



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS
DE CHARCAS, VENADO Y MOCTEZUMA
SAN LUIS POTOSI**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
LICENCIADO EN INGENIERIA GEOPISICA

P R E S E N T A :
RICARDO HERREJON CASADO

**TESIS CON
FALLA FE ORGEN**

MEXICO D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

		PAGINA
CAPITULO	I	GENERALIDADES
	I.1	Introducción
	I.2	Objetivos del trabajo
	I.3	Antecedentes
	I.4	Geografía
	I.4.1	Localización
	I.4.2	Vías de comunicación
	I.4.3	Clima
	I.4.4	Vegetación
	I.4.5	Fauna
	I.4.6	Agricultura , Ganadería y Minería
CAPITULO	II	GEOLOGIA E HIDROLOGIA
	II.1	Fisiografía
	II.2	Geología Histórica
	II.3	Geología Estructural
	II.4	Hidrografía
	II.5	Hidrogeología
	II.5.1	Marco Hidrogeológico Regional
	II.5.2	Rocas Consolidadas
	II.5.3	Rocas no Consolidadas
	II.5.4	El Agua en el Subsuelo
CAPITULO	III	EXPLORACION GEOLÉCTRICA
	III.1	Propiedades Electromagnéticas de las Rocas
	III.2	Ecuaciones Fundamentales
	III.3	Teoría del Sondeo Eléctrico Vertical
	III.3.1	Dispositivos Electrónicos
	III.3.2	Resistividad Aparente
	III.4	Problema Directo para el medio horizontalmente estratificado
	III.4.1	Representación de medio Estratificado
	III.4.2	Clasificación de Cortes Geoelectrónicos
	III.4.3	Solución del problema Directo para el medio H horizontalmente Estratificado

	III.4.1	Curva normal	44
	III.4.2	Formación resistiva aparente	45
	III.5	Cálculo de curvas de resistividad aparente	46
	III.5.1	Métodos de ampliación en series de la función normal	47
	III.5.2	Métodos de filtro lineal	48
	III.6	Problema inverso en los sondeos eléctricos verticales	51
	III.6.1	Métodos gráficos	52
	III.6.2	Métodos automáticos iterativos	54
CAPITULO	IV	INTEGRACION Y CORRELACION DE RESULTADOS	65
	IV.1	Perfiles Geoelectricos	66
	IV.2	Correlación Geofisica Geológica	72
CAPITULO	V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
	V.1	Resumen	73
	V.2	Conclusiones	75
	V.3	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

I. GENERALIDADES

I. 1. INTRODUCCIÓN.

Una de las zonas más áridas del Estado de San Luis Potosí, es la que se ubica en su porción noroccidental. Dentro de ella, el Valle conocido genéricamente como "El Bajado", comprende extensas superficies planas y centros de población, cuyos desarrollos agrícola, económico y de servicios municipales son seriamente restringidos por la escasez de agua.

La escasa ocurrencia de la lluvia y su irregular distribución en el tiempo dan como resultado la ausencia de corrientes superficiales de régimen semipermanente y la repetición de ciclos hidrogeológicos en que la recarga o alimentación por lluvias al subsuelo es notablemente baja.

Las áreas de los municipios de Charcas, Venado y Mostezuma son ejemplo claro de lo anterior. Con una precipitación media anual de 90 milímetros y factores geomorfológicos y litológicos relativamente adversos, requieren de cuidadosas investigaciones hidroecológicas como pauta a los trabajos de exploración directa del agua subterránea.

El presente trabajo es el resultado del interés que he tenido por realizar actividades de campo y servicio social y de esta forma contribuir un poco y modestamente a mejorar el nivel de vida de los habitantes de regiones que como está, los recursos y particularmente el agua son escasos. Obligación de universitario, de mexicano y como ser humano es el contribuir para mejorar a nuestros hermanos los más necesitados y pobres que son la base de nuestro País, las gentes del campo, que con su trabajo y esfuerzo engrandecen a la Patria.

El trabajo se realizó a la sombra de un convenio con la SAHOP y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en el cual participaron Maestros y alumnos de las carreras de Ingeniería Geofísica e Ingeniería Geológica. De tal manera se cumplió un doble objetivo como es el didáctico y el de llevar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase

a la práctica, como un servicio a la comunidad.

1.2 CONVENIO SAN LUIS POTOSÍ

El trabajo tuvo como objetivo localizar y delimitar las áreas más favorables para la explotación del agua subterránea, mediante la ejecución de prospecciones geohidroológicas y geofísicas.

La Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, al colaborar con la Universidad Nacional Autónoma de México en la capacitación de sus estudiantes de Geofísica y Geología, utilizara la información derivada de este convenio, para el desarrollo de los trabajos que lleva a cabo por conducto de la Dirección General de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado en centros urbanos en el área de estudios. Para lo cual se realizaron las actividades siguientes:

Compilación de la información.

Interpretación de la información.

Correlación de datos y resultados geofísicos y geológicos.

Sondeos geoelectrónicos.

Interpretación geofísica de resultados.

Resultados y puntos convenientes para la explotación hidrológica.

1.3 ANTECEDENTES

El Norte del Estado de San Luis Potosí, ha sido de interés geológico, en el aspecto minero principalmente y sobre el particular se encuentra una bibliografía considerable al respecto, siendo la Sierra de Catorce la de mayor importancia al respecto.

Entre dichos estudios se encuentran: "Informe Geohidrológico relativo a los poblados y Ejidos localizados en la zona septentrional y occidental del Estado de San Luis Potosí", 1963, del Ingeniero Rafael García Treviño.

"Invertebrados del Jurásico Tardío del Estado de San Luis Potosí", IMLAY.

"Geology of the Charcas Mineral District, San Luis Potosí" Butler (1972)

"Controles e interpretación Mineralógica Estructural de los depósitos de reemplazamiento en el Distrito de Charcas, San Luis Potosí" (1979) Madrigal.

"Cartografía Geológica de la hoja Moctezuma San Luis Potosí", SPP.

De lo anterior se ha tomado información que es de interés para el estudio geocriológico, puesto que:

"Las conformaciones, muy similares entre sí, permiten la división de la cuenca en dos valles: uno occidental, que presenta una dirección de flujo de Sur a Norte con un gradiente medio de 10° desde el poblado de la Providencia hasta el de Santa Teresa, de donde cambia hacia el Oriente, comunicándose entre las poblaciones de Moctezuma y Venado con el Valle Oriental o Valle de Arista.

La cuantificación de los recursos de agua subterránea se realizó únicamente para el Valle de Arista ya que el Occidental no se tuvo la información suficiente. Se cuenta para fines comparativos con la recarga obtenida para la zona Oriental (Valle de Arista) en el período Agosto-Diciembre de 1971: 10 millones de M^3 .

Se consigna además que, "Las exploraciones que se efectuaron en las calizas localizadas al Oriente del poblado de Valle de Arista, en las localidades de Salitrillos y Potrerillos, mostrarón que el nivel estático del agua se encuentra a 200 mts. más abajo, que el nivel topográfico medio del valle en las inmediaciones del Valle de Arista.

Existen además otras informaciones sobre estudios mineros y otros diversos, que alguna forma tienen relación con el área de estudio, en los cuales se basó este trabajo y que serán citados más adelante.

I.4 GEOGRAFIA

I.4.1 Localización

Los municipios de Charcas, Venado y Moctezuma abarcan el área de estudio, se localiza al Oeste de la parte Centro y Norte del Estado de San Luis Potosí, entre los paralelos $22^{\circ} 30'$ y $23^{\circ} 15'$ de latitud Norte y los meridianos $101^{\circ} 220'$ y $101^{\circ} 15'$ de longitud Oeste del meridiano de Greenwich, cubriendo una superficie de 3000 km^2 . Queda limitada al Norte por la Sierra de Charcas al Sur por una serie de Serranías, de las cuales la principal es la Sierra del

maestrante al este y al oeste por los grandes valles de las Cruces y Venado y Charcas respectivamente.

1.4.2 Vías de comunicación

Las vías de comunicación de esta región, son varias de muy poca necesidad a los principales poblados agudos y rancherías y se pueden dividir de la manera siguiente :

- a) Ferrocarril : El acceso por ferrocarril se hace por la línea México - Laredo que proviene de Guanajuato , llega a la Ciudad de San Luis Potosí y en línea recta pasa por el Municipio de Moctezuma y posteriormente llega a Venado y Charcas , este ferrocarril comunica a las zonas mineras del Norte del país.
- b) Aviación ; En Charcas se cuenta con una pista de aterrizaje, además en las planicies de Venado se improvisan pistas para avioneta.
- c) Carreteras : Partiendo de la Ciudad de San Luis Potosí se puede llegar por la carretera Federal num. 49 que conduce a la Ciudad de Zacatecas, sobre la cual se recorren 28 Kms. , tomando entonces una carretera asfaltada de segundo orden que llega a los poblados de Ahualulco , Moctezuma , Venado y Charcas. Ya dentro de la zona de estudio se tienen caminos vecinales .
- d) Telégrafo y Teléfono : Tanto la Ciudad de Charcas como Venado y Moctezuma cuentan con el servicio de telégrafo, la primera está integrada a la red de la Federación y la segunda pertenece al sistema de Ferrocarriles Nacionales , con respecto a teléfonos , se cuenta con este servicio en las tres ciudades con líneas tendidas por la compañía Telorónica y Telegráfica Mexicana, el servicio de correos llega a las tres cabeceras municipales.

1.4.3. Clima

Según Köppen el clima tiene la fórmula $Bs_{1kw}(e)$ en Charcas y $Bs_{2kw}(e)$ en Venado y Mastabum, pero existe una modificación por García en 1962, y así tenemos cuatro tipos de clima, los cuales se refieren a las siglas $Bs_{1k}(x^1)$, $Bs_{2k}(x^1)$, Bs_{1k} y Bs_{2k} .

El primer tipo se localiza en la parte norte del área, en las vecindades de Charcas y está definido por el clima seco o estepario, subtipo templado seco, templado con verano cálido, temperatura media anual entre los 12° y 18° C, con régimen de lluvias de verano.

El segundo corresponde a la parte este de la zona y se define como un clima muy seco o desértico, semicálido con invierno fresco, temperatura media anual entre los 18° y 22° C con régimen de lluvias en verano y poca oscilación anual de temperaturas medias anuales.

Al centro corresponde un clima seco o estepario, semicálido, con invierno fresco, temperatura media anual entre 18° y 22° C, con régimen de lluvias en verano y oscilación anual de temperaturas medias mensuales y extremo.

El cuarto y último tipo, está definido por un clima seco y estepario templado, con verano cálido, temperatura media anual entre los 12° y 18° C, y régimen de lluvias en verano, queda localizado al oeste de la región estudiada. Los vientos tienen una dirección general al Oriente en invierno y primavera, cambiando al poniente en los meses de verano y otoño.

1.4.4. Vegetación

Rzedzsky en 1961 la clasificó como matorral acortado microfilo de hoja pequeña y resistente a la sequía. Dentro de las más comunes destacan: Gobernadora (*larrea divaricata*), familia Zigoofiláceas
Lechuguilla (agave lechuguilla), familia Amarilidáceas, en laderas y partes altas
Palma Samadoca (*Yuca filifera*), familia liliáceas.
Palma China (*Yuca Carnesosa*), familia liliáceas

Peyote (*lophophora williamsii*), familia cactaceas.

Biznaga (*lechinocactus strimati*), familia cactaceas

Xocoostle (*Opuntia* sp.)

Maqueyes (*Opuntia* sp.)

Mesquites (*Prosopis juliflora*)

Nopal (*Opuntia tuna*)

I.4.5 Fauna

Rodedores : ratas de campo , conejos , liebres .

Carnívoros : gatos monteses , coyotes.

Ofidios: víboras de cascabel , alicantes y cirrioneras.

Aves: palomas , torcazas , cuervos , gúilotas , cuervos urracas , águilas calandrias , zenzonias , pájaros carpinteros , cardenales , zopíotes , halcones , gavilanes .

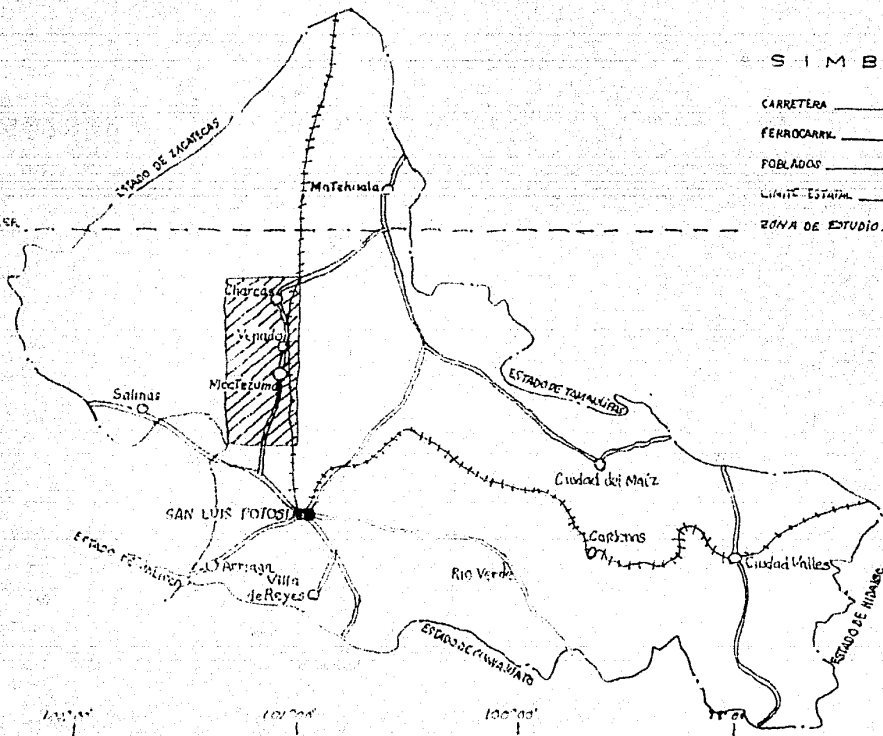
I.4.6 Agricultura Ganadería y Minería

La agricultura es de temporal, estando restringida principalmente por cultivos de Maíz y frijol por carecer de recursos hidráulicos para diversificación, sobretodo en la región Norte, ya que en el área de Venado y Moctezuma se encuentran pequeñas zonas de riego con otros tipos de cultivo más intensivo.






La ganadería está constituida por la cría de cabras y borregos para la leche y la carne, hay poco ganado vacuno y caballo.

La actividad minera se localiza en la zona de Charcas extrayendo plata, oro y materiales asociados a los mismos.

LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO



SIMBOLOGIA

- CARRETERA 
- FERROCARRIL 
- POBLADOS 
- LIMITE ESTADAL 
- ZONA DE ESTUDIO 

II. GEOLOGIA GENERAL

II.1. Fisiografía

La zona de estudio queda ubicada en la provincia fisiográfica de la Mesa Central (Ruiz 1959, Alvarez 1969, Lopez 1978) la cual está estudiada y se sitúa entre las dos grandes Sierras de México : la Sierra Madre Oriental y al Oeste la Sierra Madre Occidental. Figura II.1

Esta provincia fisiográfica tiene una extensión de 140 000 Kms² aproximadamente . Se encuentra limitada hacia el NOROCCIDENTE por las Sierras Transversales , al SUR por el eje Neovolcánico , al ESTE por la Sierra Madre Oriental y al OESTE por la Sierra Madre Occidental.

La región cartografiada pertenece a las regiones denominadas como Cuenca de Villa Arista y el valle Salado , ambas constituidas por lomeríos bajos , interrumpidos en ocasiones por aisladas Serranías , alcanzando Boisones con Cuencas y Subcuencas endorreicas de drenaje general radial.

En la parte central del Área , alrededor del poblado de Venado , se encuentra un amplio Valle , el cual se extiende hacia el Este y el Oeste .

Allí , la cubierta aluvional y de conglomerados permite la ubicación de numerosas norias.

En la porción Occidental del área , la pendiente del terreno es más pronunciada aumentando la altura de 1800 a 2100 msnm. , en las Serranías de la Endadura y el Carmen.

En la parte sur existen una serie de Sierritas aisladas, con dirección preferencial N-S, formadas por las Sierritas de El Durazno, el Maestrante, El Jacuñón y otras formadas por rocas de origen volcánico fuertemente fracturadas. Su relieve varía desde 1650 msnm en sus partes más bajas cerca del poblado Estación Enramada y de 2400 msnm, en sus partes altas en la Sierra del Durazno.

Al sureste del poblado de San José del Grito, la Sierra de las Minas forma un anticlinal llamado de San Antonio del Rul; estructura representada por un plegamiento fuertemente afallado cuyo eje está orientado NW-SE. Sus alturas varían de 2050 a 2200 msnm, teniendo su mayor expresión topográfica al Norte del Cerro del Picacho.

II.2 GEOLOGIA HISTORICA

El área estudiada, se encuentra localizada en la zona de transición entre lo que paleogeográficamente fueron durante el Mesozoico, la plataforma Valles - San Luis Potosí y la Cuenca Mesozoica del Centro del México.

La reconstrucción de la secuencia de eventos geológicos, sucedidos en el área considerando el tipo de sedimentos que constituyen las rocas aflorantes es como sigue comenzando por las rocas más antiguas que son las de la formación Zacatecas.

Los sedimentos que constituyeron a esta formación (Triásico Superior) provinieron de la fuente de erosión producida por efectos tectónicos que precedieron al plegamiento de el Jurásico Temprano (Orogenia Nevadiana).

En la Formación Zuloaga se evidencia una fuerte erosión que origina los sedimentos que constituyen a la Formación La Caja, la cual puede ser considerada como una "Molde Continental". Esta formación se encuentra en forma de lentas o acunándose sosteniendo el origen volcánico que nos indica que hubo actividad de ese tipo.

En el Oxfordiano - Almeridgiano, se efectúa una subsidencia y transgresión de los mares, ocasionando el depósito de carbonates en una zona nerítica en aguas cálidas, que corresponde a la Formación Zuloaga.

A fines del Almeridgiano hasta el Titoniano se depositarán rocas calcáreas de la Formación La Caja, con un notable aporte de terríquenos provenientes de una zona cercana; evidencias de fósiles, indican un ambiente de depósito con aguas bien oxigenadas en una zona infranerítica.

La aportación de sedimentos desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico Superior fué continua.

En el lapso comprendido entre el Berriasino Valangiano, se lleva a cabo la depositación de la Formación Taraises, con características de Mares Someros y abiertos. Posteriormente, durante el Hauteriviano - Berremiano ocurrió el depósito de la formación Cupido, que es una roca calcarea muy pura y casi sin contaminación. Este depósito es de aguas Neríticas a Batiales.

En el Aptiano deposita la formación La Peña, con características de Mares más profundos y con aporte de terríquenos.

En el Albiano - Cenomaniano se depositó la formación Cuesta del Cura que por sus características litológicas se infiere que sucedió en aguas Batiales a infraneríticas, lo que nos indica un progresivo hundimiento, debido al apilamiento de Sedimentos.

En el Cretácico Tardío, del Cenomaniano al Santoniano, se deposita la formación Indidura que indica el comienzo de una nueva regresión de los Mares.

Durante el Cretácico superior se lleva a cabo un cambio notable en el depósito de sedimentos, observándose gran aporte de silíceos (conchíferos - marroñinos), que conforman a la formación Barcoel, que considera el tránsito de una nueva orogénesis, denominada Orogénesis Barcoelide.

Para tener ese gran aporte de sedimentos clásticos, debió haber sucedido una regresión, que dejó parte expuesta a la erosión.

Posteriormente a fines del Cretácico y a principios del Terciario se lleva a cabo el plegamiento y levantamiento del paquete de rocas sedimentarias, debido a la Orogénesis Barcoelide que resulta de la Subducción de la placa de Farallón, bajo la placa Norteamericana y que origina las estructuras que ahora observamos; a su mismo el emplazamiento del tronco granodiorítico de Charcas y la formación de fallas inversas y normales (Horst y Grabens).

Durante el Paleoceno - Mioceno, se tienen derrames de composición riolítica que tienen salida por la zona de debilidad.

Al mismo tiempo las zonas positivas son erosionadas y los sedimentos resultantes, son depositados en forma de abanicos y taludes. Estos Clásticos durante el Plio-Elistoceno fueron cementados por caliche, ya que las condiciones climatológicas fueron favorables por ser áridas, dando como resultado un conglomerado.

Durante el Pleistoceno, ocurren esporádicos derrames de basaltos basálticos en el área de Moctezuma.

En el Cuaternario (Holoceno) se tienen depósitos de aluvión y Talud como consecuencia de la erosión de las rocas preexistentes.

II.3 GEOLÓGIA ESTRUCTURAL

El área estudiada se encuentra localizada paleogeográficamente en el llamado "Mar Mexicano" que forma parte del área que posteriormente ocuparía la Cuenca Mesozoica del Centro de México, que limita al Oriente con la Plataforma Valles - San Luis Potosí, al Oeste con la Sierra Madre Occidental, al Norte con las Sierras Transversales y al Sur con el Eje Neovolcánico.

Los rasgos estructurales observables en la zona de estudio, fueron producidos principalmente por la acción de esfuerzos de dirección SW-NE, que son responsables del levantamiento general del área, producto de la subducción de la placa de Farallón, bajo la placa Norteamericana.

Las estructuras del área muestran un alineamiento general NW-NE., y procederemos a hacer su descripción.

Anticlinorio de la Trinidad

En el Anticlinorio de la Trinidad, debido al tipo de rocas que alojan en su núcleo (Rocas del Triásico) y que son menos resistentes a los agentes erosivos, en comparación con las rocas que le sobreyacen del Jurásico y el Cretácico, se expresa en el campo de forma o como un Potrero.

Las mayores elevaciones se encuentran en el SE, y la constituyen la formación Zuloaga principalmente; las calizas de esta formación, tienen una sobre-elevación máxima de 350 mts., sobre el nivel del Potrero.

Esta estructura, se localiza en la parte centro y SW de la hoja de Charcos del Estado de San Luis Potosí.

La longitud del eje del anticlinorio, no se puede determinar tomando en cuenta el criterio de que este anticlinorio forma parte, de otro mayor localizado hacia el Norte. Tiene una amplitud en su parte Central (donde afloran rocas de la formación Zacatecas del Triásico) de 9 kilómetros y un ancho total de la estructura de 24 kilómetros.

En general, es un anticlinorio asimétrico, que aunque en algunas partes se abría fuertemente hacia el este, ya que existen numerosas estructuras locales secundarias. El eje del anticlinorio tiene una orientación aproximada de $N 15^{\circ} SE$.

En la parte axial del anticlinorio, afloran rocas sedimentarias marinas que constituyen un flysch del Triásico, pertenecientes a la formación Zaca-tecas y que son las rocas más antiguas que afloran en el área.

Los echados de las capas de este plegamiento varían de 10° a 60° , el Anticlinorio es buzante hacia la parte Sur y hacia el Norte parece tener continuación con el anticlinal Cerro Blanco - La Tapona.

SINCLINORIO DE GUANAJAY

Se manifiesta como un amplio Valle, en donde es propicio el depósito de material aluvial. Tiene grandes dimensiones, debido a que está cubierto se dificulta el delineamiento de su eje, pero si podemos interpretar que es sensiblemente paralelo al eje del anticlinorio de la Trinidad.

Se trata de un Sinclinorio asimétrico y recostado, con una orientación aproximada $NW - SE$.

Las rocas que afloran en su parte axial, son arcillo - arenosas de la formación Caracol, que representan a las rocas más jóvenes del Cretácico en el área estudiada. En sus flancos, afloran las formaciones Indidura y Cuesta del Cura.

La mayor parte de la estructura se encuentra cubierta por caliche y aluvión del Cuaternario.

Afloran en este Anticlinorio las formaciones La Peña, Cuesta del Cura, Indidura y limitando la porción Noroccidental limita al Norte del poblado llamado El Federnal y está bordeado por la formación Cenicera, siendo en la parte SW donde la estructura se comporta como un sinclinal presentando echados de poca intensidad.

ANTICLINORIO DE SAN ANTONIO DE RUL

Localizado al Oeste del poblado de San Antonio de Rul , de aproximadamente 5 kms., de longitud y 3 kms de ancho esta constituido por una serie de anticlinales buzantes al Oeste , limitados a sus lados por fallas de tipo normal , que le dan a la estructura una orientación NW - SE ; hacia el lado Este de la estructura , el fallamiento causa la impresión de ser una serie de escalones dejando terrazas de relativa extensión.

Dentro de esta estructura y debido al intenso plegamiento se encuentra aflorando la formación La Peña y la formación Cuesta del Cura , situadas en una serie de franjas , las cuales no son en ocasiones cartografiables a la escala 1:50,000

En la porción Oeste , este anticlinorio se encuentra cubierto por aluvión al Oriente se encuentra limitado por la formación Cenicera , que cubre discordantemente a las formaciones La Peña y Cuesta del Cura , quedando aflorando la formación Indidura y la formación Caracol presentando una serie de pliegues a menor escala .

FALLAS Y FRACTURAS

En el área estudiada existen fallas inversas normales y de transcurrancia dentro del Potrero de la Trinidad , se observan tres fallas principales de grandes magnitudes ; una con orientación NW - SE y otra NE - SW ambas se cortan a la altura del Arroyo del Salto y la última con una orientación aproximada Norte - Sur.

La falla NE - SW también es de tipo normal ; con lo que origina la caída de un bloque .

La falla NW - SE , es normal y pasa por la cuchilla de las Arañas.

En el Arroyo de la Zapatilla se encuentra la evidencia de una falla inversa que pone en contacto a la formación Mulonga con la formación La Caja , estando la primera sobre la segunda.

La falla de orientación Norte - Sur de tipo inverso , pone en contacto

a la formación La Caja con la formación Zacatecas.

También se tienen evidencias de fallas , de desplazamiento lateral en el flanco Este del Anticlinal de la Trinidad al Oeste del Arroyo de la Zapatilla en el arroyo del Membrillo.

