS: H. 1: 25.000
V. 1: 2500

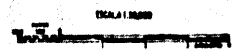


U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
PERFILES DE LOS SONDEOS Y CURVAS DE ISORRESISTIVIDAD
LEON SANCHEZ RODRIGUEZ PHILIPPE DE LA VEGA MARRICIO



EXPLICACION

- Calle _____
- Finca _____
- Parcela _____
- Pista de aterrizaje _____
- Ferrocarril _____
- Canal _____
- Canal de riego _____
- Canal de drenaje _____
- Arroyo _____
- Rio _____
- No. y calle _____
- Prova _____
- Cable de alta _____
- Prova _____
- Arroyo _____
- Cable de alta _____
- Prova _____



U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
 UBICACION DE LOS SONIDOS GEOELECTRICOS
 LEON SANCHEZ RODRIGUEZ PHILIPPE DE LA VEGA BARRON