En la parte Noroeste del Anticlinal de la Trinidad , se encuentra una zona afectada por varios intrusivos con composición granodiorítica .

En la porción media - Sur de la hoja de Moctezuma se encuentran rocas volcánicas extrusivas que cubren a la secuencia Cretácica y Terciaria . Esas rocas volcánicas se encuentran muy fracturadas y afalladas.

En la margen Oriental de la misma hoja Moctezuma se encuentra el llamado Graben de Villa de Arista que está cubierto por material de relleno . Está limitado por fallas normales que pasan al Oriente de Moctezuma . Producto del basculamiento Post Orogenico del Mioceno - Plioceno . Llega hasta las inmediaciones de la Ciudad de Charcas hacia el Norte y hacia el Sur llega hasta Cerritos de Zavala .

El Vallo de Cruces , situado al Poniente de Moctezuma muestra en algunas partes pequeños afloramientos que hacen pensar en un bloque hundido con unas cristas aflorantes , ya que al Sur se encuentra limitada por altos compuestos por material volcánico (Lalatita Portezuelo) o semi-annulares , pero que tienen su proyección algunos metros fuera de donde están marcados.

II.4 HIDROGRAFIA

Debido al clima y a la escasa vegetación en la zona la erosión es principalmente fluvial y en menor proporción eólica. Todas las escorrenteeras se juntan en barrancos, y debido a la poca precipitación pluvial es de tipo intermitente y solo tendrán agua en el Verano.

Las corrientes superficiales son de corto recorrido, las cuales son profundas en la parte alta y media, de régimen torrencial, y se van restringiendo a medida que bajan, en general las aguas desaparecen por evaporación e infiltración.

Todo esto corresponde a la llamada Cuenca de Villa Arista (González A. 1973) ya que los escurrimientos principales drenan al SE, hacia el poblado del mismo nombre, el flanco W del anticlinal de la Trinidad sirve de divisoria de dicha Cuenca, con el Valle Salado.

El drenaje es intermitente debido a la escasez de las precipitaciones, aunque el Arroyo los San Pedros generalmente lleva una pequeña corriente, al igual que el de la Zapatlina. Todos los arroyos que bajan de la Sierra, antes de llegar a las planicies, se infiltran en conos aluviales, no existen integración ni continuidad de los cauces de los tributarios, se presentan también aguas subterráneas y en ocasiones las corrientes desaparecen en fallas y fracturas.

Arroyos principales se pueden considerar los siguientes:

Arroyo Maguoyal: Corre de NW a SE al Norte de la ciudad de Charcas y se une con el Arroyo de los San Pedros que corre de Norte y al Sur y pasa al Este de la ciudad de Charcas, aguas abajo cambia de nombre como Arroyo La Magallana.

El Arroyo la Espatilla sale de la Sierra de la Cuesta al Sur de Charcas y cambia de nombre a cañada Verde. Aunque los Barrancos son de considerable longitud al llegar a la planicie desaparecen .

El Patron de drenaje tiene poca densidad , pero su frecuencia es de alta por el gran número de Talwegs , pero son de escasa longitud debido a la alta evaporación y a la gran permeabilidad de las rocas de la planicie .

En Venado los Arroyos principales son: El Tule, El Clérigo y El Muerto , tienen mayor vegetación lo que se debe posiblemente a que hay más agua subterránea a menor profundidad.

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS PRINCIPALES DEL ESTADO DE SAN LUIS POTOSI

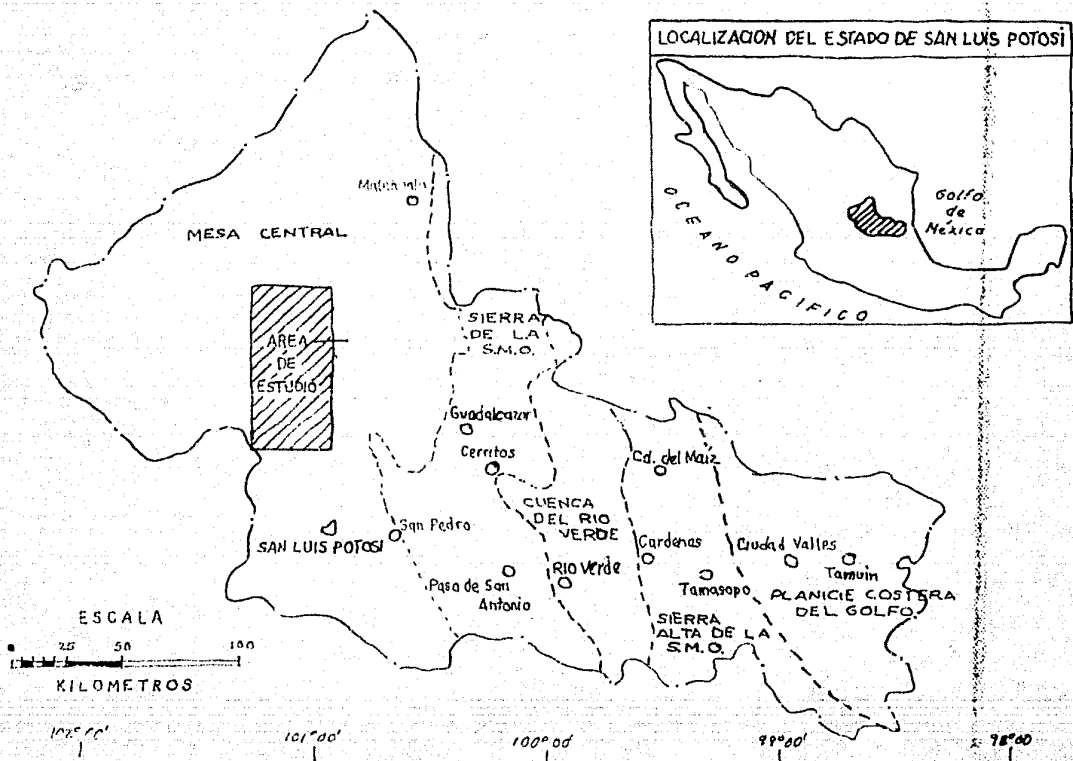


FIG. I

II.5 HIDROGEOLOGIA

II. 5. 1 MARCO HIDROGEOLOGICO REGIONAL

La zona estudiada se encuentra ubicada en el extremo Sur - Occidental del altiplano , entre la plataforma de Valles , San Luis Potosí y la Sierra Madre Occidental . El Marco Geológico general de esta porción del Altiplano está constituido por una secuencia de calizas areniscas y lutitas que representan la Cuenca Mesozóica de México.

Al inicio del Cretácico , esta cuenca sedimentaria fué profundizada y se depositaron en ella las calizas de las formaciones Taraises , Tamulipas Superior y Cuesta del Cura . Al continuar con el proceso de profundización aumentó el aporte de material arcilloso a las formaciones Indidura y Caracol.

Las calizas son de ambiente pelágico , razón por la cual presentan en parte una porosidad muy baja en contraste con las del Este y Noroeste de ambientes Arrecifales de alta porosidad y permeabilidad. Si se toma en cuenta que las formaciones Indidura Y Caracol de alto contenido de Arcilla se encuentran en la parte superior de la secuencia Mesozoica , La permeabilidad de esta serie se ve aún más reducida.

Si bien es cierto que la serie de calizas , se encuentra intencamente plegada y fracturada , no ha sido esta condición suficiente para la formación de una permeabilidad por fracturamiento o por disolución ; numerosas exploraciones efectuadas en el área de la caliza Indidura han demostrado la inproductividad en fracturas de estas rocas calcáreas .

Lo anterior puede cobrarse como se dijo en el párrafo anterior, al haber el Falágico y denso de las calizas y a la ausencia continua de circulación de agua de lluvia que agrande y comunique las fracturas. A su vez la serie Mesozoica se encuentra cubierta en varias partes el Altiplano con conglomerados del Terciario y por la lava Riolítica expulsada al final de este período.

De entre todos los materiales que forman el área, los conglomerados Terciarios cuando no están cementados o muy compactos, son los que ofrecen las mejores posibilidades acuíferas en la región.

Estas posibilidades aumentan sustancialmente, cuando los conglomerados ocurren en grandes cantidades de espesor y cubren extensas áreas expuestas a la recarga por lluvia.

Desafortunadamente en el área, las dos condiciones anteriores se encuentran muy limitadas. Por una parte, los conglomerados rellenan cuencas aisladas y de reducido espesor, en otros casos como el Valle de Arista donde se tienen espesores de varios centenares de metros de conglomerados no son muy compactos y por lo tanto una gran cantidad de agua almacenada, son raros.

En términos generales, por la génesis de la región, son muy frecuentes las áreas penneplaneadas, por debajo de las cuales se encuentra la serie Mesozoica, con su conjunto de rocas prácticamente impermeables. En la figura III se trata de esquematizar lo anterior.

Por otra parte, el contenido de humedad en el ambiente es uno de los más bajos del territorio, por lo cual la zona está clasificada, atendiendo a este parámetro climático, como una zona semiseca o semiárida.

Es evidente que éstas características climatológicas son el resultado que ejerce en el medio, el vigoroso relieve de la Sierra Madre Oriental y que afecta notablemente la distribución barométrica en la zona.

Si bien se tiene el área de una alta nubosidad, esta es de poca importancia y no tiene ninguna relación con la lluvia, ya que las nubes provienen de la invasión de masas de aire frío y secas del Norte. En realidad las lluvias generales de Mayo a Octubre tiene reducido valor en esta zona de la altiplanicie, menos de 250 milímetros anuales y además no se presentan lluvias invernales.

Por tratarse de una zona fría, la ocurrencia de corrientes superficiales con capacidad de labrado es en general escasa y en términos generales el relieve no ha sido modificado.

Se tiene entonces que por la red hidrográfica en formación los caudales menores que regularmente circulan y los picos y averidas no son suficientes para acarrear hacia los reducidos y someros valles intermontanos los clásticos formadores de acuíferos, ni para significar por ende una recarga apreciable a los aislados depósitos fragmentarios antiguos.

II.5.2 ROCAS CONSOLIDADAS

Las rocas que constituyen este grupo pertenecen a la secuencia de rocas Mesozoicas y están formadas principalmente por calizas, areniscas, lutitas y una secuencia de rocas ígneas volcánicas como andesitas, riolitas e ignimbritas. Estas rocas consolidadas se encuentran ampliamente distribuidas en el área donde cubren aproximadamente un 40%.

Los espesores también aproximados para este paquete varían de 500 a 1000 metros formando unidades morfológicas de Sierras y Lomeríos aislados.

En los mapas de elevación y profundidad al nivel del agua y en el de localización de sondeos eléctricos puede observarse la delimitación de estas unidades, tomadas como fronteras al flujo de agua.

La permeabilidad para estas rocas consolidadas, suele ser generalmente baja pero la presencia de fracturas y grietas ensanchadas por efectos secundarios de disolución o fracturamiento propicia que el agua circule através de ellas, aumentando su permeabilidad.

Los numerosos aprovechamientos de agua como norias, manantiales y galerías filtrantes excavadas en estas rocas, producen a caudales muy reducidos; susceptibles únicamente para beneficiar pequeños abrevaderos de ganado o bien en uso doméstico muy limitado.

II.5.2.1 ROCAS NO CONSOLIDADAS

Este tipo de rocas está formado por conglomerados no consolidados o escasamente consolidados, así como por arenas gravas y arcillas.

El aluvión se encuentra expuesto al Oriente y Occidente, formando los Valles de Villa de Arista y el de las Cruces; también puede observarse en la parte central alrededor de Venado y rellenando pequeñas depresiones formadas entre las sierras de la Juesta, El Borrego, El Durazno, Las Minas y el Jacalón.

Los conglomerados afloran principalmente al Sureste de Moctezuma, en los alrededores de la Sierra el Durazno y en los flancos de las Sierras.

Los conglomerados, alcanzan espesores entre 10 a 30 metros. En muchos lugares los conglomerados y aluviones, se encuentran intercalados con material piroclástico, provenientes de las erupciones volcánicas del Terciario.

Las rocas no consolidadas, exhiben una morfología de valles amplios peneplanados con esporádicas elevaciones que sobresalen.

La mayoría de las rocas no consolidadas detriticas, poseen porosidades relativamente elevadas, gracias a los espacios dejados durante su depósito por los materiales de diferentes tamaños. El gran volumen que ocupan los espacios porosos en la mayor parte de las rocas de este tipo, permiten el almacenamiento de grandes cantidades de agua.

Sin embargo como es bien sabido, la permeabilidad de estas rocas porosas no es necesariamente alta. El agua se transmite através de ellas, con cierta lentitud originando pérdidas de cargas sustanciales.

En el área, los conglomerados y los aluviones presentan permeabilidades más bien bajas. De pruebas de bombeo realizadas en el Valle de Arista, se deducen permeabilidades del orden de 10^{-5} para espesores de acuíferos de tan sólo 400 metros.

II. 5.3 EL AGUA EN EL SUBSUELO

En toda la porción Occidental se manifiesta un flujo subterráneo hacia el este através de una red de flujos en condiciones casi originales. Esto significa, que la extracción de las numerosas norias excavadas en la porción no ha modificado las condiciones naturales de recarga subterránea y que los volúmenes extraídos son menores a los de recarga.

Esta circunstancia muestra de inmediato la posibilidad de interceptar mediante obras someras el flujo subterráneo excedente. Sin embargo quedaría por aclarar el monto que alcanzarían los caudales de flujo; en el principio se considera que estos no son muy significativos.

La apreciación de las características hidrogeológicas de las rocas expuestas, la información sobre niveles del agua y la interpretación de los sondeos geoelectricos de resistividad, definen cómo el área más favorable para la exploración, la que se muestra en el mapa de localización de sondeos eléctricos y zona propuesta de exploración.

Con la investigación geofísica, se deduce que la profundidad de las capas con posibilidades acuíferas se detectan entre los 45 hasta los 100 metros. Si bien, estas condiciones solo parecen confirmar la presencia de mantos actualmente en explotación, tienen por otra parte el atractivo de poner a la vista el espesor de esas capas. Esto resulta bastante interesante, puesto que no solo se identifica una franja potencialmente acuífera a profundidad, sino que se fija ya una idea concreta sobre la magnitud de la explotación directa.

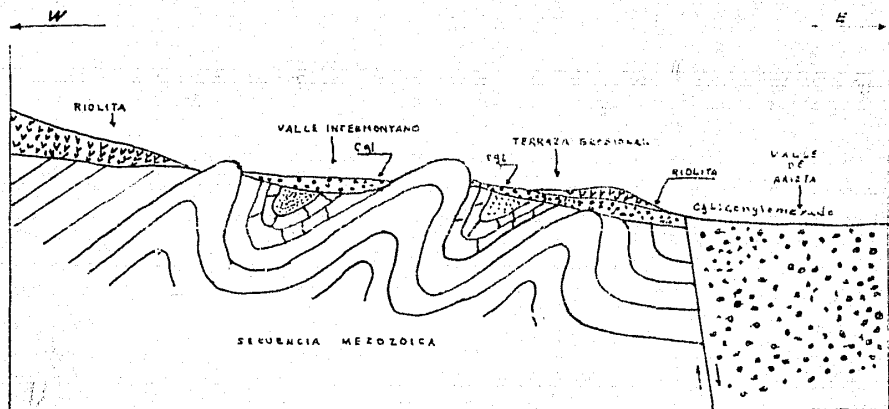


Fig. 1-11 Corte idealizado del área estudiada en que se ilustra la redondez cubierta con conglomerática con posibilidades eólicas sobreyaciendo a la secuencia mezozoica considerada como prácticamente impermeable. Al oriente el Valle tectónico de Valle de Aviata.

III EXPLORACION GEOELECTRICA

Se considera a la Geofísica Pura como el estudio de los campos físicos ligados a la Tierra. La Geoelectricidad es una rama de la Geofísica Pura que se ocupa del estudio del campo electromagnético terrestre, de las propiedades electromagnéticas de las rocas y minerales y de su influencia sobre varios fenómenos geofísicos. La prospección Geofísica de Exploración es una rama de la Física aplicada que estudia las estructuras ocultas del interior de la Tierra y de la localización en éste, de cuerpos delimitados por el contraste de alguna de sus propiedades físicas con la del medio circundante por medio de observaciones realizadas en la superficie del subsuelo.

Entre las diversas técnicas prospectivas se destaca el grupo denominado de métodos electromagnéticos o geoelectrónicos que involucran la medición de campos electromagnéticos originados por corrientes eléctricas estacionarias o variables y producidas por fuentes naturales o artificiales.

Dentro de los métodos geoelectrónicos de prospección se señala; el método de campo artificial en corriente continua empleado en este trabajo, que es el método de resistividad y cuya propiedad electromagnética de estudio es la resistividad. Usadas con mayor frecuencia son las de sondeo eléctricos verticales, cuyo empleo por medio el dispositivo Wenner o Schlumberger, en este caso utilizamos el dispositivo Wenner, permiten obtener en este caso la información de campo deseada.

Las aplicaciones de este método geoelectrónico de prospección son variadas y la información que nos da sobre el subsuelo puede utilizarse para proporcionar una visión de la capa del subsuelo en la zona de estudio.

Analizados los objetivos del estudio geofísico y geohidrológico se procedió a definir las metodologías del presente estudio.

El área de investigación está dividida en dos partes Valle de Arista y Valle Salado. Este último con ausencia total de aprovechamientos hidráulicos subterráneos importantes; en cambio en proporción importante en la zona centro-oriental del Valle de Arista se explotan actualmente acuíferos importantes.

La campaña de sondeo eléctrico vertical se efectuó con la técnica de perfiles, con el objetivo de tener secciones eléctricas que den una idea bidimensional de la estructura del subsuelo, así como de los materiales que la constituyen. La separación entre los sondeos que conforman un perfil se considero de un Kilómetro 1.0 Km.

La técnica del Sondeo Eléctrico Vertical se realizó con el arreglo Wenner, para así evitar el problema de interpretación en la definición de los traslapes inherentes al dispositivo Schlumberger. Los datos de resistividad versus separación interelectródica se manejaron en coordenadas cartesianas rectangulares del tipo logaritmo natural.

Debido a que el material superficial es aluvial, la sección y longitud de los perfiles se definió en función de la tendencia regional del los rasgos geológicos mayores que circundan el área de estudio.

Conocida la localización de los centros se procedió a la ejecución del sondeo, hincando los electrodos en los lugares prefijados calculándose la resistividad aparente con los datos de diferencia de potencial entre los puntos M y N y la intensidad de corriente que circula en A y B. La abertura máxima $AB/3$ fué de 700 metros.

Los problemas que se presentaron se previeron con anterioridad, por el conocimiento previo de las características del área. El más importante se relacionó con la gran resistencia del contacto que se presenta en la zona, traducándose en poca intensidad de corriente de la fuente; esto se resol-

vió, "regancolas" con agua salada (muy conductora), conectando varios electrodos fuente en paralelo e incrementando el voltaje de entrada al terreno . Con respecto al circuito de observación de los potenciales geoelectricos naturales , presentándose este normalmente estable . Los valores de resistividad calculados se graficaron en papel bilogaritmico para evaluar la calidad de las curvas . En el resumen de los sondeos eléctricos realizados se muestran los valores de resistividad obtenidos en el campo .

Por motivos de parametrización de las medidas geoelectricas (resistividad) con la información litológica , se efectuó un sondeo (715) en el pozo 4372 .

Las operaciones efectuadas a los datos fueron:

- a) Recalcular los valores de resistividad .
- b) Construir la gráfica resistividad aparente versus distancia interelectródica en papel bilogaritmico transparente módulo de 62.5 mm .
- c) Elaboración de una tabla de valores de resistividad
- d) Elaboración del perfil de isoresistividades Aparentes . Se trazó el perfil topográfico ubicando en él los centros de los sondeos (escala 1:15000) . En los puntos de atribución (6) y perpendicular al perfil , a las aberturas electródicas (escala 1:4,000) se colocaron los valores de resistividad aparente correspondientes . Posteriormente , se trazaron curvas de igual resistividad , cuidando que los valores siguieran una progresión adecuada . Este perfil expresa burdamente la geometría geoelectrica del subsuelo en la zona por la que atraviesa .
- e) Interpretación cuantitativa . Esta etapa no menos importante que las anteriores , se realizó con los métodos de superposición y de reducción de capas (punto auxiliar) . Esto permitió hallar el corte geoelectrico (espesores y resistividad) que corresponden a la curva interpretada .
- f) Perfil de Resultados . Con el perfil topográfico obtenido en el punto (c) , se trazó el medio geoelectrico correspondiente interpretado en la etapa (f) . Con el auxilio del perfil de isoresistividades fué posible trazar una estructura geoelectrica acorde a la realidad . Posteriormente tomando en consideración el sondeo de calibración (715) se extrapolaron estos resultados a los sondeos que se ubicaron en la región del Valle de Arista y así poder dar una idea de la tendencia de la zona en forma general .

El instrumental utilizado en el presente estudio fué un resistivímetro RSP 6 de la marca SCINTREX y su equipo auxiliar. El RSP 6 consta de una unidad de transmisión que energiza el subsuelo con un generador de campo estacionario compuesto de pilas de baterías de voltaje máximo de 400 volts y corriente máxima de 200 miliamperes. La unidad de recepción es un círculo medidor de cero, que permite eliminar los potenciales eléctricos naturales con buena precisión. El equipo auxiliar consta de carretes de tipo móvil con cable conductor de ca 14, recubierto con aislante PVC, electrodos de acero de 1.0m de longitud y 3/4 pulgadas de diámetro en los puntos fuente y electrodos de bronce de 0.75 m de longitud y 3/4 de pulgada de diámetro en el circuito de potencial (en condiciones locales adversas se utilizaron electrodos impolarizables), marros, guantes, bidones de agua salada, etc.

III.1 PROPIEDADES ELECTROMAGNETICAS DE LAS ROCAS

En la Prospeccion Geofisica es de gran interés conocer las propiedades fisicas de las rocas y de sus agregados minerales , tal y como se presentan en la naturaleza , reconociendo principalmente las siguientes :

La Resistividad eléctrica (ρ) , la permeabilidad magnética (μ) y la constante dieléctrica (ϵ) . Siendo la resistividad eléctrica la propiedad de mayor interés .

Se define físicamente a la resistividad como la medida de la dificultad que la corriente eléctrica encuentra a su paso en un material determinado y que es una propiedad intrínseca del material cuya magnitud depende de la naturaleza y estado físico del material a considerar .

Dimensionalmente se considera a la resistividad como un producto de una resistencia eléctrica por una longitud , con unidades en el sistema internacional de Ohms. metro ($\Omega \cdot M$) .

De esta magnitud se deriva la de la Conductividad (σ) , que numéricamente tiene expresión inversa a la Resistividad , sus unidades son en el sistema Internacional Siemens / metro (S/M) .

Como la conductividad de los materiales se debe a que permiten el paso a través de ellos de portadores de cargas eléctricas sean electrones o iones se pueden distinguir dos tipos de conductores : conductores iónicos o electrolitos líquidos , conductores electrónicos o metales y semiconductores .

Conductores electrónicos

La conductividad electrónica se presenta en los minerales nativos (oro, plata, cobre, estano) , ya que la facilidad de movimiento de sus electrones y su gran número les proporciona conductividad elevada .

Otros cuerpos con conducción eléctrica son los semiconductores que poseen una resistividad alta debido a su poco contenido de electrones libres.

En los semiconductores se puede presentar un movimiento libre de sus electrones con la temperatura creciente o sea que la probabilidad de que sus electrones salten a la banda conductora aumenta con la temperatura, creandose en el material una conductividad intrínseca.

Los materiales más comunes en el rango de la semiconductividad son: la magnetita, la pirita, la calcopirita, la bornita, etc.

Conductores Iónicos

Dieléctricos

Los cuerpos dieléctricos se caracterizan por tener electrones fuertemente ligados entre sí, teniendo una débil conductividad iónica debida a las irregularidades e impurezas en su red cristalina, comportandose el material en forma aislante.

Entre los minerales dieléctricos se encuentran los más importantes constituyentes de las rocas, por ejemplo: calcita, cuarzo, feldespatos, micas silicatos, piroxenas, etc.

Electrolitos Líquidos

Los electrolitos líquidos se forman cuando una sal es disuelta en agua, entonces los iones constituyentes de la sal sólida se separan convirtiéndose en los portadores de la corriente eléctrica, capaces de moverse libremente a través de la solución. Los conductores electrolitos son muy importantes en la práctica de los métodos eléctricos, ya que las formaciones se encuentran saturadas de agua que contiene algún tipo de sal, predominando los cloruros de sodio.

Resistividad de las Rocas

Para las formaciones rocosas la resistividad depende no sólo de su constitución mineral ya que su contenido de cuarzo , silicatos sales ,etc, las volverían aislantes ; sino que depende de diversos parámetros que hacen que las rocas se comporten en conjunto como conductores iónicos , siendo el medio conductor una disolución acuosa de sales comunes ó sea un electrolito líquido , distribuido en forma complicada por la estructura porosa de la roca.

El comportamiento conductor de la formación rocosa depende de su contenido de minerales semiconductores , de su contenido de agua , de la salinidad de esta , del modo de distribución y conexión de sus poros , de la interacción matriz - agua , de la textura de la roca , tamaño del grano etc.

Como son tantos y tan diversos los factores que influyen en la resistividad de las rocas , no es posible atribuir un valor único de resistividad a cada tipo de roca.

Aunque la identificación de la resistividad es difícil , el margen de variación se reduce y así para la extensión del terreno de un estudio geoelectrónico es posible identificar las rocas por su resistividad conjuntando su estudio geofísico con información geológica.

III.2 ECUACIONES FUNDAMENTALES

Como en la Prospección Eléctrica la corriente continua empleada no recorre conductores lineales como hilos o cables, sino que se mueve en un medio tridimensional, se deben estudiar las leyes físicas que rigen a los campos eléctricos generados por estas corrientes.

Las ecuaciones fundamentales que rigen estos medios son :

1.- Ecuación de Maxwell para campos electromagnéticos

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \dots \dots \dots (2)$$

Como se trata de un campo eléctrico estacionario estas ecuaciones habrán de tener nulas sus derivadas temporales y se presentan como :

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \dots \dots \dots (3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \dots \dots \dots (4)$$

Donde la ecuación (3) señala que el campo eléctrico E es conservativo y proveniente de un potencial escalar U.

$$\vec{E} = -\nabla U \dots \dots \dots (5)$$

2.- La ley de OHM :

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \dots \dots \dots (6)$$

Nos dice que la densidad de corriente J en un punto es proporcional al campo E y posee la misma dirección y sentido. La constante de proporcionalidad es la conductividad eléctrica.

3.- Ecuación de continuidad

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad \dots \dots \dots (7)$$

para un campo estacionario queda reducida a

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad \dots \dots \dots (8)$$

continuando, si combinamos las ecuaciones anteriores se puede obtener :

$$\nabla \cdot \vec{J} = \nabla \cdot (\sigma \vec{E}) = -\sigma \nabla^2 U + \vec{E} \cdot \nabla \sigma = 0$$

donde :

$$-\sigma \nabla^2 U + \vec{E} \cdot \nabla \sigma = 0 \quad \dots \dots \dots (9)$$

es la ecuación general de la prospección eléctrica con corriente continua .

III .3. TEORIA DEL SONDEO ELECTRICO VERTICAL

Solución de la Ecuación de Laplace para un medio homogéneo e Isotropo

La forma más simple de estudio del problema directo en la Prospección Eléctrica es el de un medio homogéneo e isótropo seminfinito formado por un semiespacio inferior de resistividad (ρ) que representa el subsuelo y un semiespacio superior de resistividad infinita que representa a la atmósfera . Para la medición de la resistividad del subsuelo se requiere de la inyección al terreno de una corriente eléctrica por medio de dos electrodos A y B y de la medición de la diferencia de potencial entre dos puntos M y N adecuadamente localizados con respecto a los electrodos de corriente.

Las cantidades físicas medidas son la intensidad de corriente I , que fluye entre los electrodos A y B, la diferencia de potencial U , entre los puntos de medición M y N y la distancia interelectrodica.

En este campo eléctrico se cumplirá que en un régimen estable:

$$I_A + I_B = 0 \quad \dots \dots \dots (10)$$

y en la condición de corriente continua el potencial eléctrico satisface la ecuación diferencial de Laplace.

$$\nabla^2 U = 0 \quad \dots \dots \dots (11)$$

Debido a que el problema del potencial eléctrico en un medio homogéneo e isotrópico presenta simetría esférica resulta conveniente expresar la ecuación de Laplace en coordenadas esféricas:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial U}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = 0. \quad (12)$$

Cuya solución para el caso de un subsuelo homogéneo e isotrópico es:

$$U = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad \dots \dots \dots (13)$$

Para el caso de varias fuentes de corriente los potenciales producidos por éstos, pueden sumarse algebraicamente.

$$U = \frac{\rho}{2\pi} \left[\frac{I_1}{r_1} + \frac{I_2}{r_2} + \dots \dots \frac{I_n}{r_n} \right] \quad \dots \dots \dots (14)$$

III.3.1 DISPOSITIVOS ELECTRODINAMICOS

Un dispositivo en general es un conjunto de cuatro electrodos, dos de ellos A y B por la que fluye la corriente y los dos restantes M y N entre los que se mide la diferencia de potencial creada por A y B por medio de cables aislados se unen A y B a un generador eléctrico provisto de un amperímetro, M y N van unidos a un instrumento capaz de medir la diferencia de potencial entre ellos. Estos dos circuitos (de corriente y de potencial) forman lo que se llama cuádrupolo fundamental.

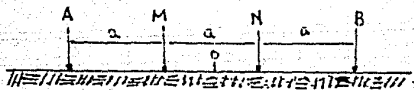
Considerando lo anterior y haciendo uso de la ecuación (14) es factible establecer la ecuación que mide la resistividad con estos dispositivos de cuatro electrodos:

$$\rho = \left(\frac{UM - UN}{I} \right) \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} = K \frac{\Delta U}{I} \dots \dots \dots (15)$$

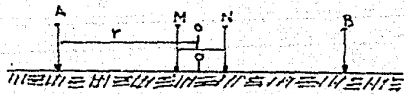
En la anterior expresión al coeficiente del dispositivo que representa las distancias entre los electrodos se considera el factor geométrico K del dispositivo:

$$K = \frac{2}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \dots \dots \dots (16)$$

Los tipos de dispositivos electrodinámicos más utilizados en los sondeos eléctricos verticales son el Schlumberger y el Wenner.



Schlumberger



Wenner

El dispositivo Wenner es un arreglo simétrico que presenta distancias interelectrodoas constantes, iguales entre sí ($AM = MN = BN = a$)

En el caso Wenner el coeficiente del dispositivo queda :

$$K_w = 2\pi a \dots \dots \dots (17)$$

El dispositivo Schlumberger es un arreglo también dispuesto simétricamente respecto a un centro sobre una línea recta .

Este dispositivo aunque irrealizable en la práctica , puede aproximarse para medir el gradiente del potencial eléctrico o sea la intensidad de campo eléctrico . Esto se logra haciendo la distancia MN tan corta que el cociente del voltaje entre la separación MN se aproxima a dicho gradiente del potencial en el punto medio de los electrodos .

El coeficiente del dispositivo se puede expresar como :

$$K_s = \frac{2\pi s^2}{2b} \dots \dots \dots (18)$$

III. 3. 2 RESISTIVIDAD APARENTE

Sabiendo que las fórmulas (15) permiten calcular la resistividad de un subsuelo homogéneo , se puede considerar ahora un medio heterogéneo realizando mediciones con el mismo dispositivo electrodoas.

En este caso la medida de la desviación de resistividad media respecto de un subsuelo homogéneo a uno heterogéneo se denomina como resistividad aparente (ρ_a) y es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones hechas en los trabajos de campo de los sondeos eléctricos verticales.

De lo anterior se puede definir al Sondeo eléctrico Vertical (SEV) como la serie de determinaciones de resistividad aparente efectuadas con mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre electrodos de emisión y recepción, permaneciendo fijos el rumbo y el centro del dispositivo.

III. 4 PROBLEMA DIRECTO PARA MEDIO HORIZONTALMENTE ESTRATIFICADO

Para muchos fines la estructura del subsuelo puede representarse aproximadamente por un medio constituido por una sucesión de capas uniformes y horizontales. Se considera que un medio estratificado está constituido por dos semiespacios; el primero de ellos de conductividad nula representa la atmósfera, con el segundo se representa al terreno que es un medio heterogéneo compuesto de medios parciales homogéneos e isotropos de extensión lateral indefinida y cuyas superficies de separación son paralelas entre sí y al plano aire tierra.

III. 4. 1 REPRESENTACION DE MEDIO ESTRATIFICADO

Para caracterizar a un medio estratificado solo basta dar el espesor (L_i) y la resistividad (ρ_i) de cada medio parcial isotropo de índice (i) numerando de arriba hacia abajo se tendrán sucesivos medios parciales denominados cada uno capa geoelectrica.

A la representación de espesores y resistividades de cada medio estratificado de este tipo se lo denomina corte geoelectrico y queda definido en base a la distribución vertical de resistividades dentro de un volumen de subsuelo considerado.

Un corte geoelectrico representado en dos dimensiones presenta espesores de capas designados por: ($t_1, t_2 \dots t_{n-1}$). Las profundidades al techo de cada uno de ellos varían desde por: ($h_1, h_2 \dots h_{n-1}$).

Las resistividades verdaderas de las diferentes capas se simbolizan porque la última capa se considera como de conductor infinito.

III. 4. 2 CLASIFICACION DE CORTES GEOLÉCTRICOS

Los cortes geoléctricos pueden clasificarse atendiendo al número de capas que los componen. Los cortes del mismo número de capas pueden subdividirse según el orden en que en los sucesivos estratos aparezcan resistividades mayores o menores que en la capa suprayacente.

El sistema de notación más común es el siguiente:

- a) Para los cortes de dos capas se los que se tienen dos tipos

$$\rho_1 > \rho_2 \quad , \quad \rho_2 > \rho_1$$

- b) Los cortes de tres capas que pueden agruparse en cuatro tipos

$$\text{Tipo H : } \rho_1 > \rho_2 < \rho_3$$

$$\text{Tipo K : } \rho_1 < \rho_2 > \rho_3$$

$$\text{Tipo Q : } \rho_1 > \rho_2 > \rho_3$$

$$\text{Tipo A : } \rho_1 < \rho_2 < \rho_3$$

- c) Los cortes de cuatro capas pueden dividirse en ocho tipos que se designan mediante la combinación de los símbolos para tres capas
Por ejemplo:

El tipo AA, indica la combinación $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$

El tipo HK, alude a $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$

En general un corte de n capas puede clasificarse en un corte de 2 tipos posibles los cuales se identifican mediante n-2 letras de las utilizadas para designar los cortes de tres capas.

A los gráficos logarítmicos que representan la distribución de resistividades verdaderas en las ordenadas, las profundidades en las abscisas se les llama curvas de Resistividad Verdaderas (CRV).

III. 4. 3 SOLUCION DEL PROBLEMA DIRECTO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS

La resolución del problema directo es la determinación del potencial eléctrico en la superficie de un medio estratificado producido por una fuente puntual de corriente situada en dicha superficie.

Como el potencial eléctrico en el medio estratificado es simétrico con respecto al eje vertical que pasa por la fuente puntual de corriente, el potencial poseerá simetría cilíndrica.

La solución general será:

$$U = \frac{\rho I}{2\pi} \int_0^{\infty} \left\{ e^{-\lambda z} + A(\lambda) e^{-\lambda z} + B(\lambda) e^{-\lambda z} \right\} J_0(\lambda r) d\lambda \dots (19)$$

$A(\lambda)$ y $B(\lambda)$ son funciones arbitrarias de λ

Expresiones de la forma (19) son válidas en cada capa del medio estratificado y tendrán funciones $A(\lambda)$ y $B(\lambda)$ diferentes en cada capa.

La expresión del potencial eléctrico para cada capa del medio estratificado es:

$$U_i = \frac{\rho_i I}{2\pi} \int_0^{\infty} \left\{ e^{-\lambda z} + A_i(\lambda) e^{-\lambda z} + B_i(\lambda) e^{-\lambda z} \right\} J_0(\lambda r) d\lambda \dots (20)$$

$; i = 1, 2, 3, \dots, N$

Las condiciones de frontera que rigen a las funciones $A(\lambda)$ y $B(\lambda)$ en la expresión del potencial eléctrico para el medio estratificado pueden resumirse en el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{aligned} \mu_{i-1} A_{i-1} + \nu_i - B_{i-1} - \mu_{i-1} A_{i-1} &= 0 \\ -\mu_{i-1} A_{i-1} + \nu_{i-1} - B_{i-1} + \rho_{i-1} \mu_{i-1} A_{i-1} &= (1 - \rho_{i-1}) \mu_{i-1} \end{aligned}$$

donde

$$\mu_i = e^{-\lambda h_i} ; \nu_i = \frac{1}{\mu_i} = e^{\lambda h_i} ; \rho_i = \frac{\rho_i}{\rho_{i+1}}$$

$$\begin{aligned}
 (\mu_1 + \nu_1) A_1 - \mu_1 A_2 - \nu_1 B_2 &= 0 \\
 (\nu_1 - \mu_1) A_1 + p_1 \mu_1 A_2 - p_1 \nu_1 B_2 &= (1 - p_1) \mu_1 \dots \dots \dots (21) \\
 \mu_2 A_2 + \nu_2 B_2 - \mu_2 A_2 - \nu_2 B_3 &= 0 \\
 -\mu_2 A_2 + \nu_2 B_2 + p_2 \mu_2 A_2 - p_2 \nu_2 B_3 &= (1 - p_2) \mu_2
 \end{aligned}$$

El sistema de ecuaciones (21) es un sistema lineal con $2(n-1)$ ecuaciones y $2(n-1)$ incógnitas ($A_i(\lambda)$ y $B_i(\lambda)$), el cual puede ser resuelto para obtener las funciones $A_i(\lambda)$ y $B_i(\lambda)$ en términos de las profundidades a los planos de frontera y los contrastes de resistividad.

La expresión (20) reducirá sus términos al aplicar las condiciones de frontera y de acuerdo a la expresión $A_1(\lambda) - B_1(\lambda) = 0$ el potencial en la superficie del medio estratificado estará dado por:

$$U = \frac{\rho_1 I}{2\pi} \int_0^{\infty} [1 + 2A_1(\lambda)] J_0(\lambda r) d\lambda \dots \dots \dots (22)$$

donde ρ_1 la resistividad de la primera capa, I la intensidad de corriente emitida, λ una variable de integración, r la distancia de la fuente al punto de medición y $A_1(\lambda)$ es la "función Kernel"

III. 4. 4 FUNCION KERNEL

De la aplicación de las condiciones de frontera a la expresión de potencial eléctrico, se observa la importancia primordial que tiene la función Kernel en la determinación del potencial eléctrico en la superficie del medio estratificado.

En la función Kernel quedan resumidos los resultados de las condiciones de frontera, por ello resulta de interés resolver el sistema lineal de ecuaciones (21) para función denominada "Kernel de Stefanescu" (A (λ)). de la expresión (22) se puede obtener :

$$N (\lambda) = 1 + 2 A (\lambda) \dots \dots \dots (23)$$

donde : N (λ) recibe el nombre de función Kernel de Slichter .

Para la solución del sistema lineal de ecuaciones se usa comúnmente la regla de Cramer que permite obtener las expresiones para las funciones Kernel A (λ) y N (λ) . Sin embargo existen otras fórmulas de recurrencia que permiten obtener las expresiones anteriores en forma más adecuada .

La fórmula debedin a Pekeris es una de las más conocidas la cual permite obtener la función Kernel de Slichter en la capa superficial :

La fórmula de Pekeris es:

$$N_i = \frac{N_{i+1} + \pi_i \tan h (\lambda t_i)}{\pi_i + N_{i+1} \tan h (\lambda t_i)} \dots \dots \dots (24)$$

en esta fórmula la función Kernel de la última capa es $N_n = 1$ y t_i es el espesor de la i - esima capa.

Otra forma usada en la aplicación de la teoría de los filtros lineales es la función transformada de Resistividad. T (λ)

$$T (\lambda) = \beta_i N (\lambda)$$

III. 4. 5 FUNCION RESISTIVIDAD APARENTE

Ahora que ya es conocida la expresión para el potencial en superficie de un medio estratificado, la solución del problema directo puede plantearse también como sigue : dado un corte geoelectrico estratificado determinar la función y la curva de resistividad aparente para el dispositivo eléctrico determinado .

La expresión de Resistividad Aparente para el dispositivo Wenner es :

$$\rho_{aw} = 2\pi a \frac{\Delta U}{I} \dots \dots \dots (25)$$

La expresión de Resistividad Aparente para el dispositivo Schlumberger es:

$$\rho_{as} = -\frac{2\pi s^2}{I} \left(\frac{\partial U}{\partial r} \right)_{r=s} \dots \dots \dots (26)$$

La diferencia de Potencial ΔU entre M y N , situados a la distancia a y $2a$ de los dos electrodos de corriente esta dado por :

$$\Delta U = 2[U(a) - U(2a)] \dots \dots \dots (27)$$

Por lo tanto sustituyendo la expresión de potencial en (26)

$$\rho_{aw} = \rho_1 \left\{ 1 + 4a \int_0^\infty \theta(\lambda) [J_0(\lambda a) - J_0(2\lambda a)] d\lambda \dots \dots (28) \right.$$

Por la transformada de resistividad la expresión de Resistividad aparente sera la siguiente:

$$\rho_{aw} = 2a \int_0^\infty T(\lambda) [J_0(\lambda a) - J_0(2\lambda a)] d\lambda \dots \dots (29)$$

III. 5 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

El cálculo numérico de las curvas teóricas de resistividad aparente se realiza por varios métodos en los que se tiene que recurrir a la programación digital y al conocimiento de métodos de cálculo numérico de curvas que le permiten interpretar más satisfactoriamente sus curvas de campo que no con comparables con los modelos ideales de las colecciones de curvas teóricas .

Por otro lado a manera de comparación y verificación el interpretador continuamente debe calcular las curvas de resistividad aparente correspondientes a sus datos de espesores y resistividades del medio estratificado que tiene presente y compararlos nuevamente con las curvas de campo originales para verificar o modificar sus resultados , por ello emplea también la computadora digital con distintos métodos de cálculo numérico de curvas de Resistividad Aparente.

Como el cálculo numérico de las curvas de Resistividad Aparente implica la evaluación de las expresiones matemáticas antes obtenidas para los dispositivos Wenner y Schlumberger.

Los métodos de cálculo numérico se agrupan de acuerdo a la manera en que se evalúan tales ecuaciones , en base a esto se identifican dos grupos de métodos :

- Método de expansión en series de la función kernel
- Método de filtrado lineal

III. 5. 1 METODOS DE EXPANSION EN SERIES DE LA FUNCION KERNEL

El cálculo numerico de curvas de resistividad aparente tiene la dificultad de la evaluación de la integral infinita de las expresiones de resistividad aparente de los dispositivos estudiados, por lo cual los métodos del primer grupo emplean un artificio matemático para resolverlo.

Estos métodos aproximan la función Kernel $A(\lambda)$ por una serie finita de términos de $e^{-2n\lambda}$

$A(\lambda)$ es aproximadamente :

$$A(\lambda) \approx \sum_n^m Q(n) e^{-2n\lambda} \dots \dots \dots (30)$$

El resultado expresado en (28) es empleado junto con la integral de Weber - Lipschitz :

$$\int_0^{\infty} \lambda^m e^{-\alpha\lambda} J_m(\lambda r) d\lambda = \frac{(r)^m}{(\alpha^2 + r^2)^{m+1/2}} \dots (31)$$

$m=0,1,2,\dots$

Usando (28) y (29) se transforman las expresiones de resistividad aparente obteniendo entonces

$$\rho_{as}(S) = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_n^m Q(n) \frac{1}{\left(1 + \frac{4n^2}{S^2}\right)} \right\} \dots \dots \dots (32)$$

$$\rho_{aw}(a) = \rho_1 \left\{ 1 + 2 \sum_n^m Q(n) \left[\frac{2}{\left(1 + \frac{4n^2}{a^2}\right)^{1/2}} - \frac{1}{\left(1 + \frac{n^2}{a^2}\right)^{1/2}} \right] \right\} \dots \dots \dots (33)$$

En las expresiones anteriores es necesario evaluar los coeficientes $Q(n)$ de la expansión de series de la función Kernel, lo cual se realiza en forma particular en cada uno de los distintos métodos siendo los más conocidos :

- a) método de Orellana y Mooney
- b) método de Van der

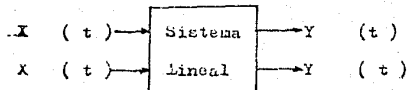
Entre las ventajas más significativas que presentan e los métodos están :

-La de la consideración del número suficiente de M términos dentro de la sumatoria que permitan evaluar los valores de resistividad aparente con un error determinado.

-Se carece pues de certeza en el grado de aproximación óptima de curvas y que no existen un criterio adecuado que permita detener automáticamente el proceso en el momento óptimo, ocasionando un tiempo de cálculo excesivo.

III. 5. 2 METODOS DE FILTRADO LINEAL DIGITAL

La posibilidad de emplear el método de filtrado lineal digital en el cálculo numérico de curvas de resistividad aparente es consecuencia del hecho de que las expresiones matemáticas para las funciones de resistividad aparente con ecuaciones lineales, es decir las funciones de resistividad aparente y transformada de resistividad pertenecen a un sistema lineal:



Se señala la proporcionalidad de la salida $Y(t)$ a la entrada $X(t)$ a través de la transformación lineal H .

$$Y(t) = H [X(t)] \dots \dots \dots (34)$$

En este caso se identifican los términos del sistema lineal considerando como señal de entrada a la función transformada de resistividad $T(f)$; la respuesta del sistema es la función de resistividad aparente ρ_a , puesto que ρ_a y T pertenecen a un sistema lineal, estarán relacionadas a través de la integral de convolución, es decir: si $Y(t)$ es la señal de salida, entonces estará dada por la convolución de $X(t)$ y $H(t)$ obteniéndose que:

$$Y(t) = X(t) * H(t) \\ = \int_0^{\infty} X(\tau) \cdot H(t-\tau) d\tau \dots \dots \dots (35)$$

donde $H(t)$ es la función característica o función filtro.

Expresando (25) y (29) en términos de ρ_a y $T(\lambda)$ y efectuando cambio de variable, podemos escribir las integrales de convolución para los dispositivos wagner y Schlumberger de la siguiente forma y

$$\rho_{as}(x) = \int_0^{\infty} T(y) h_s(x-y) dy = T(x) * h_s(x)$$

$$\text{donde } h_s(x) = J_1(e^x) e^{2x} \dots \dots \dots (36)$$

$$\rho_{aw}(x) = \int_0^{\infty} T(y) h_w(x-y) dy = T(x) * h_w(x)$$

$$\text{donde } h_w(x) = 2[J_0(e^x) - J_0(e^{2x})] e^x \dots \dots (37)$$

$h_s(x)$, $h_w(x)$ son las funciones filtro inverso de resistividad.

Realizando las conversiones adecuadas en (36) y (37) se llega a la expresión discreta de esas funciones, así como a su manejo en la computadora digital.

Las expresiones para los dispositivos estudiados quedan:

$$\rho_{as} = \sum_T h_s j T(y_0 + j \Delta y) \dots \dots \dots (38)$$

donde: h_j son los valores muestreados del filtro inverso de resistividad

Diversos autores como Chesh (1971), O'Neil (1975), Anderson Tresspec (1975), Manuina (1961), Seara (1979), etc., han determinado valores muestreados o coeficientes de filtros lineales y publicado sus resultados en diferentes filtros de uso común.

Las técnicas para la determinación de los valores muestreados de los filtros lineales se basan principalmente en el análisis de Fourier y en la teoría del filtro óptimo de Wiener

$$\rho_{aw} = \sum_j h_w j T(y_0 + j \Delta y) \dots \dots \dots (39)$$

Existen filtros lineales diseñados para el cálculo de la resistividad aparente con dispositivos tipo Schlumberger o tipo Wanner.

Las ventajas más significativas alcanzadas por el método de filtrado lineal digital son las siguientes :

-Permite la elaboración de filtros lineales inversos muy eficientes , empleados en el cálculo de curvas teóricas de resistividad aparente para medios estratificados de dos , tres , cuatro o más capas.

-Otra ventaja del método es que permite el diseño de filtros inversos largos , de intervalo de muestreo corto y de numerosos coeficientes de filtro los cuales calculan las curvas de resistividad aparente con contrastes severos de resistividad.

-Los filtros inversos cortos se diseñan con intervalos de muestreo amplios y con pocos coeficientes de filtro y se usan para el cálculo de curvas de resistividad aparente con contrastes moderados de resistividad.

-Los filtros lineales inversos diseñados de esta forma poseen la capacidad de obtener valores exactos de resistividad independientemente del número de capas del medio , así como las relaciones de espesores

-El tiempo empleado en el cálculo de curvas de resistividad aparente de dos , tres , cuatro capas por los filtros lineales de pocos coeficientes varía entre 0.3 y 2.7 segundos , mientras que los filtros de mayor número de coeficientes emplean de 4 a 8 segundos .

En comparación con los programas que usan el método de expansión en series de la función kernel , los programas de filtrado lineal digital muestran una mayor rapidez y eficiencia para el cálculo de curvas teóricas.

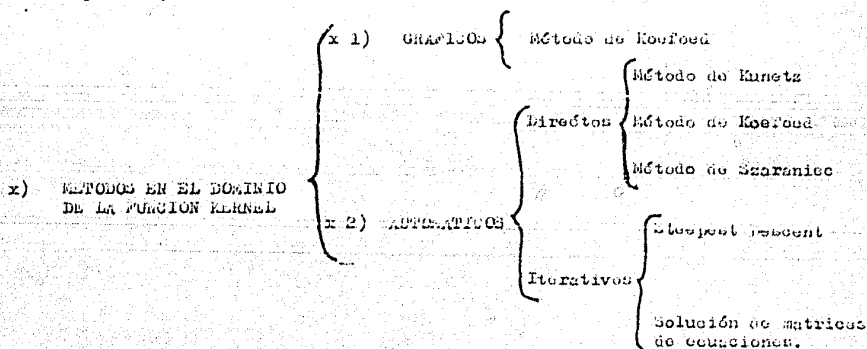
III. 6 PROBLEMA INVERSO EN LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

Se define al problema inverso en los sondeos eléctricos verticales como la determinación de los espesores y resistividades de las capas que forman el subsuelo a partir de la curva de resistividad aparente medida en el campo de trabajo.

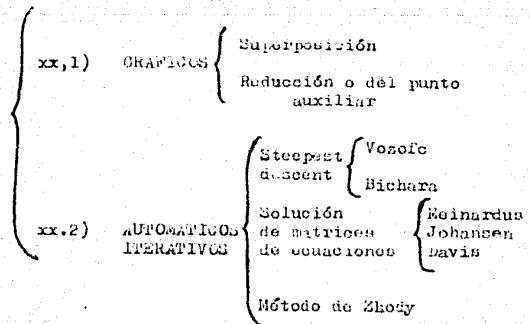
En la interpretación de los sondeos eléctricos verticales se distinguen dos etapas que conducen a la determinación de la estructura del subsuelo en la zona de interés :

- a) La primera etapa que consiste en obtener la distribución de resistividades en el medio estratificado de estudio.
- b) La segunda etapa que es encontrar el significado geológico de la serie de resistividades y espesores del corte geofísico obtenido.

El intérprete geofísico afronta de diversas maneras el problema de la obtención de los espesores y resistividades del medio estratificado distinguiéndose varios métodos de interpretación del problema inverso los cuales pueden quedar clasificados de la siguiente manera :



MÉTODOS EN EL DOMINIO
DE LA RESISTIVIDAD
APARENTE



En este estudio geocéntrico la solución del problema inverso fué obtenido usando los métodos gráficos en el dominio de la resistividad aparente y se complementó la solución del problema empleando los métodos automáticos iterativos de Zhody y de la solución de matrices de ecuaciones.

III. 6. 1 MÉTODOS GRÁFICOS

Método de Superposición

Este método consiste en comparar la curva de resistividad aparente obtenida en el campo que se desea interpretar con las curvas teóricas de resistividad aparente de un album, hasta encontrar una de estas que coincida con la primera.

Una vez obtenida la curva teórica que coincide con la curva de campo, es posible determinar los parámetros del corte geocéntrico para la curva de campo a partir de las relaciones de relaciones de resistividad y espesores que identifican a la curva teórica seleccionada.

En la utilización del método de superposición destacan las siguientes ventajas:

a) Al lograr coincidencia perfecta entre las curvas de campo completa y una de las curvas teóricas, es posible determinar exactamente los espesores y resistividades del medio estratificado, lo que no sucede con los métodos de interpretación que ajustan por partes de la curva de campo, donde los espesores y resistividades obtenidos podrán presentar variaciones dependiendo de la forma en que cada interpretador mueva sus diagramas.

b) Como se emplea toda la curva de campo, es posible advertir las irregularidades en la curva producidas por variaciones interiores de resistividades o porque el sustrato no cumple las condiciones teóricas.

Las desventajas más importantes del método son:

a) Aún para el interpretador experimentado puede ser tardado llegar a localizar una curva teórica que coincida con cierta aceptación con la curva de campo.

b) La cantidad de curvas teóricas posibles es tan grande que resulta imposible preparar y manejar un álbum que las contenga todas.

Método de Reducción

El método de reducción o de ajuste parcial de curvas es una técnica gráfica empírica en la que las curvas de campo van siendo interpretadas por segmentos, usando las curvas teóricas de dos capas, la idea básica del método es que conforme cada porción de curva es interpretada, las capas del medio estratificado correspondiente al segmento interpretado son combinadas teóricamente para formar una sola capa ficticia homogénea e isotrópica. Este procedimiento requiere del uso de curvas auxiliares junto con las soluciones de curvas teóricas de dos y tres capas y es conocido también con el nombre de Método de punto auxiliar.

Las limitaciones propias del método de superposición han hecho que el método del punto auxiliar sea ampliamente usado, el cual con un poco de práctica permite al interpretador obtener resultados de muy buena calidad.

III. 6. 2 MÉTODOS AUTOMÁTICOS ITERATIVOS

Con el advenimiento de las computadoras digitales, se salvarán muchos de los problemas acarreados por los métodos gráficos; lográndose sobre todo una ganancia en el tiempo de interpretación de las curvas de campo.

Los métodos automáticos iterativos son aquellos en los que los datos de campo son comparados con los datos de una curva teórica calculada para un modelo inicial aproximado y por medio de aproximaciones sucesivamente las diferencias entre ambas curvas se va reduciendo sucesivamente. El proceso se repite hasta lograr un acuerdo suficiente entre este estudio se describen los datos del modelo y los datos del campo.

Los métodos automáticos iterativos empleados dentro de este estudio se describen en forma breve a continuación:

- Método de interpretación automática de Zhody (1974), modificado por González (1983).

Este método parte de la idea de aprovechar la características de similitud y cercanía que existe entre curva de resistividad aparente y sus correspondientes curvas de Dar Zarrouk.

En base a esta característica el método de interpretación automática de Zhody consistirá en encontrar una curva modificada de Dar Zarrouk (de las cuales las curvas de Dar Zarrouk son casos particulares) que es muy cercana a la curva de resistividad aparente observada y cuya interpretación da por resultado un medio estratificado para el cual la curva de resistividad aparente calculada prácticamente coincide con la curva observada.

El proceso iterativo de aproximaciones sucesivas en el método automático de Zhody para la obtención de la curva modificada de Dar Zarrouk adecuada es el que se describe en la siguiente etapa:

1) El método requiere solo como datos iniciales puntos digitalizados sobre la curva de resistividad aparente observada que se desea interpretar.

La digitalización de la curva de campo se realiza usando un intervalo de muestreo $\Delta x = 1 - 6 \ln(10)$ es decir tomando seis muestras por ciclo logarítmico.

2) Determinación de la primera curva modificada de Dar Zarrouk, esta primera aproximación se logra considerando los puntos digitalizados de la curva de resistividad aparente observada, considerados en la etapa anterior.

3) Interpretación de la curva modificada de Dar Zarrouk, esta obteniendo comparando cada par de valores de las ordenadas de los puntos digitalizados, mediante la aplicación de fórmulas adecuadas de interpretación se obtienen los espesores y resistividades de un medio estratificado de "n" capas. El espesor de la última capa se hace igual a un número muy grande como (9999999999999999).

4) Cálculo de la curva transformada de resistividad; usando el medio estratificado obtenido en el paso anterior y aplicando la fórmula de recurrencia de Lima Lobato se calculan los puntos de esta curva.

5) Obtención de la curva de resistividad aparente calculada (ρ_a)_i.

Realizando la convolución discreta de los puntos digitalizados de las curvas de transformada de resistividad con los coeficientes de un filtro lineal inverso, se obtiene una ρ_a .

El filtro lineal inverso debe tener un intervalo de muestreo

$\Delta x = 1/6 \ln(10)$, para que las abscisas de los puntos de resistividad aparente observada y calculada sean las mismas.

6) Comparación de las curvas de resistividad aparente observada y calculada ; para cada punto de comparación se calcula el valor del error relativo en porcentaje , si al menos para uno de los puntos el valor del error relativo es mayor que la tolerancia de aproximación , esto significa que la curva de resistividad aparente observada no ha sido todavía adecuadamente interpretada, por lo que el proceso iterativo debe continuar .

7) Para continuar el proceso iterativo es necesario obtener una nueva aproximación a la curva modificada de Bar Zarrouk adecuada , utilizando las diferencias entre los valores de ρ_a observada y ρ_a calculada.

La nueva curva modificada de Bar Zarrouk calculada es interpretada hasta obtener una nueva curva de resistividad aparente calculada . El proceso iterativo se repite hasta que las curvas de resistividad aparente observada y calculada se ajustan en cada punto dentro de la tolerancia de aproximación prefijada .

El proceso iterativo también se detiene si después de 10 iteraciones ambas curvas no se han ajustado o si la suma de los errores cuadrados para cada aproximación se incrementa en 5 iteraciones sucesivas , entonces los espesores y resistividades del medio estratificado con el error cuadrático mínimo se almacenan en la computadora.

8) Una vez terminado el proceso iterativo , el medio estratificado obtenido tiene un número de capas igual al número de puntos digitalizados en la curva de resistividad aparente observada , constituyendo lo que se denomina la " solución estratificada " en esta es común que varias capas sucesivas tengan casi la misma resistividad , por lo cual el número de capas con resistividades marcadamente distintas puede ser menor que el número de puntos digitalizados.

El método está programado para que el número de capas de la solución detallada sea automáticamente disminuido para obtener una " solución reducida " que contiene únicamente capas fundamentales del medio , se tri

que el modelo reducido y el modelo detallado sean eléctricamente equivalentes.

El número de capas es reducido calculando la correspondiente curva de Bar Zarrouk del modelo detallado, la cual se suaviza numéricamente y finalmente se interpreta para obtener la solución reducida.

El método automático de Zhouy puede no producir una curva de resistividad aparente calculada que se aproxime adecuadamente a la curva de resistividad aparente observada debido a dos razones:

a) La curva de resistividad aparente que se desea interpretar es una curva incompleta o sea que sus segmentos correspondientes a los espaciamientos de electrodos mínimos y máximos no están desarrollados hasta alcanzar su comportamiento asintótico.

b) La curva de ρ_a resistividad aparente observada está distorsionada, la curvatura de ciertos segmentos no puede ser aproximada por medio de una resistividad aparente calculada para un medio horizontalmente estratificado ideal. Es decir que la curva de campo está afectada por heterogeneidades laterales, errores de medición o digitalización.

Por ello el método está implementado para permitir también la interpretación de curvas incompletas, así como de curvas distorsionadas y aunque el método automático de Zhouy no requiere de que las curvas de campo se encuentren completamente desarrolladas, sin embargo, si el interpretador tiene información sobre la resistividad de la primera y última capas, es conveniente que extienda la curva hasta sus valores asintóticos, lo cual simplifica el problema y disminuye el tiempo de procesamiento permitiendo así obtener los valores adecuados de las resistividades de la primera y última capas.

Para llevar a cabo este procesamiento adicional se emplea el modelo interpretado que ajusta la curva distorsionada con el valor mínimo de error sumático.

En este caso, se construye la curva de ρ_a resistividad aparente calculada con el medio estratificado detallado como variación suavizada de la curva distorsionada, la cual suaviza se calcula para un espaciamiento de electrodos

igual a un óvalo de espaciamiento mínimo, para así completar la rama de la curva. Esta curva suavizada y completa es reinterpretada usando el proceso iterativo descrito, el cual puede proporcionarnos una solución más adecuada del problema interpretativo.

El método automático de Zhody proporciona en ocasiones medios estratificados que pueden contener capas incógnitas a juicio del interpretador, también realiza con limitada exactitud el cálculo de curvas de ρ_a por convolución con los filtros inversos usados en el programa original. Es por esto que el programa original de Zhody fué modificado en su concepción original. Es por esto que incluyendo filtros lineales más eficientes en sustitución de los filtros de Ghosh usados originalmente.

La ventaja de sustituir los filtros originales publicados por Ghosh (1971) con intervalos de muestreo de $1/3 \ln(10)$ por otros filtros con mayor intervalo de muestreo, permite elegir entre una amplia gama de filtros inversos, el más adecuado para el problema interpretativo de que se trate.

La inclusión de filtros lineales inversos más eficientes dentro del método de Zhody son recomendadamente los de intervalo de muestreo $\Delta X = 1/6 \ln(10)$ representa una importante disminución en el tiempo de procesamiento requerido en la interpretación automática de curvas de resistividad aparente, generadas por medios estratificados con contrastes muy severos de resistividad.

- Método de solución de matrices de ecuaciones

Otro método usado para la interpretación de sondeos eléctricos siguiendo al grupo de métodos automáticos iterativos fué el de solución de matrices de ecuaciones. Este método minimiza el error entre los valores de ρ_a calculados y los observados en campo, modificando los parámetros del corte geoelectrónico a través de la técnica de mínimos cuadrados.

El algoritmo de mínimos cuadrados utilizado en este método surgió originalmente por Marquardt (1963) el cual puede ser modificado para aplicaciones

junto con la ecuación de la función de resistividad aparente para el dispositivo Schlumberger, en la diferencia entre (ρ_a obs - ρ_a cal) del algoritmo de este método.

A partir de las modificaciones al algoritmo, realizadas por Johansen (1977) y Davis (1979) se obtuvo la modificación debida a los incisos y conspicuos maestros de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México el Ing. Andrés Tejero, Ing. Roberto León Sánchez y el Ing. Pedro Gonzales, la cual presenta el proceso de minimización de error de la siguiente manera:

$$\sum_{k=1}^{22-1} \frac{\rho_k}{\rho_{obs,j}} \frac{\partial \rho_{cal,j}}{\partial \rho_k} \Delta x = \frac{\rho_{obs,j} - \rho_{cal,j}}{\rho_{obs}}$$

$$x_k = \ln \rho_k$$

En esta ecuación es el punto de observación, ρ_k es la variable que se refiere a cualquiera de los parámetros del corte (h_k, ρ_k) y $\Delta \rho_k$ es el factor de corrección.

La conveniencia de utilizar la ecuación anterior es hacer el proceso de minimización de alta convergencia; por otro lado, evita obtener parámetros negativos del corte geocéntricos. La ecuación redefine en variables logarítmicas, tanto las resistividades aparentes, como los parámetros del corte, lo que permite estudiar el problema de equivalencia al convertirlo en un problema lineal.

Las ventajas de utilizar el método de solución de matrices de ecuaciones con la técnica de modificación de mínimos cuadrados, se muestra probando modelos teóricos de parámetros de corte geocéntricos conocidos, en estos casos los modelos lineales (interpretados) comparados contra los parámetros del corte geocéntrico real muestran que la solución obtenida con la ecuación modificada es mejor que las técnicas de mínimos cuadrados de Davis o Johansen.

RESUMEN DE LOS SONDEOS ELECTRICOS REALIZADOS

a	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	301	302	303	304
1.0	302.3	508.1	210.0	155.2	209.3	390.5	650.4	140.0	290.7	155.2	260.6	800.0	225.3	180.1	100.5
2.0	270.0	570.3	215.6	235.4	235.2	540.1	850.3	138.5	400.0	152.3	155	800.0	225.3		100.3
3.0	205.2	550.3	210.8	280.5	245.3	570.7	770.5	122.3	480.6	148.3	155.8	750.0	220.5	115.4	100.5
4.0	135.2	500.3	200.0	260.1	250.5	510.3	640.2	108.5	480.1	138.6	250.2	700.6	220.3	100.4	75.0
5.0	95.0	440.2	192.3	235.7	250.6	440.3	530.6	95.6	440.7	125.2	250.3	650.4	219.3	80.0	70.2
7.0	42.3	290.1	162.5	170.0	245.3	300.2	350.3	80.0	350.6	92.0	280.7	400.5	215.6	72.3	80.0
10.0	44.3	170.5	115.7	120.3	225.4	200.0	270.5	86.5	245.6	65.5	300.2	300.0	210.6	85.4	65.6
15.0	35.5	92.3	72.4	84.0	165.3	145.2	150.5	102.7	155.9	62.5	330.0	130.2	200.0	104.3	50.7
20.0	32.0	55.3	45.5	65.6	122.1	110.3	110.5	108.7	108.5	65.3	240.7	60.5	175.3	110.4	42.3
30.0	33.2	27.5	24.2	47.3	78.5	79.4	70.6	88.3	78.7	68.5	145.3	23.5	95.2	90.7	30.4
40.0	38.2	23.5	24.0	37.7	55.8	63.4	52.5	68.0	74.4	68.8	119.5	16.3	55.5	80.6	24.0
50.0	42.3	21.5	24.5	31.8	43.1	51.6	40.3	55.5	75.8	66.7	108.6	15.5	48.7	65.5	20.5
60.0	45.2	20.5	26.7	27.5	34.3	42.8	32.7	44.3	76.15	64.8	84.3	16.9	39.7	55.6	18.9
70.0	48.3	20.4	27.8	25.6	29.1	31.5	27.2	37.4	77.3	62.8	64.7	17.0	28.2	48.3	16.9
85.0	54.2	21.5	24.3	25.7	23.5	25.6	24.9	24.8	72.3	58.5	49.7	18.1	22.5	40.3	14.8
100.0	57.1	22.5	30.0	25.5	20.7	19.3	23.7	25.0	65.4	54.5	42.7	19.0	19.5	34.3	13.5
150.0	70.0	28.3	35.2	30.5	16.7	15.9	24.4	22.8	46.9	42.5	43.3	21.2	20.7	25.4	18.1
200.0	83.5		34.3	36.4	15.3	15.5	20.0	24.7	36.5	33.3	57.5	21.5	23.1	21.2	18.0
300.0	110.0		46.1	45.8	16.5	18.7	17.5	28.2	25.3	22.5	75.0	18.0	27.5	22.7	17.5
400.0	135.3		50.0		18.7	21.0	17.3	24.5	24.0	19.8	66.3	17.1	24.8	20.5	25.3
500.0	160.7		52.5		21.6	24.5	18.7	19.3	26.2	20.0	38.7	15.6	26.3	34.2	27.0
600.0			54.0										26.6		
700.0															

a	305	306	307	401	402	403	404	405	701	702	703	704	705	706	707
1.0	90.2	250.5	72.3	430.2	880.7	220.6	155.0	162.8	12.4	55.3	165.1	169.2	75.3	45.4	76.5
2.0	90.0	180.5	60.7	430.8	800.5	215.3	140.9	142.5	55.2	77.4	105.4	145.5	57.6	35.7	72.8
3.0	90.5	140.1	42.4	410.1	580.2	210.0	138.5	122.3	54.7	85.5	94.7	108.8	46.4	24.0	74.1
4.0	90.9	115.3	30.5	360.5	420.8	195.3	155.1	110.0	53.6	96.7	81.0	65.1	42.2	25.3	77.4
5.0	90.4	110.7	35.9	270.4	310.3	170.8	175.7	100.5	55.9	95.6	73.3	46.4	36.5	21.6	88.7
7.0	90.1	120.2	23.4	140.2	190.1	150.5	195.5	85.7	55.4	100.1	61.6	33.7	35.8	22.4	65.0
10.0	90.5	125.6	23.8	70.3	120.7	94.4	210.2	68.1	55.3	48.2	53.5	28.0	38.1	24.2	65.5
15.0	90.7	120.3	24.6	42.7	75.6	70.9	185.0	52.4	50.1	95.0	46.2	28.3	42.4	25.5	61.6
20.0	80.0	100.5	25.5	36.6	54.2	60.1	140.4	40.2	47.6	74.9	43.0	28.6	45.7	27.8	55.9
30.0	66.9	70.8	21.1	31.2	34.9	52.5	88.2	28.5	46.5	62.3	41.8	27.9	43.0	28.1	58.2
40.0	47.5	50.9	19.2	32.5	28.1	46.4	60.9	21.3	46.5	55.8	41.3	22.2	41.1	25.0	57.9
50.0	38.7	42.2	19.3	32.7	26.7	40.0	44.0	17.9	44.2	48.5	45.6	24.5	38.4	26.3	56.2
60.0	34.3	34.9	20.9	32.6	25.3	35.8	35.7	15.4	41.8	44.1	44.9	24.8	24.7	25.6	48.5
70.0	30.1	30.5	20.9	32.0	27.8	31.5	30.4	14.8	39.4	40.2	42.2	31.1	31.5	22.9	44.8
85.0	26.7	25.3	21.8	32.6	28.9	28.7	23.0	14.2	35.0	34.7	38.5	25.4	26.5	16.2	40.1
100.0	24.6	21.4	22.7	31.5	28.7	26.6	19.1	14.3	32.1	28.9	32.8	24.7	22.6	13.5	32.4
150.0	20.5	17.7	19.5	29.7	29.5	26.4	12.3	14.4	24.5	20.8	21.1	22.0	15.9	12.8	25.7
200.0	20.4	16.9	27.3	26.9	27.3	27.5	9.7	23.5	26.4	16.7	18.4	26.5	18.2	13.1	20.0
300.0	25.6	21.0	31.1	22.5	24.1	26.3	9.9	30.7	22.6	12.0	17.7	24.6	20.5	16.4	18.3
400.0	30.0	23.1	34.4	19.6	21.2	22.7	10.2	37.9	19.7	14.3	19.0	33.9	22.8	18.7	18.6
500.0		25.5	38.2			19.1	12.5	43.1	17.5	18.1	17.9	33.8	25.7	21.6	19.5
600.0											20.8	32.7	21.6	25.6	22.2
700.0											26.3	31.2	20.1	32.9	25.9

a	708	709	710	711	712	713	714	715	801	802	803	804	805	806	807
1.0	178.6	249.7	19.8	80.9	109.9	92.1	77.2	41.3	500.0	50.2	43.1	55.8	12.2	50.3	180.3
2.0	125.9	224.0	11.1	70.2	84.3	83.4	94.5	43.6	500.9	80.0	42.9	33.1	36.9	45.6	170.9
3.0	122.3	169.3	8.4	62.5	61.6	70.7	79.8	58.9	480.1	105.9	46.2	27.0	33.3	41.5	160.2
4.0	107.5	143.6	8.7	56.8	50.9	51.0	67.1	71.2	420.8	175.1	50.8	24.5	32.8	42.4	100.4
5.0	97.8	116.9	9.0	45.1	43.2	37.3	56.4	81.5	380.2	125.7	58.3	25.4	33.4	35.3	98.1
7.0	94.1	79.2	10.3	30.4	35.9	26.6	41.7	98.8	270.7	138.2	40.7	28.3	37.7	65.2	70.7
10.0	93.4	60.5	12.6	23.7	27.8	13.4	32.0	166.1	160.3	120.6	75.4	51.2	38.6	72.1	94.0
15.0	71.7	47.8	15.9	19.0	21.6	12.2	24.3	115.4	80.6	80.3	95.6	36.1	35.5	72.0	30.6
20.0	70.0	41.1	18.2	18.3	18.4	13.5	19.6	100.7	80.4	60.5	100.5	38.0	27.1	60.4	23.4
30.0	65.3	35.4	21.5	18.6	15.7	15.8	15.9	80.0	32.5	40.4	95.0	39.0	19.4	40.8	16.5
40.0	56.8	30.7	23.6	19.5	13.4	16.3	15.2	57.1	30.9	34.9	80.9	28.8	15.0	30.7	13.5
50.0	47.1	28.0	26.9	20.8	12.7	16.6	15.5	43.4	30.0	32.1	60.1	23.7	13.8	24.6	11.9
60.0	39.4	26.3	27.2	19.1	12.0	16.9	13.8	28.7	32.8	32.7	45.8	21.6	11.2	19.5	10.2
70.0	31.7	25.6	30.5	19.4	11.3	15.2	14.1	24.0	35.1	35.0	38.2	18.5	10.7	16.4	10.8
85.0	22.0	23.4	32.8	18.7	11.6	15.5	12.4	17.3	36.7	38.7	29.7	15.4	10.3	12.5	9.1
100.0	20.3	22.2	34.1	17.0	11.9	14.8	11.7	17.6	38.2	42.3	23.3	13.3	95.6	10.3	9.7
150.0	12.6	18.5	31.4	14.3	10.2	12.1	9.5	16.9	50.6	38.5	15.6	11.2	10.4	9.1	9.0
200.0	15.9	16.8	29.7	13.6	11.5	11.4	9.3	15.2	60.3	70.2	19.4	11.1	10.5	10.0	9.6
300.00	15.2	11.1	22.0	14.4	12.5	13.7	12.6	13.5	70.5	95.4	18.5	13.0	12.1	13.9	9.5
400.00	13.5	18.4	18.3	16.2	15.1	15.0	15.4	15.8	80.4	128.5	23.0	15.9	15.4	17.0	12.4
500.00		19.9	18.8	18.7	16.6	16.5			85.5		28.9	17.8	15.2	20.7	
600.00		20.7	19.6	19.5	18.0				90.1		34.1	18.7	16.8	20.0	
700.00		22.7	21.5	21.4	20.3				110.9		40.8	22.6	18.3	30.5	

IV. INTEGRACION Y CORRELACION DE RESULTADOS

La segunda parte de la interpretación de curvas de resistividad aparente para un estudio geoelectrico de esta naturaleza, consiste en buscar el significado geoelectrico de esta naturaleza, consiste en buscar el significado geológico de la distribución de resistividades en el subsuelo, o sea en pasar de un medio estratificado geoelectrico a un medio estratificado geológico.

La búsqueda de la relación entre los cortes geoelectricos obtenidos por métodos clásico y automáticos con la información geológica permitira determinar la estructura del subsuelo de la zona estudiada.

La interpretación cuantitativa de las curvas de resistividad aparente es una labor artistica que no puede reducirse a una labor mecánica de la computadora

r Para estos casos el medio estratificado proporcionado por la computadora se considera como una de las posibilidades o posibles soluciones al problema interpretativo.

Despues de correlacionar la información geológica disponible con la distribución de resistividades interpretada se puede establecer que hubo una concordancia satisfactoria de la información geológica superficial y del subsuelo ya conocida en el área con las capas correspondientes del medio estratificado interpretado.

Los requerimientos artisticos para lograr una correlación geológica geofísica, nos llevarón a comprobar el hecho de que las técnicas matemáticas de cálculo electrónico son solo herramientas, que cuando son hábilmente empleadas por el geofísico conocedor de las aplicaciones y limitaciones de estas técnicas conducen a la utilización óptima de ellas.

IV. 1 PERFILES GEOELECTRICOS

Este perfil se conforma de 11 sondeos , separados entre si un kilómetro aproximadamente . La información geológica del área muestra que las formaciones geológicas subterráneas tienen comportamiento regional bastante uniforme por lo que se considera que la correlación lateral entre perfiles es bastante confiable .

Inicia en las inmediaciones del poblado de Charcat y atraviesa los Arroyos Batolitos , Escobas , El Suito , El Colorado y la vía del Ferrocarril Saltillo - San Luis Potosí.

Perfil de Isoresistividades (figura 21)

En el perfil se muestran curvas de igual valor de resistividad bastante horizontales entre los sondeos 203 y 208 disminuyendo los valores desde 150 ohm-m hasta 40 ohm-m con abertura interelectrónica de 100m.

Entre los sondeos 202 y 204 se observa una zona de baja resistividad comprendida entre los 30 ohm-m , debajo de esta tenemos un aumento gradual en el valor de las curvas conforme la abertura crece , hasta valores de 150 ohm-m , inclinándose a la porción Oriental.

En el centro del perfil (sondeos 205 - 207) , se observa un mínimo bastante suave para aberturas entre 200 y 400 m. Debajo del punto 208 y para aberturas superiores a 100 m. , se muestra una región bastante homogénea de 25 ohm-m de resistividad .

La parte más oriental del perfil muestra una zona bastante homogénea con decremento continuo de la resistividad a valores de 25 ohm-m.

Fertil de Resultados (figura 2r)

Entre los sondeos 201 y 204 se observa una zona de alta resistividad comprendida entre 400 ohm-m y 35 ohm-m, probablemente asociada a calizas fracturadas con profundidades cercanas a los 50 m., detectandose en el fondo solo debajo del punto, 201 a una profundidad de 60m., debajo de este se muestra un horizonte con resistividades de entre 140 y 290 ohm-m; inferiendose como calizas sanas.

En la parte superficial se detecto un horizonte de baja resistividad de 5 a 25 ohm-m asociado a material granular.

La parte más superficial debajo del área comprendida entre los sondeos 205 y 211 es bastante heterogenea, se asocia a suelos residuales y material granular seco con resistividades que oscilan entre 25 y 165 ohm-m, con espesor medio de 40m. y 130 m., entre los sondeos 209 y 210. Subyaciendo a esta, se observa un horizonte de baja resistividad entre 10 y 25 ohm-m y un espesor superior a los 200m., que muy probablemente se asocia a sedimentos gruesos, conglomerados o gravas; entre los sondeos 207 y 210 no se observa el fondo; en el sondeo 211 se observa una zona de resistividad de 66 ohm-m.

Debajo de los sondeos 205 y 206 se observa una zona de muy baja resistividad 8 a 13 ohm-m., con espesor de 90m. y se ha inferido como material sedimentario de grano medio; subyaciendo a esta se interpreta un horizonte muy homogéneo de 33 a 35 ohm-m, referido como conglomerado.

Perfil P - 3

El perfil consta de 7 sondeos separados 1000 m. entre sí, que inicia en las inmediaciones de la Rancharía Emiliano Zapata y pasa por el Arroyo Las Magdalena, El Potrero, Los Desmontes y termina cerca de la Estación del Ferrocarril.

Perfil de Isorresistividades (figura 3i)

En la parte superficial del perfil se presenta una zona bastante homogénea para ser las curvas de isorresistividades bastante paralelas hasta una abertura de 100m., notándose un decremento de los valores desde 200 a 30 ohm-m. Posteriormente se observa una zona de resistividad aparente del orden de 20 ohm-m entre las aberturas de 100 a 400 m.

En la parte más inferior del perfil se observa un leve incremento en los valores de las curvas.

Perfil de Resultados (figura 3r)

En el perfil se observan cuatro zonas no bien definidas. La más superficial con resistividades entre 20 y 200 ohm-m con un espesor variable del orden de 40m., y quizás corresponda a los suelos y material granular seco.

Subyaciendo se encuentra una zona bastante homogénea desde el sondeo 302 al 306 con resistividades que oscilan de 4 a 14 ohm-m y con un espesor promedio de 80m. asociado con material fino.

Debajo de esta unidad se presenta una zona observable entre los sondeos 304 y 307 con resistividades en el rango de 25 a 35 ohm-m y espesor promedio de 150 m. correlacionables con sedimentos de grano grueso impermeable.

El último horizonte detectado, las resistividades oscilan de 20 a 65 ohm-m, con un espesor cercano a los 300mts., entre los sondeos 301 y 302, no observándose el fondo en la parte Oriental del perfil y correlacionándose con calizas fracturadas poco porosas.

Entre los sondeos 301 y 302, en la parte investigada más profunda, se interpretó un medio de baja resistividad entre 14 y 22 ohm-m y que probablemente se asocia a una formación con intercalaciones de lutitas y calizas.

Perfil P - 4

Esta sección se conforma de cinco sondeos separados entre sí 1000 mts que inicia 600 mts. al Occidente del rancho Los Callejones y termina 1600 mts. al Oeste del poblado de La Laborcilla.

Perfil de Isoresistividades (Figura 41)

Hasta la separación interelectroica de 100 mts. se observa una zona con curvas de isovalores semiparalelas notándose un aumento de valores desde 150 a 30 ohm-m. Del sondeo 401 al 403 se observa una zona con resistividades aparentes, notándose un incremento de valores desde hasta 40 ohm-m. en el sondeo 402.

Perfil de Resultados (Figura 4r)

La capa superficial del perfil es del orden de 30 mts. con resistividades que oscilan entre 21 y 400 ohm-m asociado a material granular de diversa índole sin importancia hidroclógica.

Le subyace a esta, un horizonte con resistividades que oscilan entre 20 y 37 ohm-m con espesor de 200 mts. en promedio entre los sondeos 401 y 402.

el cual se ha asociado a material granular grueso.

Una tercera zona de resistividades comprendida entre 2 y 16 ohm-m se observa a lo largo del perfil, con un espesor no determinado entre los sondeos 401 y 403 y presentando un espesor variable entre 120m y 50m. entre los sondeos 404 al 405, asociándose al material granular medio.

Por último en los sondeos 404 y 405 se presenta una capa con resistividades del orden de 24 a 91 ohm-m y que corresponde a calizas fracturadas probablemente poco permeable.

Perfil. P - 7

Esta sección se conforma de 15 sondeos con una dirección preferencial Oeste - Este y una separación de 100Qmts. entre el Oeste del poblado de labor Vieja, pasando la vía del ferrocarril Saltillo - San Luis Potosí y terminando en las inmediaciones de la hacienda Piedra Colorada en el Valle de Villa de Arista.

Perfil de Isorresistividades (figura 7d)

En la parte superior de la sección se muestran curvas de alta resistividad desde 100 hasta 30 ohm-m en todo el perfil excepto en el sondeo 704 y de 10 ohm-m en el 714 y aumentando posteriormente los valores de las curvas hasta 20 ohm-m.

Perfil de Resultados (figura 7e)

A lo largo del perfil se interpretó una capa con resistividades que oscilan entre 10 y 157 ohm-m., de espesor variable menor a los 100mts y que se adelgaza hacia la parte más Oriental del perfil, asociándose dicho horizonte a material granular fino.

Subyaciendo a ésta se presenta un horizonte a lo largo de todo el perfil, excepto en los sondeos 701 y 704 de resistividades que oscilan entre los 6 y 17 ohm-m y son espesor máximo de 360 mts debajo del sondeo 710.

Dicho horizonte es el que presenta mayores posibilidades acuíferas del área comprendiendo material granular tipo gravas saturadas.

En el último horizonte interpretado se visualizan resistividades con rango de 26 a 76 ohm-m que se asocia a la serie Mesozoica, probablemente poco permeable.

Perfil P - 8

Esta sección se conforma de nueve sondeos, con una separación de 1000 mts entre sondeos y dirección preferencial Oeste - Este. Comienza en las inmediaciones de la carretera Ahualulco - Moctezuma, pasando por la rancharía de Montecillos y terminando pasando la vía del Ferrocarril o sea cruzando la vía que va de Saltillo a San Luis Potosí.

Perfil de Isorresistividades (figura 81)

Entre los sondeos 601 y 602 se muestra un decrecimiento en los valores de resistividad desde 80 hasta 40 ohm-m para una abertura de 1000 mts y un incremento para aberturas mucho mayores de hasta 100 ohm-m. Del sondeo 603 al 609 se observa una zona con un mínimo muy amplio de hasta 10 ohm-m y por supuesto un incremento en los valores de resistividad (20 ohm-m).

Perfil de resultados (figura 8r)

En todo el perfil se muestran tres unidades. La más superficial con espesor variable del orden de 30 mts desaparece en los sondeos 601 y 602

y adelgaza en la zona 806 y 807 con resistividades entre 16 y 118 ohm-m asociado a material granular seco. El estrato intermedio tiene resistividades entre 5 y 17 ohm-m y que es el que presenta mayores posibilidades acuíferas del área de estudio por corresponder a material granular tipo gravas saturadas, espesor constante de 120m., entre los sondeos 808 y 809 y que se hace más potente debajo del punto 805.

El horizonte más profundo interpretado se ha dividido en dos zonas la superficial con resistividades entre 22 y 47 ohm-m que corresponde a calizas fracturadas probablemente semipermeables y la zona más profunda con resistividades entre 84 y 109 ohm-m posiblemente correlacionables con calizas sanas.

IV. 2 - CORRELACION GEOFISICA GEOLOGICA

En el siguiente cuadro queda consignado en forma resumida la investigación eléctrica puede verse que las zonas recomendadas como prioritarias para la exploración directa dentro de la franja, corresponden al subsuelo de los perfiles 7 y 8. En ellas los espesores acuíferos son bastante aceptables y la profundidad al nivel del agua es aún relativamente somera.

PERFIL GEOELECTRICO	PROFUNDIDAD A LA CAPA ACUIFERA PROBABLE (M)	ESPESOR DE LA CAPA ACUIFERA PROBABLE (M)	NIVEL DEL AGUA BAJO EL PERFIL (M)
2	45	100	20
3	35-40	60-100	40-100
4	30-40	40-100	35-60
7	90-100	150-350	40- 2
8	20	100-330	40- 2

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. 1 RESUMEN

El marco geológico regional está definido por un acentuado plegamiento y fracturación de rocas sedimentarias mesozoicas, con una cubierta de lavas volcánicas de naturaleza ácida, que en conjunto constituyen grabens y pilares tectónicos. Este patrón estructural y la errática y reducida cubierta de conglomerados remanentes son los factores responsables de una marcada escasez de receptáculos apropiados para el almacenamiento de aguas subterráneas.

Además, la zona queda ubicada en una de las regiones que por su grado de humedad y régimen pluviométrico, se es considerado como árida a semiárida.

La escasa precipitación que anualmente tiene lugar en la región, es en consecuencia insuficiente para recargar eficazmente la cuenca extensa y profunda del Valle de Arista y los reducidos espesores de conglomerados de la parte Occidental.

Existen dentro del área de estudios unas 243 captaciones de agua subterránea. La mayoría de éstas, están constituidas por norias para uso doméstico, excavadas a una profundidad promedio de 10 metros y en su casi totalidad sin equipo.

La mayor parte de los pozos quedan localizados en la zona Oriental en el borde del Valle de Arista y forma parte del sistema de explotación de, este.

La recarga del acuífero del área, tiene lugar preponderantemente en las Sierras altas del Oeste.

Una vez infiltrada el agua en la designada cubierta de aluviones y conglomerados, escurre subterráneamente hacia el Este siguiendo primeramente un patrón estructural y después un efecto dinámico hasta descargar en el borde Occidental del Valle de Arista.

Esta descarga se efectúa a lo largo del borde, sobre una amplia terraza estructural inclinada hacia el Valle y con espesores de conglomerados en aumento en esta dirección.

Aunque el monto de los volúmenes de flujo no pueden precisarse por carencia de valores de transmisibilidad, estimaciones gruesas sobre caudales de ocurrencia subterráneo fueron localizados en estudios anteriores, los gastos así obtenidos estiman valores de 500 litros por segundo en la porción Occidental y de unos 1000 litros por segundo como caudal de descarga al Valle.

La interpretación de los sondeos eléctricos de resistividad llevados a una profundidad de exploración directa, la porción Occidental de la Terraza de Venado - Moctezuma.

En esta zona como puede observarse la distribución de resistividades en el subsuelo y la información referente a cortes litológicos, profundidad a los niveles de agua y calidad de la misma, sugieren que entre los 45 y 350 metros de profundidad, existen capas acuíferas susceptibles de explotarse.

Como ya se ve, el aspecto más interesante de la explotación geofísica, es el haber acotado el espesor de las capas productoras.

Si las perforaciones de exploración confirman estos resultados, una política adecuada de la explotación del almacenamiento podría ser el eje de una planeación socioeconómica de la zona.

V. 2 CONCLUSIONES

PRIMERA .- Más de dos terceras partes del área se encuentran formadas por lutitas , areniscas , calizas , y rocas volcánicas de permeabilidad por fracturamiento y disolución muy poco desarrollada . Constituyen estas rocas las Sierras , Terrazas y áreas de profundas cañadas del alto estructural ubicado al Occidente del Valle de Arista .

SEGUNDA .- En el resto del área , tanto en las localidades altas de la zona Occidental como en las bajas y planas de la misma cubierta conglomerática y aluvional ofrece pocas posibilidades acuíferas . En las partes altas , la capa de sedimentos no consolidados además de tener muy poco espesor está drenada y en porciones bajas , aunque se establece un nivel de saturación no hay capacidad de almacenamiento .

TERCERA .- La zona con mejores opciones geohidrológicas se encuentra en el tercio Oriental , en el área de transición entre amplias terrazas de Venado , Moctezuma y el Valle de Arista , donde ocurren acumulaciones de materiales no consolidados de naturaleza permeable .

CUARTA .- Los resultados de la exploración geofísica permitieron delimitar en esa zona , una franja a todo lo largo de la terraza , bajo la cual los modelos eléctricos e hidrológicos e hidrogeológico asocian paquetes de hasta 360 m. de espesor en el pozo 7 con conglomerados saturados .

A partir de la correlación resistividad - litología , entre el pozo 715 y el pozo 4372 se pudo definir que el posible estrato productor tiene resistividades entre 6 y 13 ohm-m y se ha asociado a material granular .

El horizonte productivo se observó en todos los perfiles. La Geoquímica indica que el agua del yacimiento es de mediana calidad pudiendo explicar las bajas resistividades observadas para el horizonte.

La zona más interesante desde el punto de vista hidroológico, en términos de estudio geofísico, es una franja con dirección aproximada Norte - Sur que pasa entre los condados 205 y 206, 303 y 306, 404 y 405, 705 y 710 y del 804 al 809. Se podrían programar perforaciones con posibilidades de explotación.

QUINTA.- Se conoce a través de estudios anteriores, que el coeficiente de almacenamiento del acuífero en conglomerados es más bien bajo. Sin embargo la potencia esperada del espesor saturado puede garantizar la extracción de volúmenes significativos.

SEXTA.- Aunque en esta zona la explotación en la planicie ha comenzado a modificar la red de flujo y a abatir la red en su nivel del agua, se tienen profundidades a los niveles freáticos entre 30 y 60 mts., que aún hacen operable un eventual incremento en la extracción.

SEPTIMA.- El perfil sepultado de las rocas marinas sedimentarias, fué detectado desde profundidades muy cercanas a la superficie, a profundidades del orden de los 400mts. Las bajas resistividades contenidas en ese "paquete de rocas mesozoicas", debe ser correlacionado más bien con intercalación de lutitas, que con la presencia de agua.

V. 3 RECOMENDACIONES

PRIMERA.- Efectuar sondeos directos de exploración en los sitios con-
signados, se recomienda efectuar una perforación a nivel exploratorio entre
los sondeos 702 y 703 , con el objeto de definir si la capa intermedia
(8 a 11 ohm-m) ofrece posibilidades de ser un lente productor.

SEGUNDA .- Ampliar la red de sondeos geoelectricos con el fin de cubrir
una mayor área de exploración. Realizando uno con orientación NE - SW ,
que incluya las poblaciones de Guanamá y Venaco ; y otro con orientación
N - S , cercano a la zona recomendada para la exploración directa .

TERCERA .- Realizar el mayor número de pruebas de bombeo posible , para
definir las características hidráulicas de las capas acuíferas.

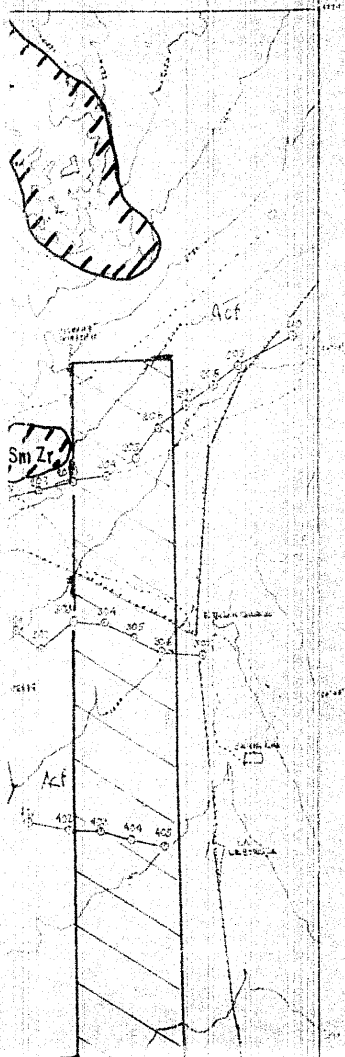
CUARTA .- Realizar lecturas del nivel del agua en la mayoría de las
captaciones con una periodicidad cuando menos anual , para registrar la evo-
lución de los niveles del agua en el acuífero.

QUINTA.- Integrar este estudio a los Valles de Arista , con el
objeto de determinar la influencia que podrían tener las explotaciones en
proyecto en esta región , a las ya existentes en el Valle antes mencionado
pues la piezometría del estudio se observa que el flujo de las capas acuíferas
, presenta esta dirección.

BIBLIOGRAFIA

- TEJERO A. , LEON S R . , GONZALEZ . , (1984) , Interpretación Iterativa de Sondeos Eléctricos . Segunda reunión geohidrológica Academia Mexicana de Ingeniería . Instituto de Geología y minería , UASLP . Facultad de Ingeniería UNAM .
- PARASNIS , D. S. Principios de Geofísica Aplicada , (1970)
Paraninfo Madrid.
- ORELLANA , E . (1982) .Prospección geoelectrica en corriente continua . Paraninfo Madrid.
- KOLSFOED , O . (1979 b) . Geosounding Principles I Elsevier Scientific Publishing Co.
- SINTESIS GEOGRAFICA DE SAN LUIS PONCE (1981) Secretaría de Programación y Presupuesto.





SIMBOLOGIA

FAJONCILLO PASIVACION

FORIACION

DEPRESA

PERFORACION

CURVA DE ALIVIA

LINEA ENTRE UNIDADES METAMORFICAS

SONIDO ELECTRICO



Acf

GSm Zr

AREA PROPUESTA DE EXPLORACION

Acf

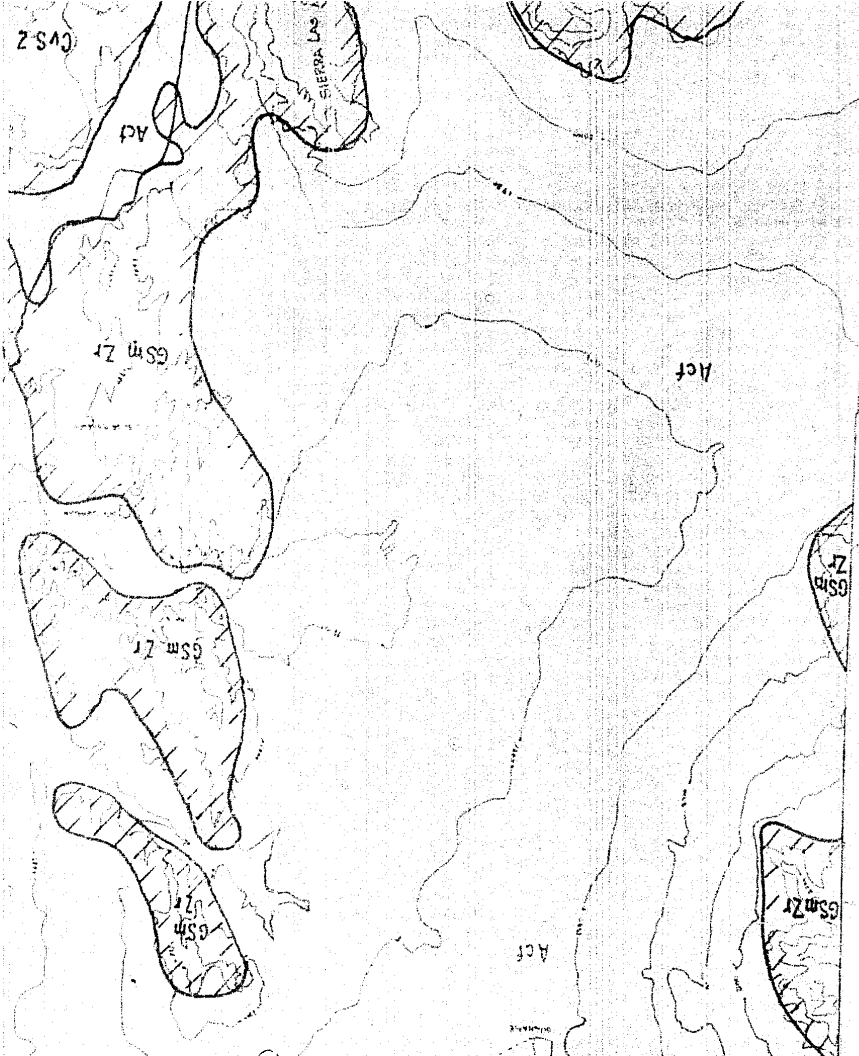
GSm Zr

GSm Zr

GSm Zr

GSm

AREA PROPUESTA DE EXPLORACION



GSM Zr

Act

Sierra La...

GSM Zr

Act

GSM Zr

GSM Zr

Act

GSM Zr

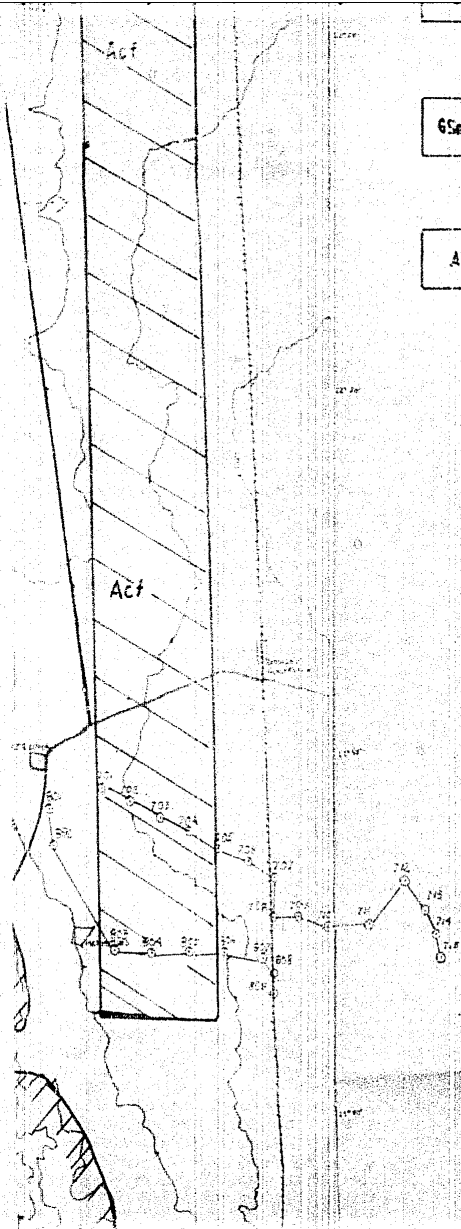
GSM Zr

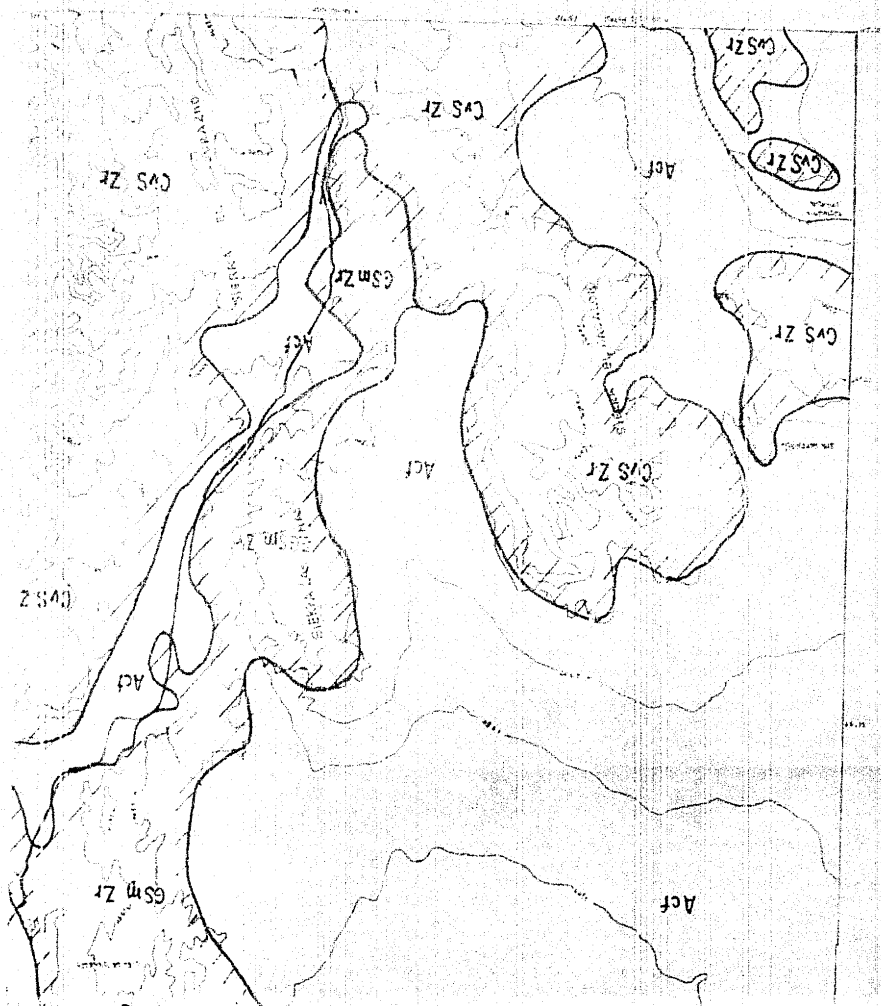
Este es un plan de la localidad de Guayacanes, que se encuentra en el departamento de Guayas, Ecuador. El plan muestra la distribución de las viviendas y las calles de la zona. El plan fue elaborado por el Ingeniero de Obras Públicas, Sr. Juan Carlos Rodríguez, en el año 1975.

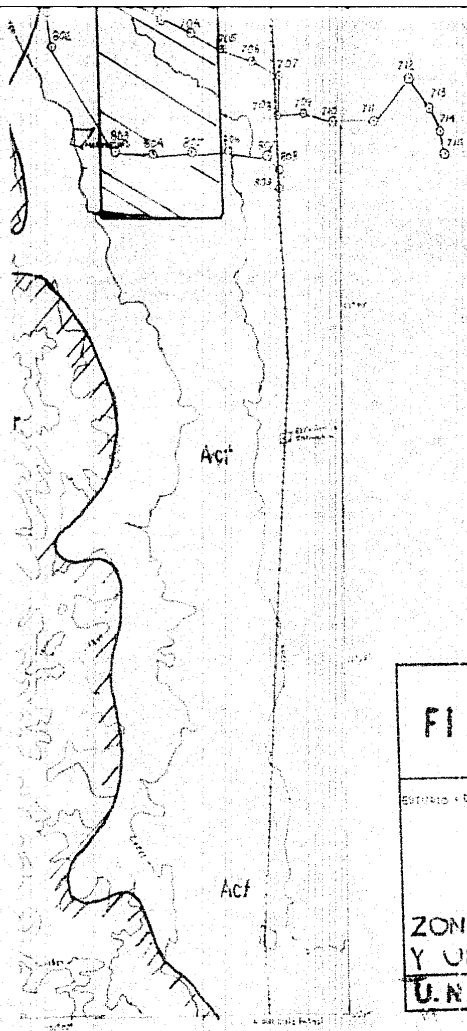
65m Zr

Acf

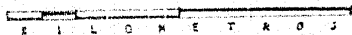
Este plan de la localidad de Guayacanes, que se encuentra en el departamento de Guayas, Ecuador, muestra la distribución de las viviendas y las calles de la zona. El plan fue elaborado por el Ingeniero de Obras Públicas, Sr. Juan Carlos Rodríguez, en el año 1975.





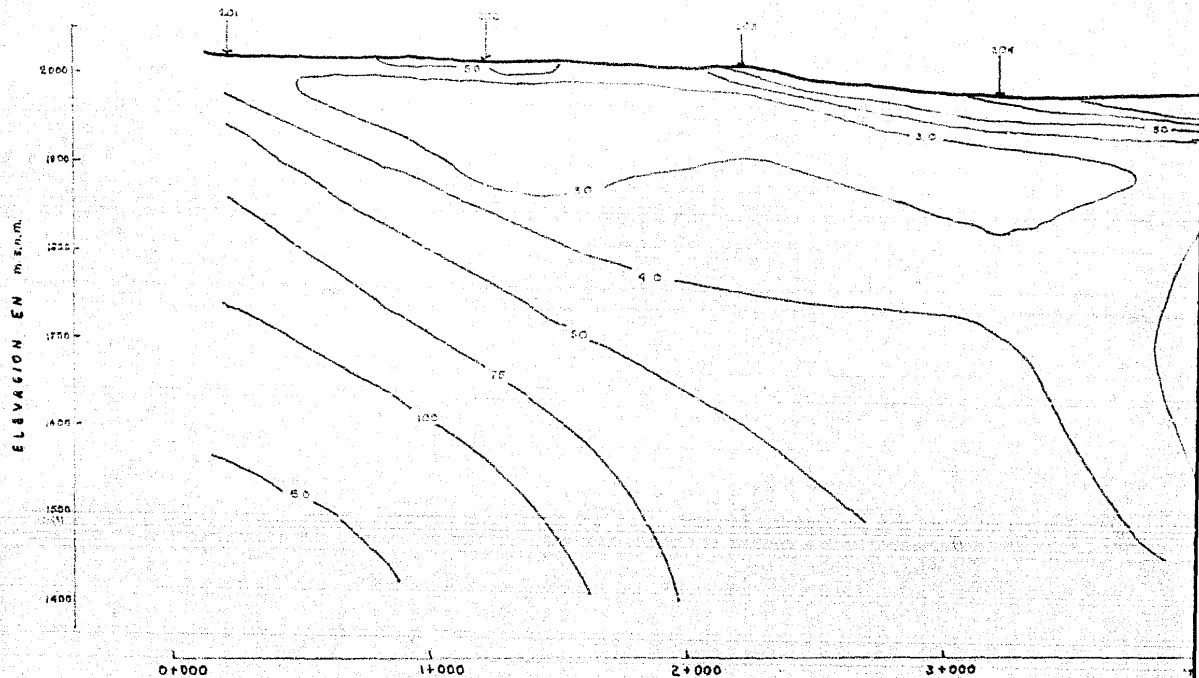


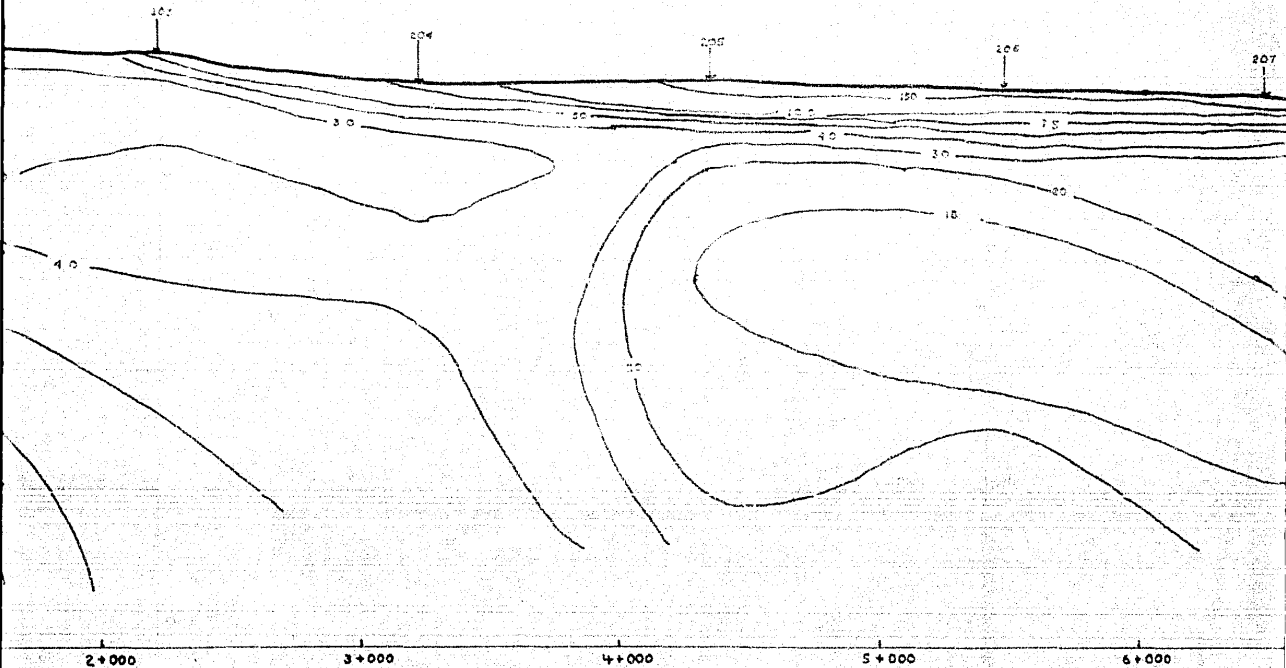
ESCALA GRAFICA

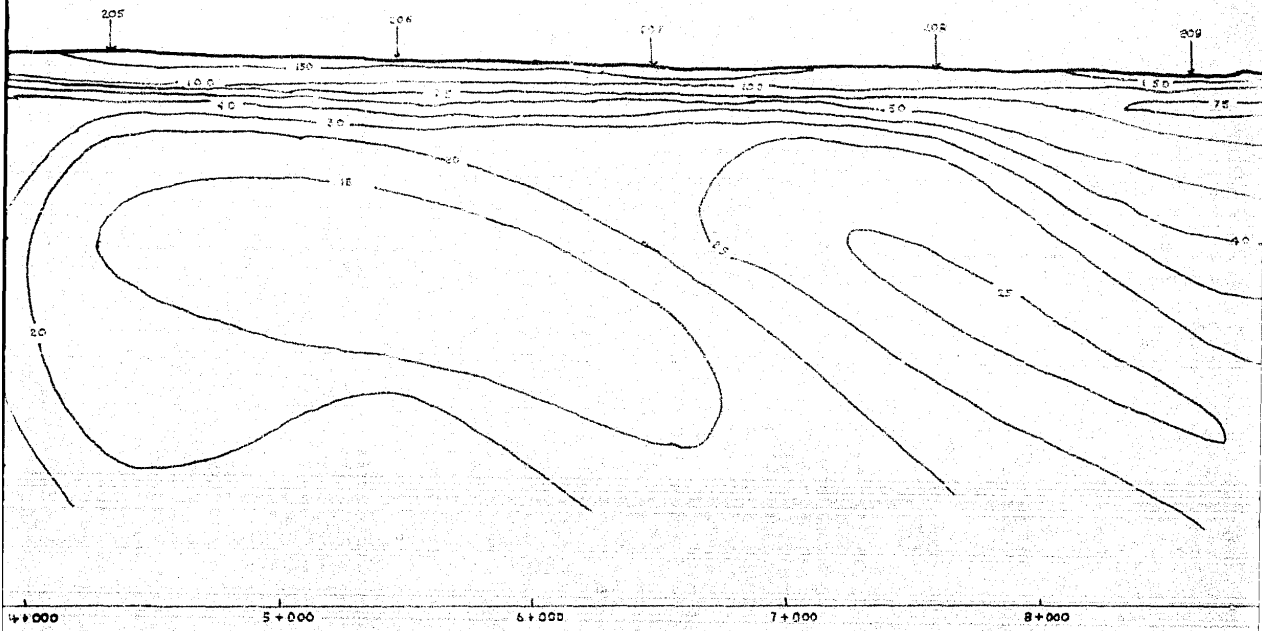


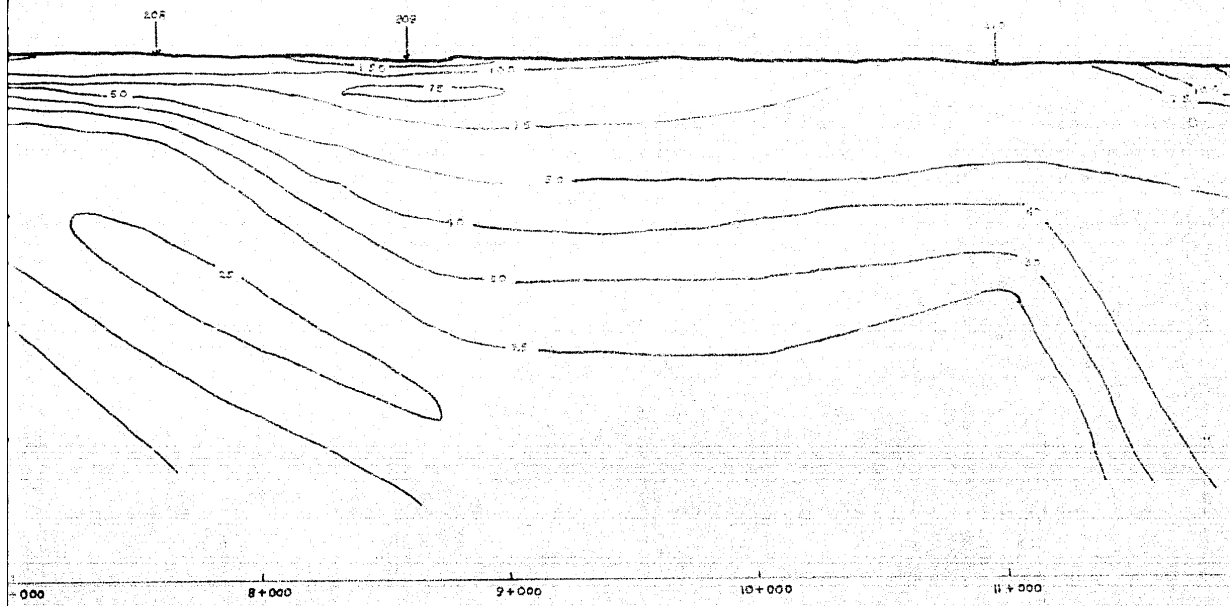
ESCALA 1:100 000

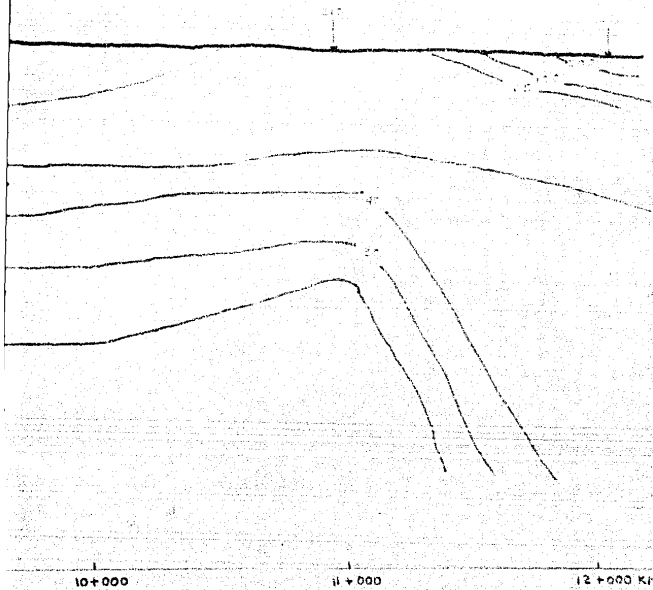
FI	RICARDO HERREJON CASADO
<small>Estado y Conservación de los Recursos Geológicos del Estado de México</small>	
<p style="text-align: center;">LOCALIZACION DE SONDEOS ELECTRICOS Y ZONA PROPUESTA DE EXPLORACION Y UNIDADES HIDROGEOLOGICAS</p>	
U.N.A.M.	<small>CENTRO DE INVESTIGACIONES Y SERVICIOS</small>









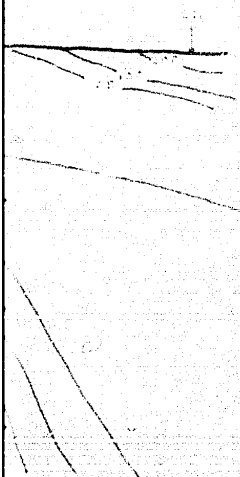


0 100 200 300

ESCALA GRAFICA

FI	RICARDO CA
ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS	
ISORRESIS' (PERFIL	
U.N.A.M.	CD. UNIVERSIDAD

IBI

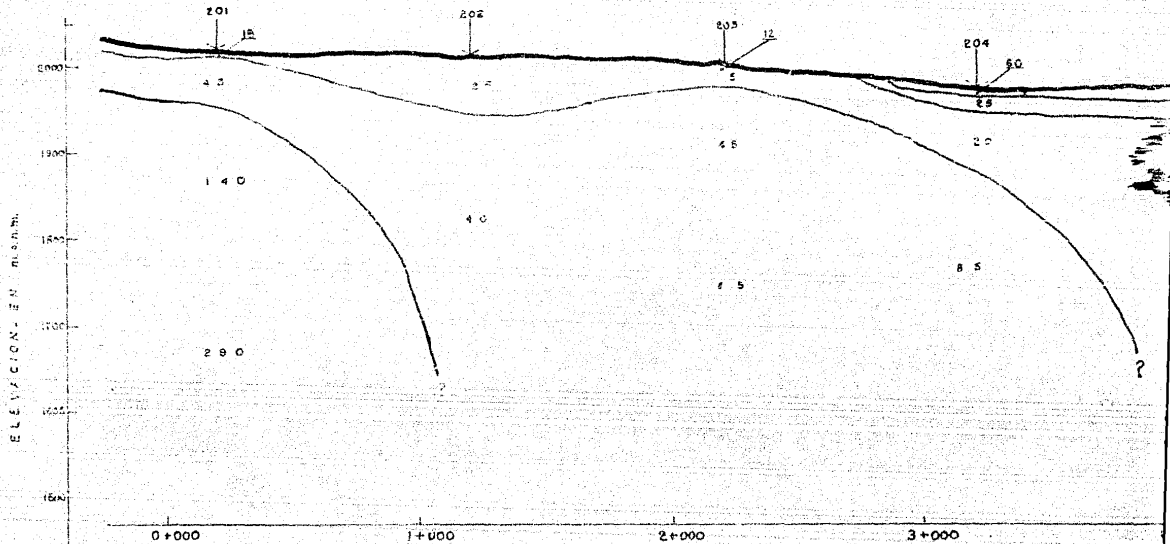


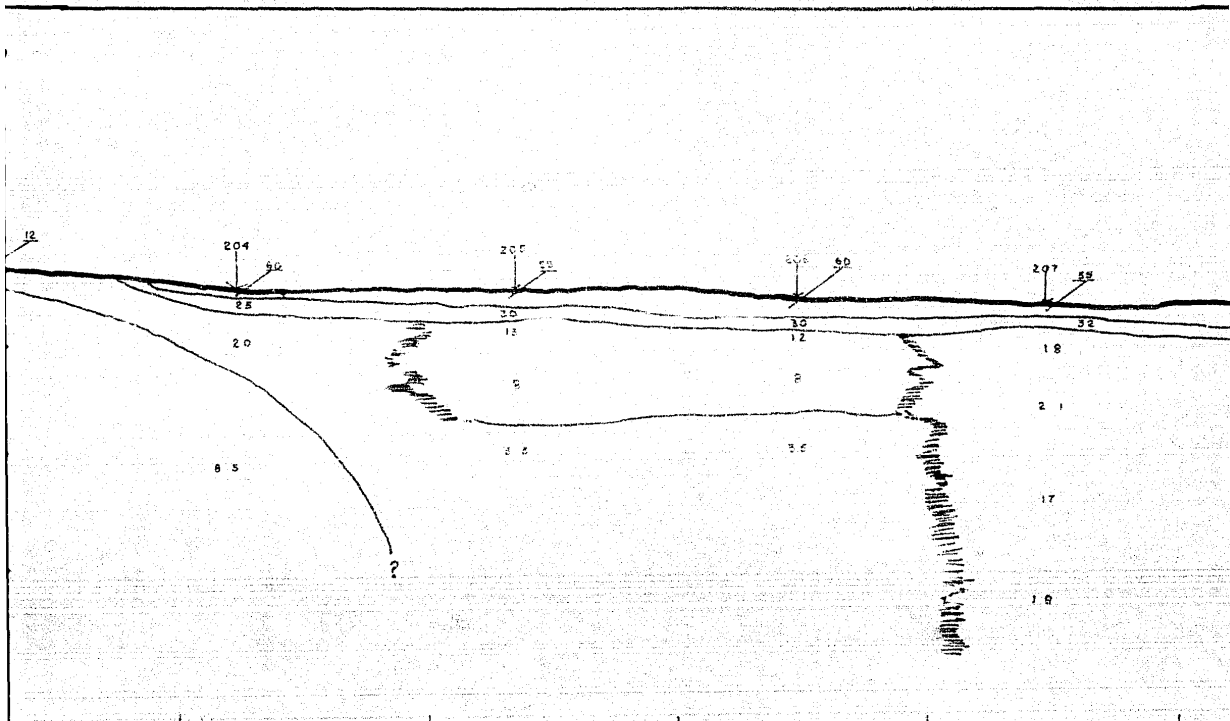
12+000 KM

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000
ESCALA GRAFICA HORIZONTAL

FI	RICARDO HERREJON CASADO	
ESTUDIO Geoelectrico de las Pizoceras de CARACAS, Estado y Municipio de CARACAS ISORRESISTIVIDADES (PERFIL P-2)		
U.N.A.M.	C.C. UNIVERSITARIA C.F. 1969	Fig 2i

BIBLIOTECA CENTRAL





3+000

4+000

5+000

6+000

7+000

12

204

50

25

20

85

205

50

30

12

5

25

206

60

30

12

2

25

207

50

32

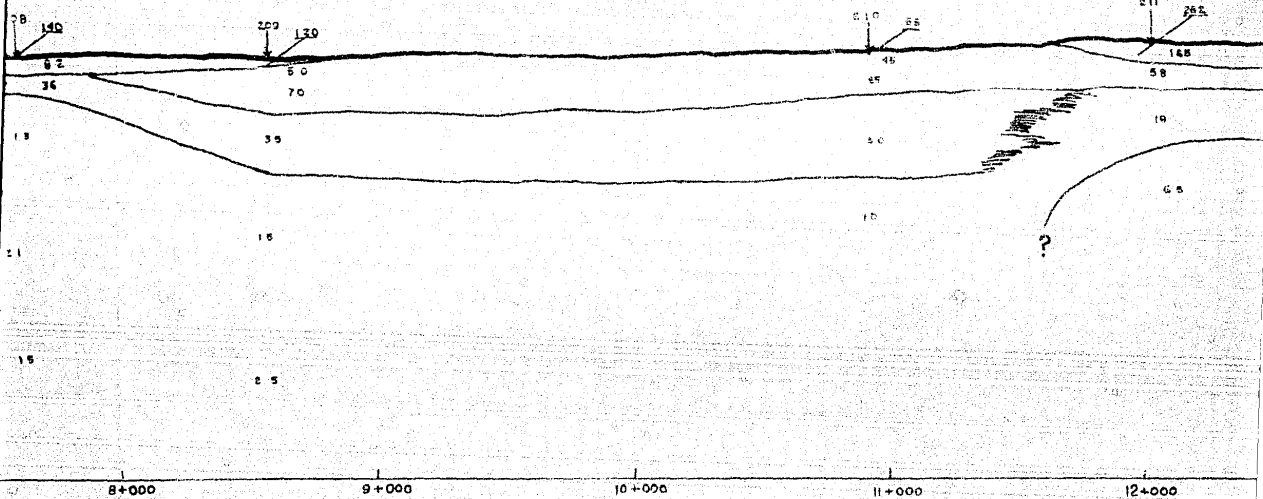
18

21

17

16

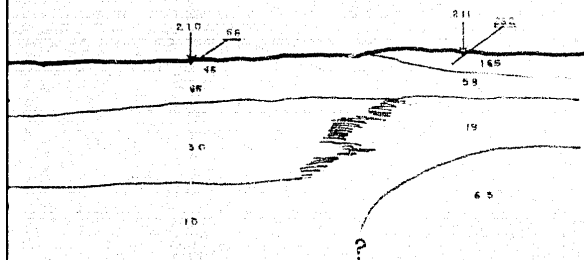
?



RANGOS DE RESISTIVIDAD Y PROBABLE
CORRELACION LITOLOGICA

Rango en
 Ω -m

20 - 400	Capa superficial drenada de arena, arena y grava.
10 - 37	Conglomerados saturados
2 - 17	Conglomerados saturados con agua de mala calidad.
24 - 300	Calizas
14 - 91	Intersecciones de Cauzay Lofita



ESCALA 1:500

11+000

12+000

13+000 KM.

FI RICARDO HE
CASAS

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS CHAREN

PERFIL DE RESULT
(PERFIL P -

U.N.A.M.

C.D. UNIVERSITARIA D.F.
1989

BIBLIOTEC

RANGOS DE RESISTENCIA Y PERCENTAJE
CORRELACION LITOLÓGICA

Resistencia

1-10

20-30

30-40

40-50

50-60

60-70

70-80

80-90

90-100

100-110

110-120

120-130

130-140

140-150

150-160

160-170

170-180

180-190

190-200

200-210

210-220

220-230

230-240

240-250

250-260

260-270

270-280

280-290

290-300

300-310

310-320

320-330

330-340

340-350

350-360

360-370

370-380

380-390

390-400

400-410

410-420

420-430

430-440

440-450

450-460

460-470

470-480

480-490

490-500

500-510

510-520

520-530

530-540

540-550

550-560

560-570

570-580

580-590

590-600

600-610

610-620

620-630

630-640

640-650

650-660

660-670

670-680

680-690

690-700

700-710

710-720

720-730

730-740

740-750

750-760

760-770

770-780

780-790

790-800

800-810

810-820

820-830

830-840

840-850

850-860

860-870

870-880

880-890

890-900

900-910

910-920

920-930

930-940

940-950

950-960

960-970

970-980

980-990

990-1000

20-30%
20-30%
20-30%

20-30%

20-30%

20-30%

20-30%



ESCALA 1:10000

FI

RICARDO HERREJON
CASADO

ESTUDIO RESISTIVO DE LOS MINEROS TERCEROS Y CUARTOS DE LA ZONA SUR

PERFIL DE RESULTADOS
(PERFIL P-2)

U.N.A.M.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
EN GEOLÓGIA

Fig. 2r

SECRETARÍA DE ENERGÍA

ELEVACION EN M. S. L. D.

17.50
17.00
16.50
16.00
15.50
15.00
14.50

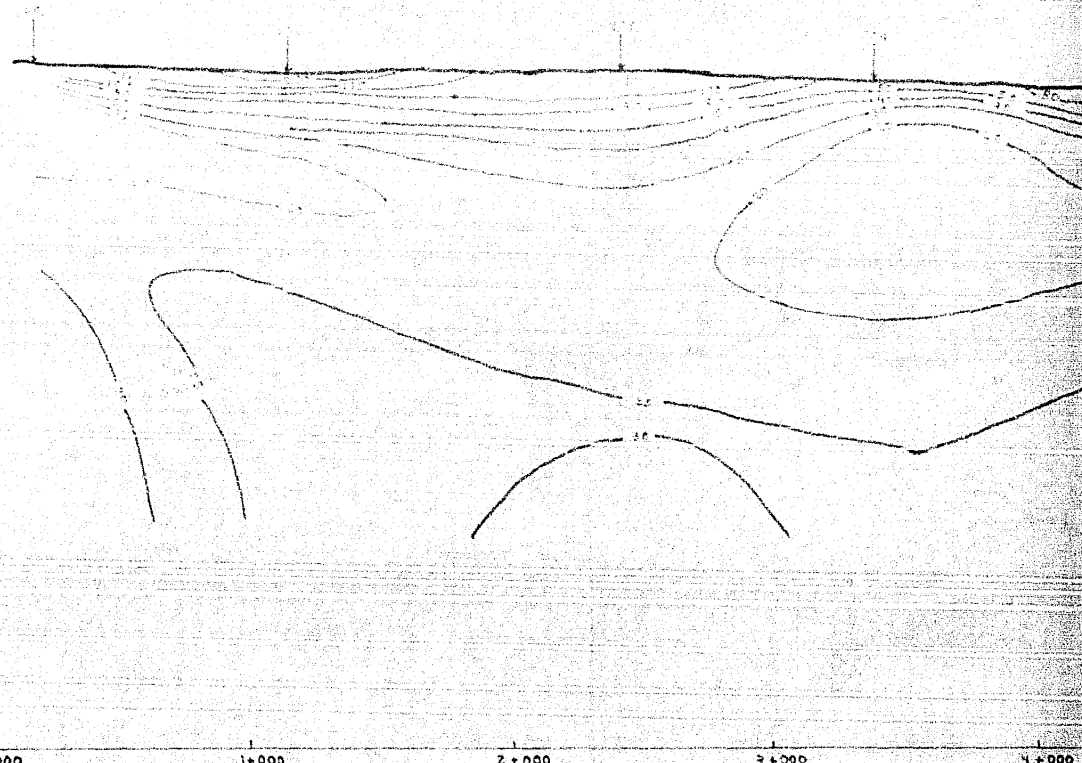
0+000

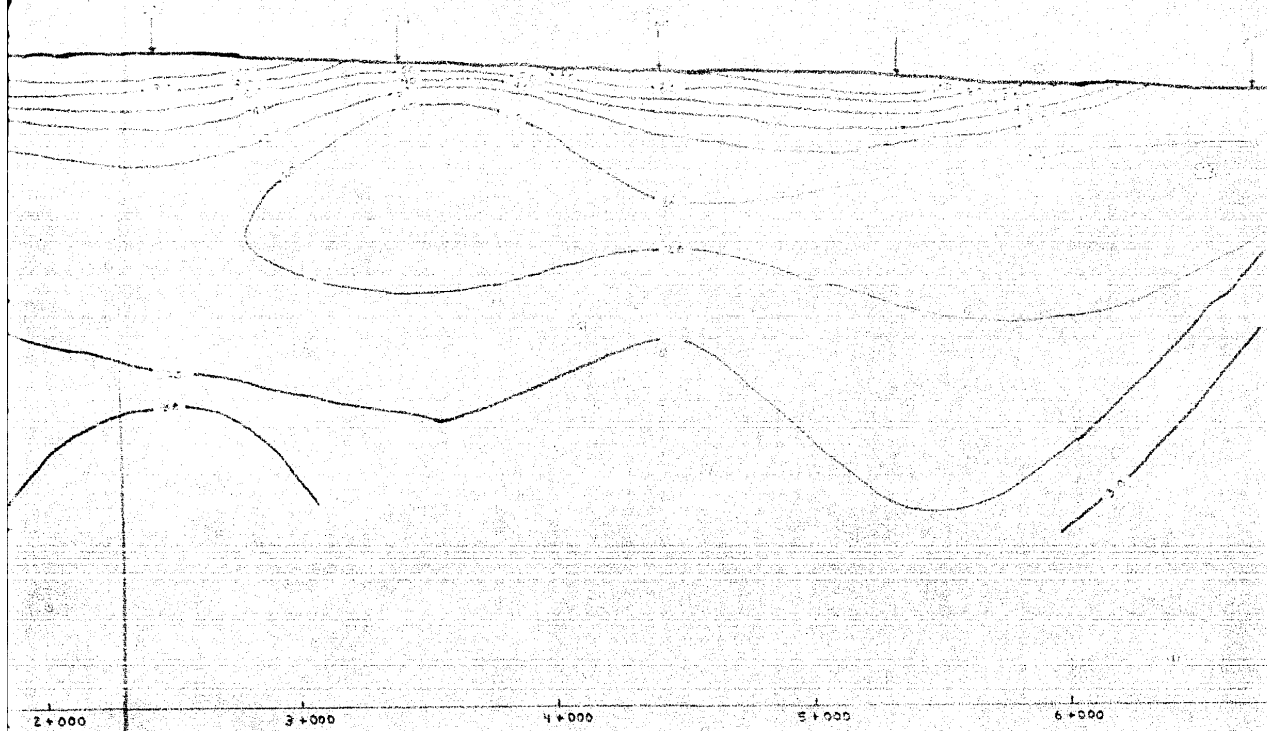
1+000

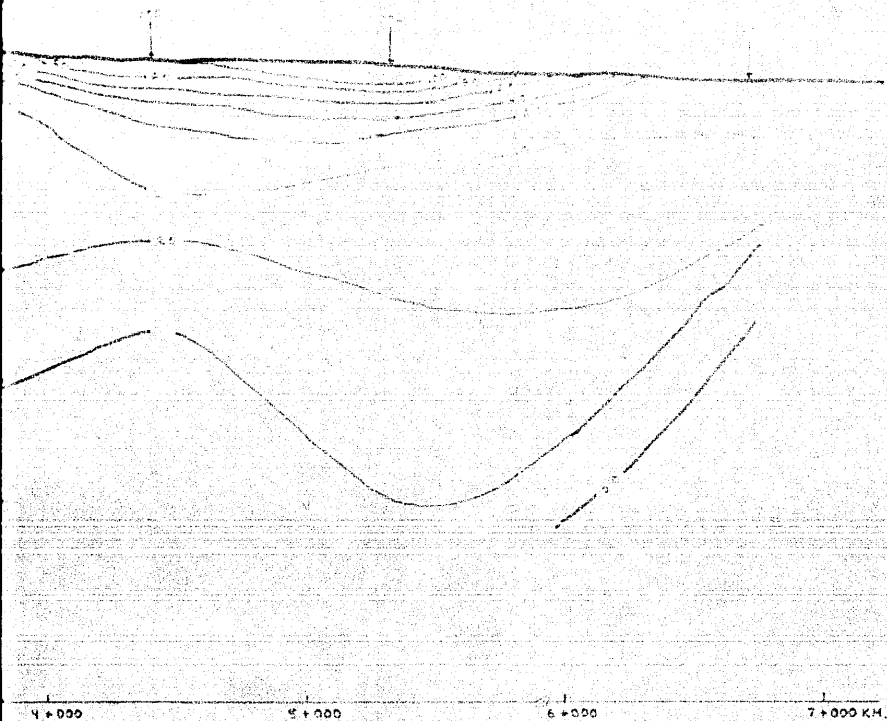
2+000

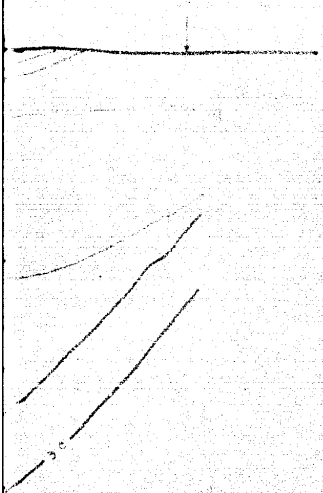
3+000

4+000









+000 7+000 KM.

FI	RICA
ISORI (PI)	
U.N.A.M.	DE

FI

RICARDO HERREJON
CASADO

ESTUDIO RESOLUTIVO DE LOS MATERIALES ORGANIZADOS EN PERFILES

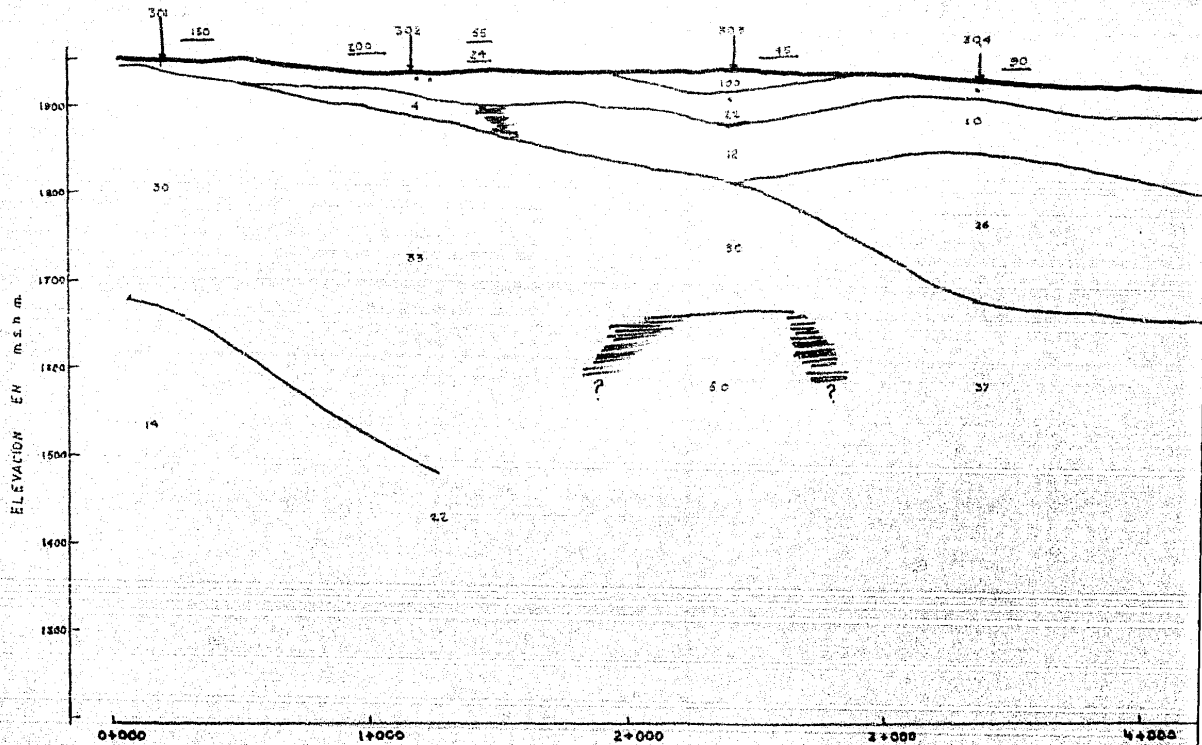
ISORRESISTIVIDADES
(PERFIL P-3)

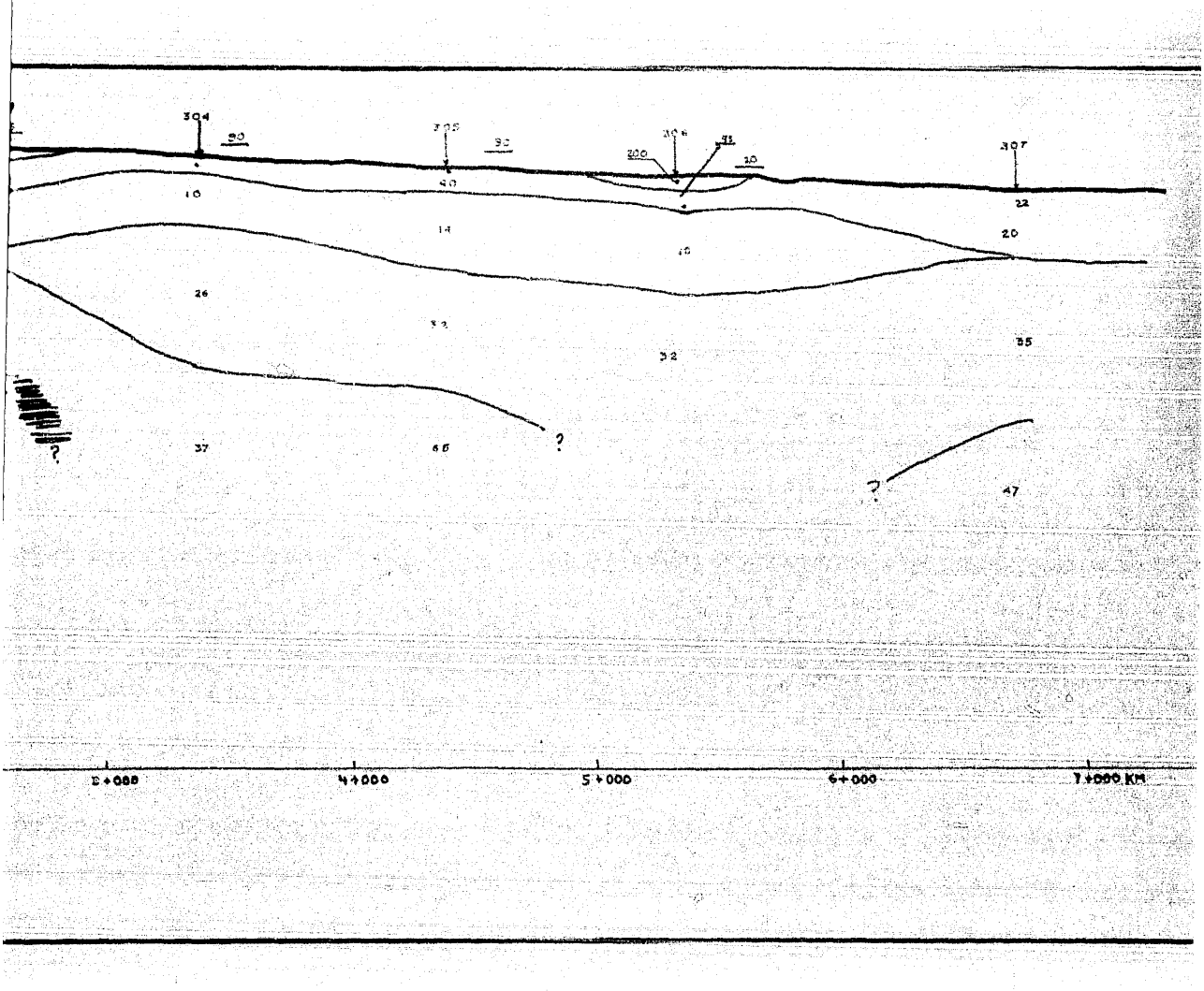
U.N.A.M.

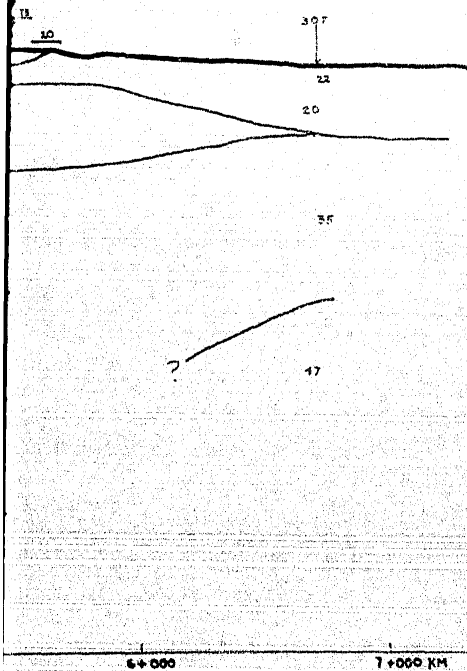
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
1959

Fig 3i

BIBLIOTECA CENTRAL







RANGOS DE RESISTIVIDAD Y PROBABLE CORRELACION LITOLOGICA

Rango en
 $\Omega \cdot m$

20 - 400

Capa superficial drenada
Arcilla, arena y grava.

10 - 37

Conglomerados saturados

2 - 17

Conglomerados saturados con
agua de mala calidad

24 - 300

Calizas

14 - 91

Intercalaciones de Caliza y Lutita

RANGOS DE RESISTIVIDAD Y PROBABLE
CORRELACION LITOLOGICA

Rango en
 Ω -m

20 - 400

Capa superficial drenada
Arcilla, arena y grava.

10 - 37

Conglomerados saturados

2 - 17

Conglomerados saturados con
agua de mala calidad

24 - 300

Calizas

14 - 91

Intercalaciones de Caliza y Lutita

ESCALA GRAFICA METROS

FI

**RICARDO H
CASA**

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS DE

**PERFIL DE RESISTIVIDAD
(PERFIL A)**

U.N.A.M.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

1981

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN ENERGIA

**RESISTIVIDAD Y PROBABLE
RELACION LITOLÓGICA**

Capa superficial drenada
Arcilla, arena y grava.

Conglomerados saturados

Conglomerados saturados con
agua de baja calidad

Calizas

Intercalaciones de Caliza y Lutita

0 100 200 300 400 m.

ESCALA: 1:50000 HORIZONTAL

FI

**RICARDO HERREJON
CASADO**

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS CHARCAS-VERNADO-MOCTEZUMA, S.L.P.

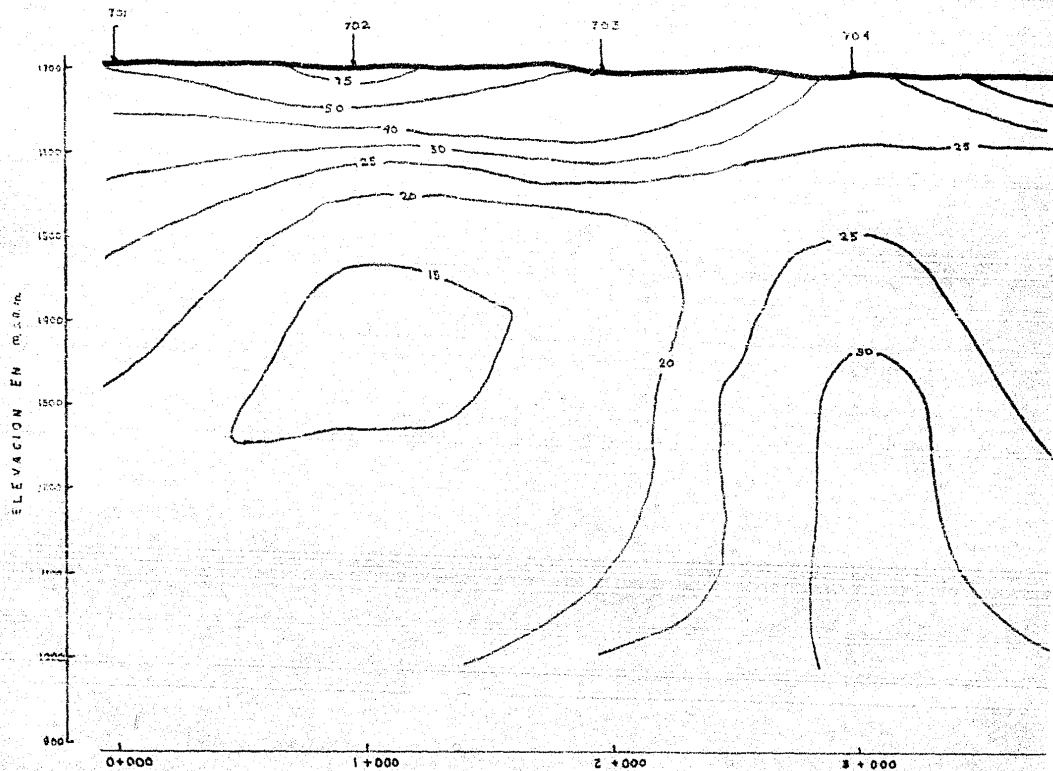
**PERFIL DE RESULTADOS
(PERFIL P-3)**

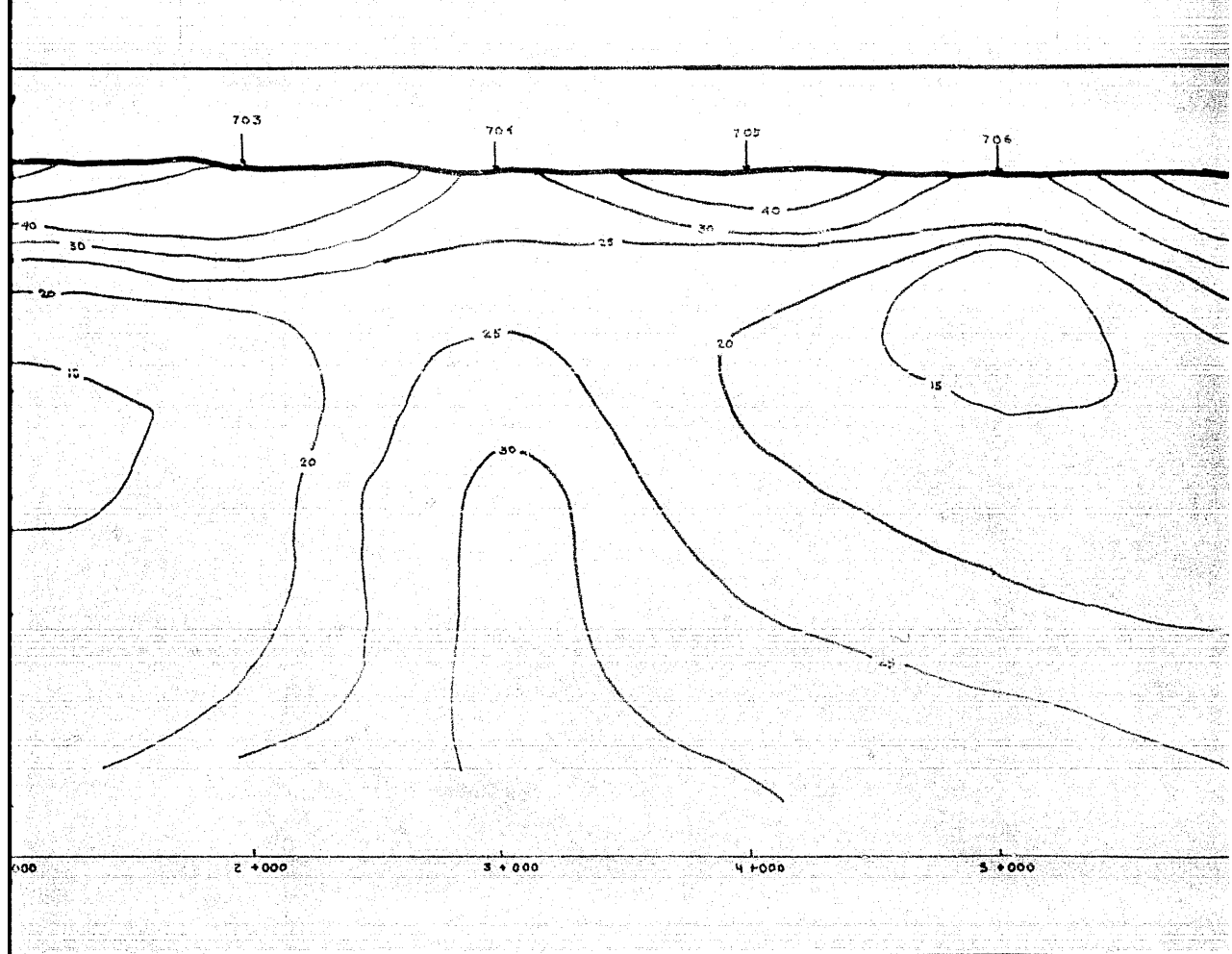
U.N.A.M.

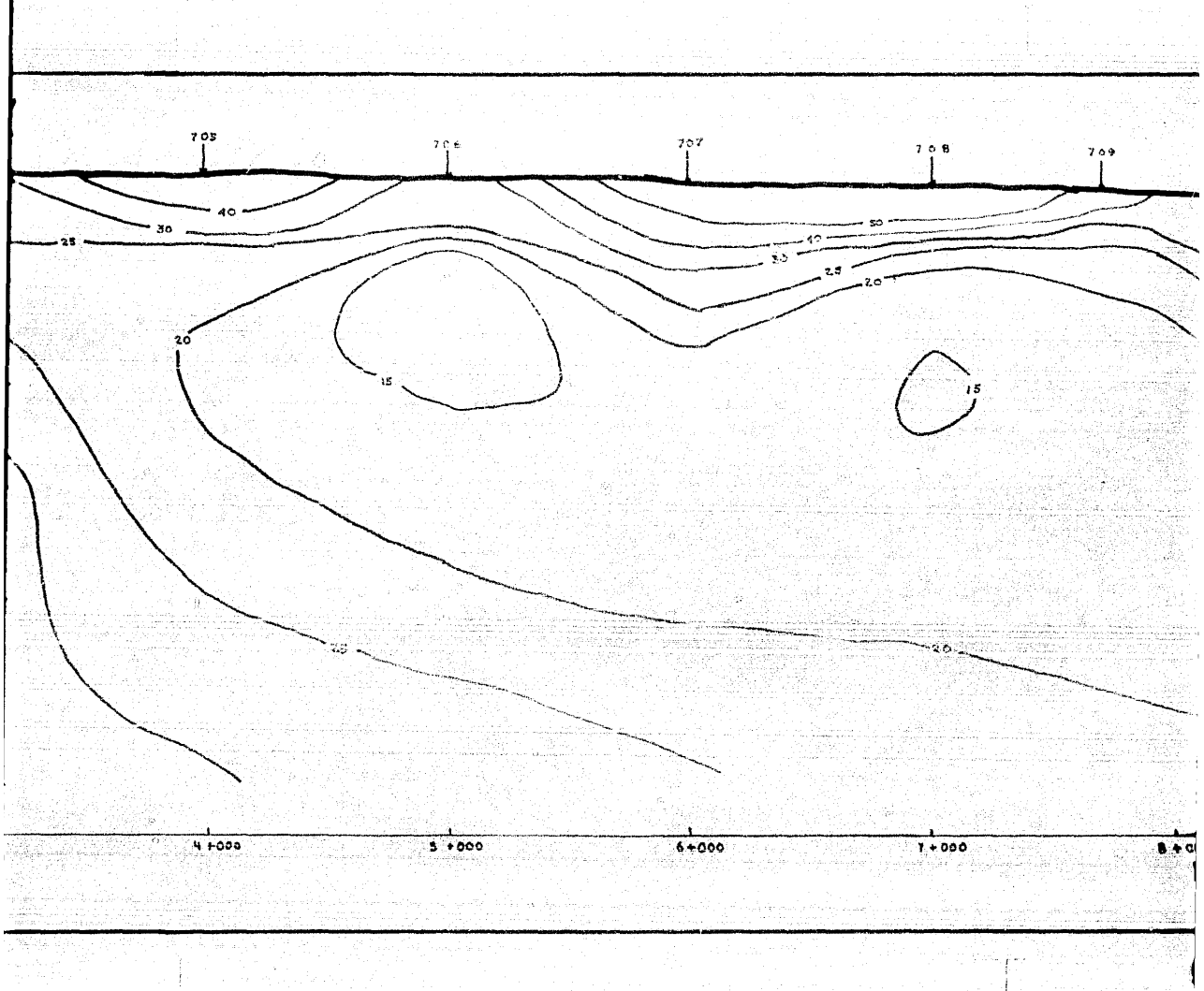
CD UNIVERSARIA D.F.
1989

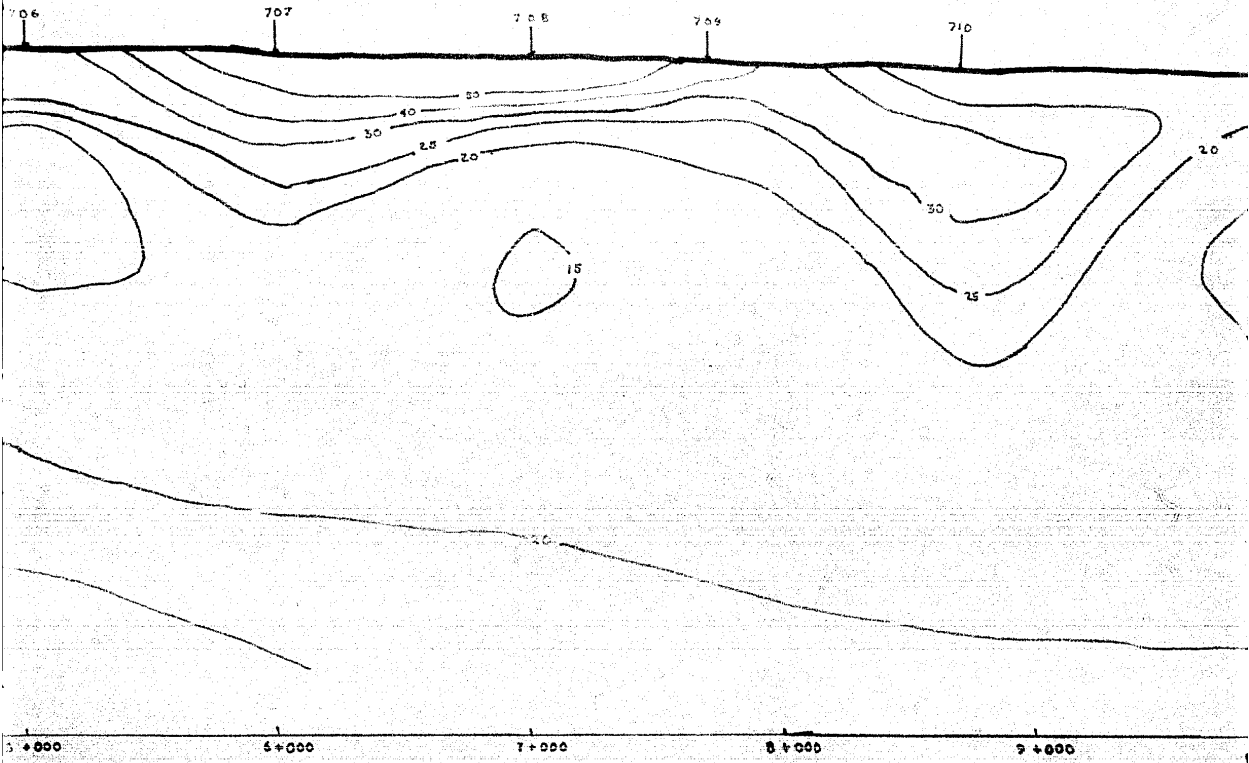
Fo. 3r

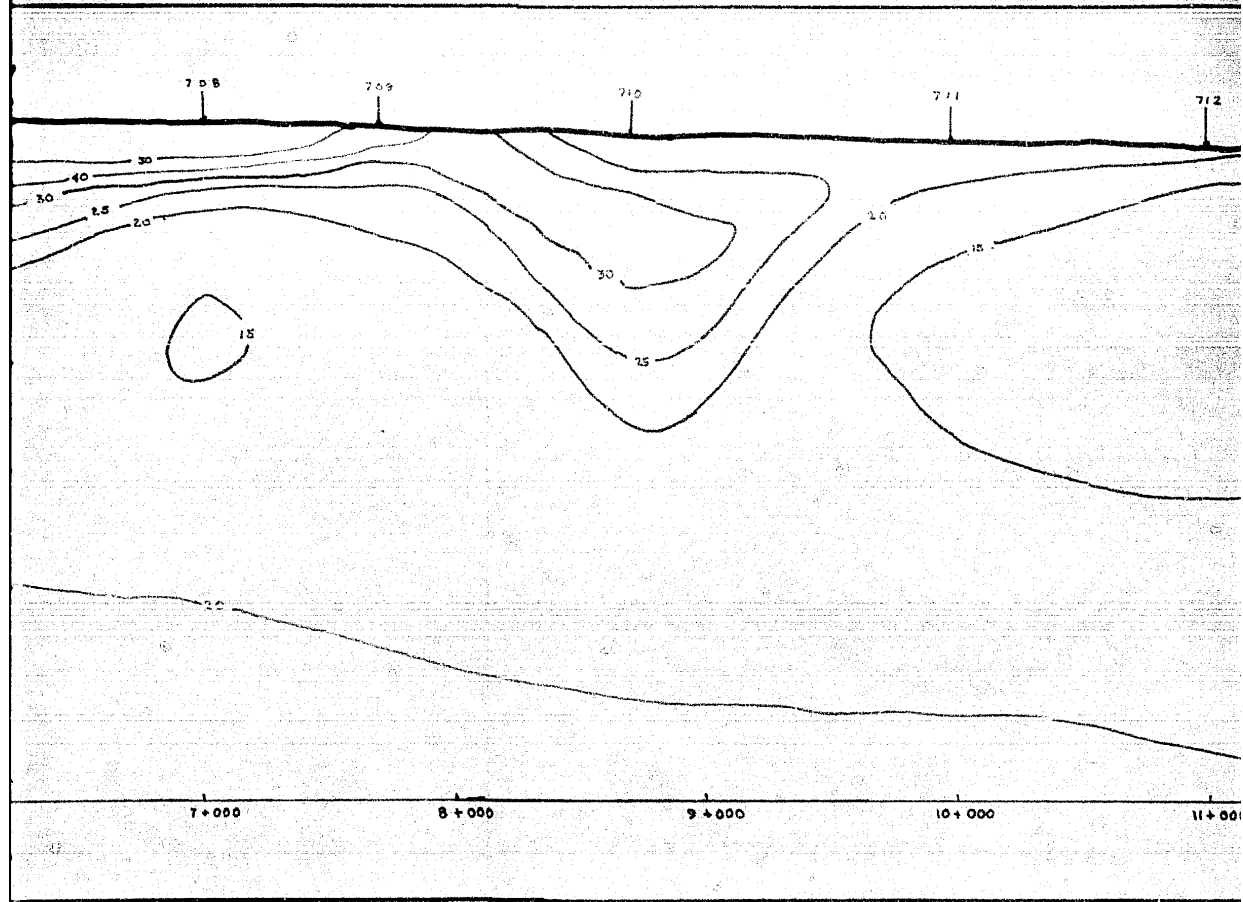
IMPRESION Y DISEÑO: C. GARCIA

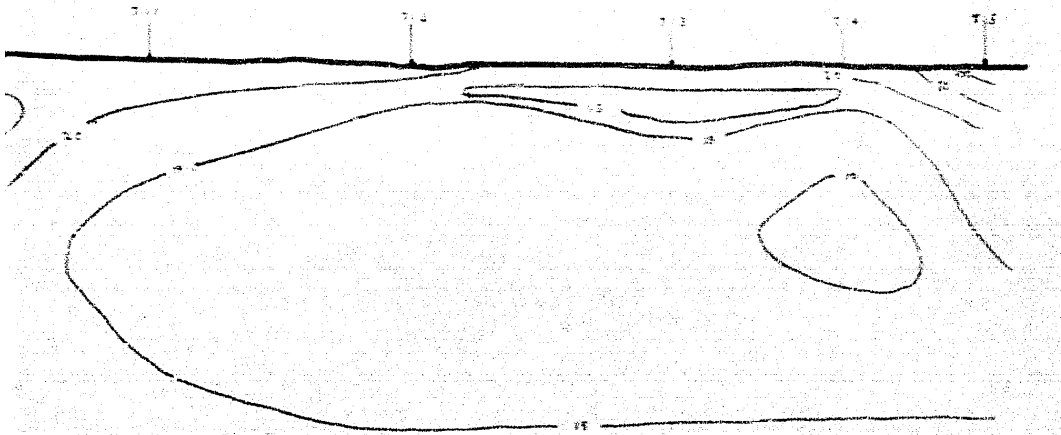




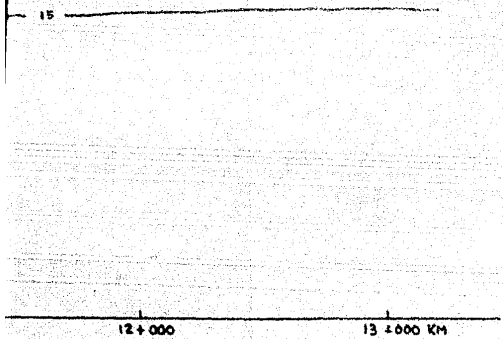
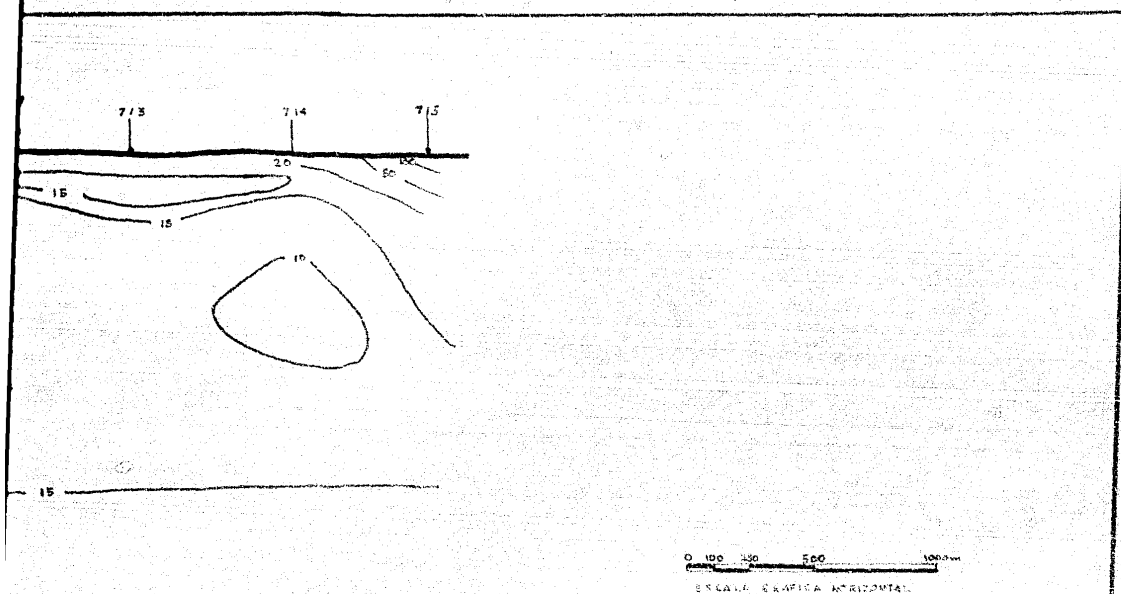






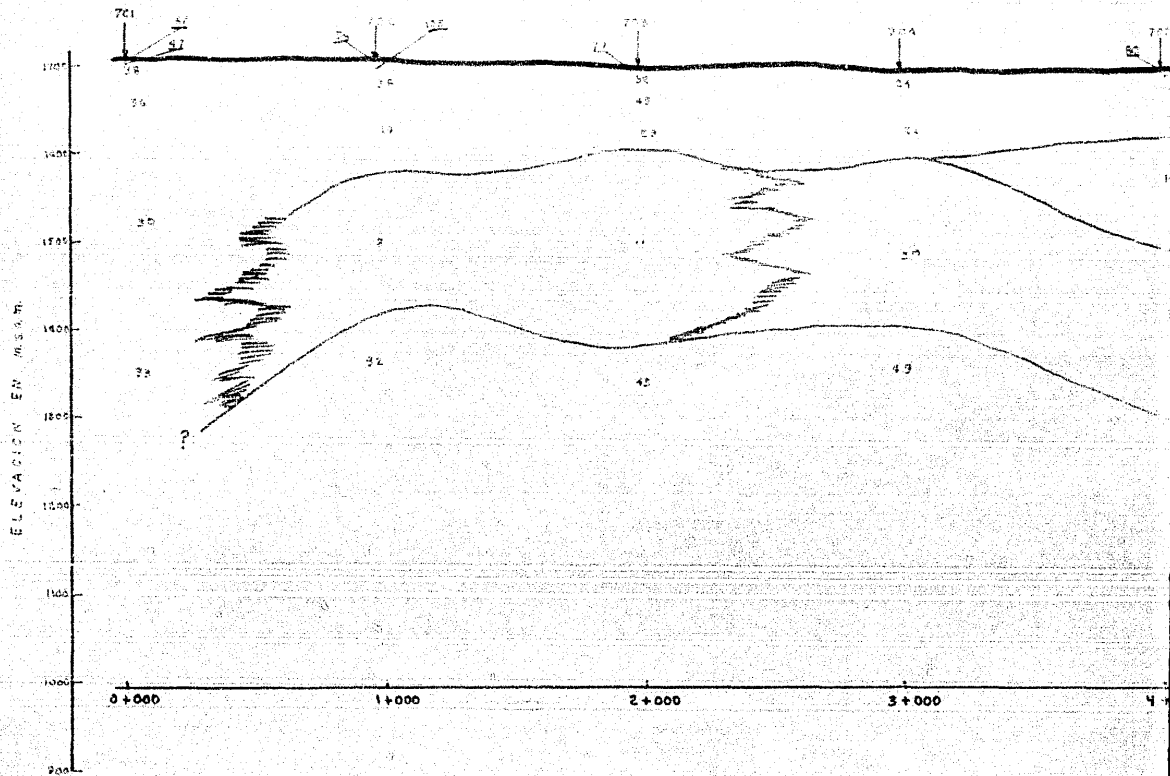


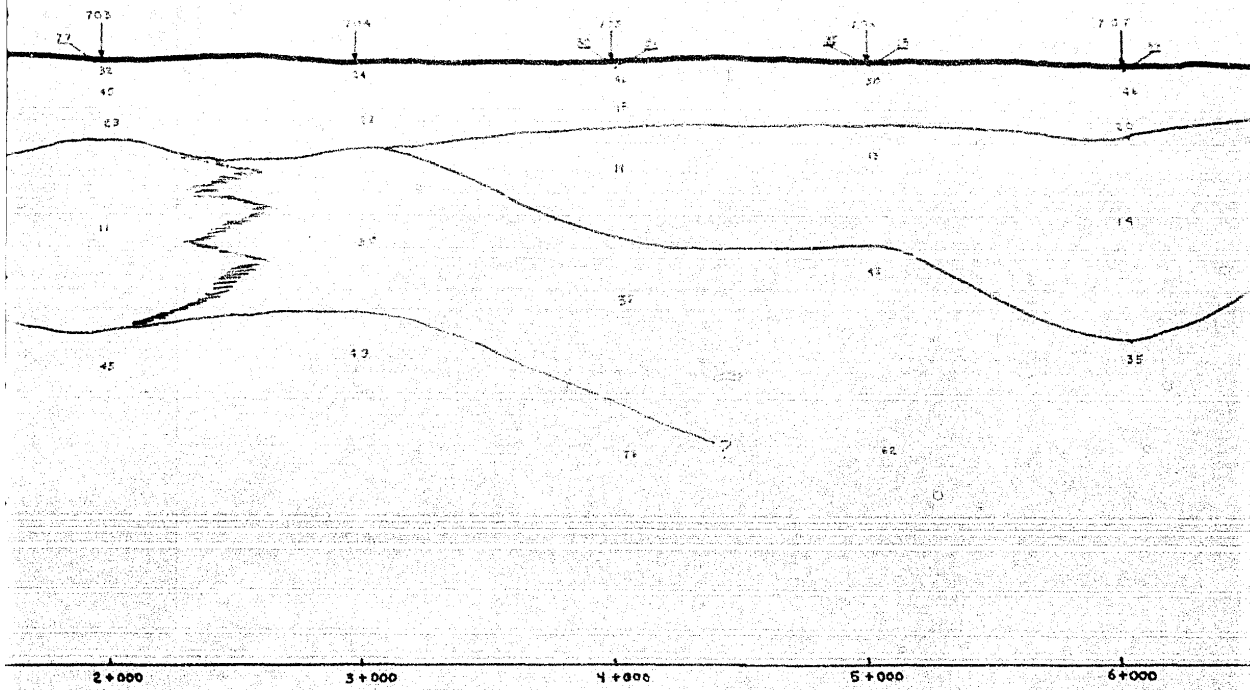
FI	RIK
150 0	
U.N.A.M.	

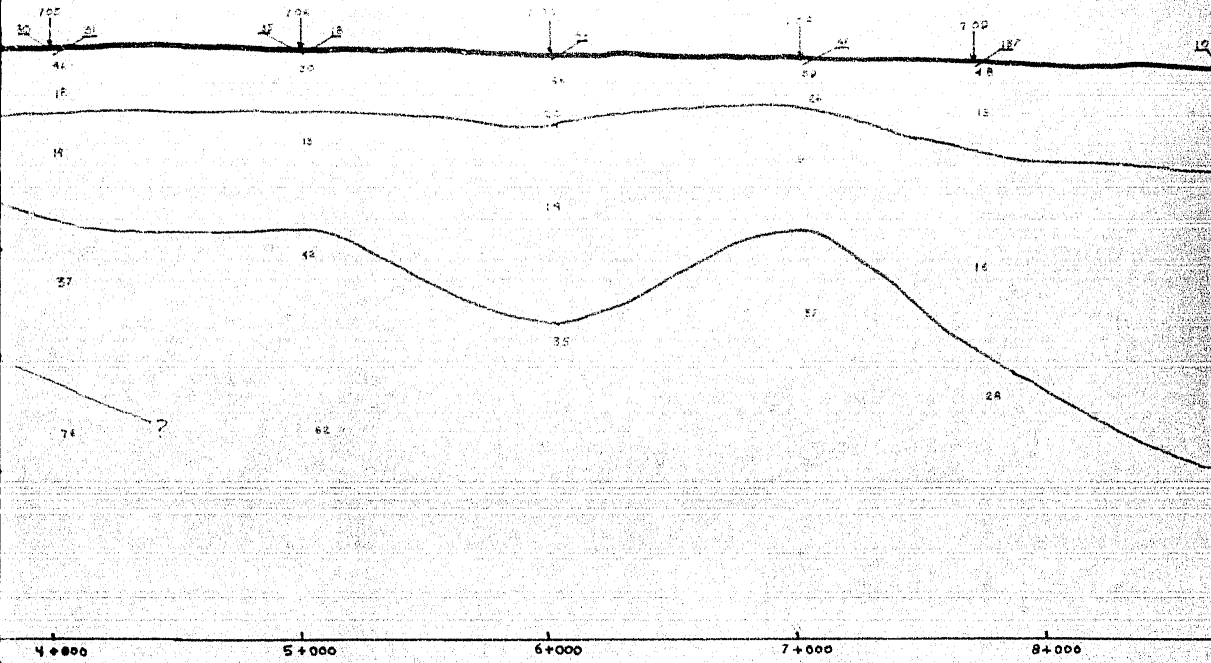


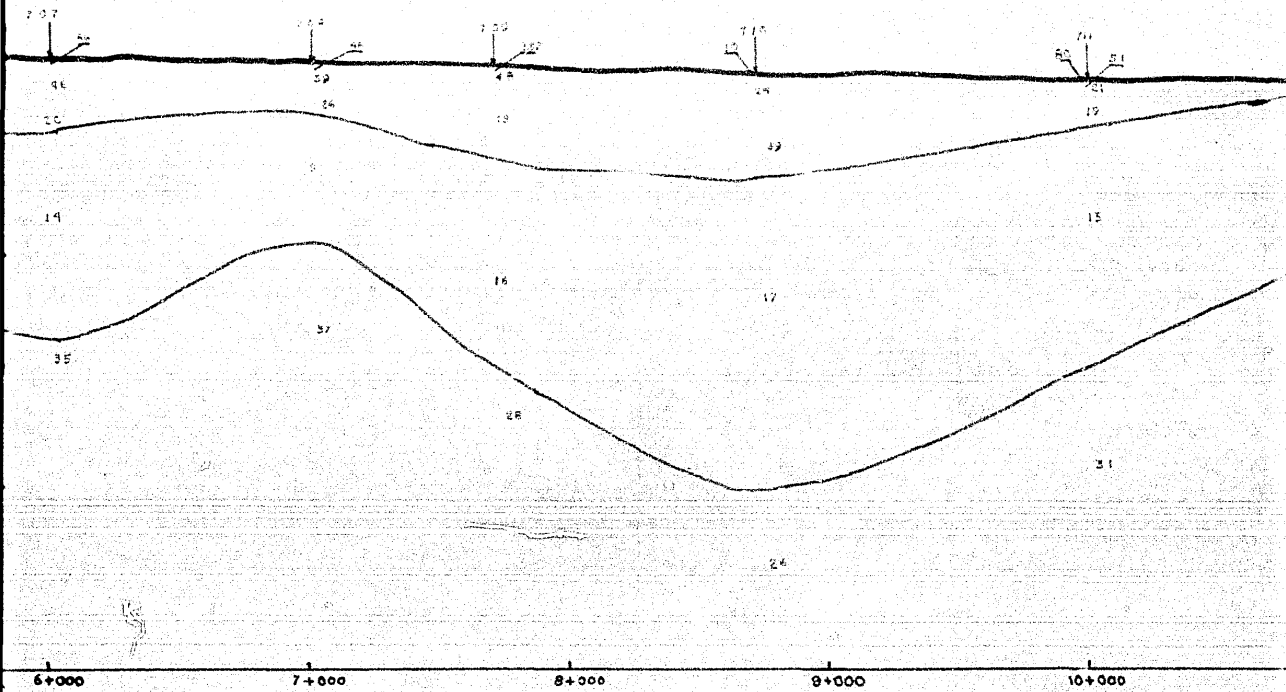
FI	RIGARDO HERREJON CASADO
ESTUDIOS GEOLÓGICOS DE LOS MUNICIPIOS-CHARCAS-VENADO MOCTEZUMA S.L.P.	
ISORRESISTIVIDADES (PERFIL P-7)	
U.N.A.M.	C.D. UNIVERSITARIA S.P. D.F. 1991
Fig 7f	

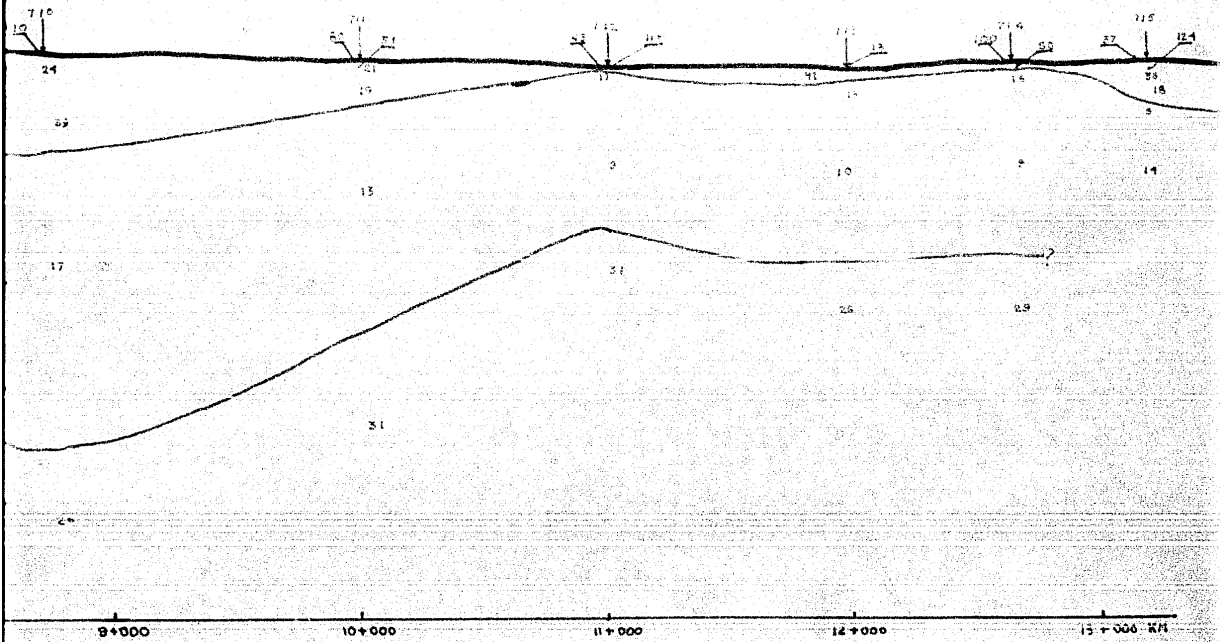
BIBLIOTECA CENTRAL

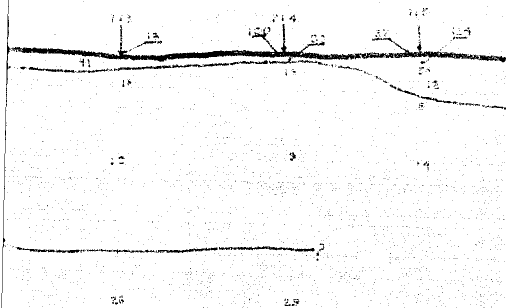






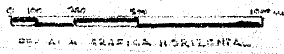






RANOS DE RESISTIDAD Y PROBABLE
CORRELACION LITOLÓGICA

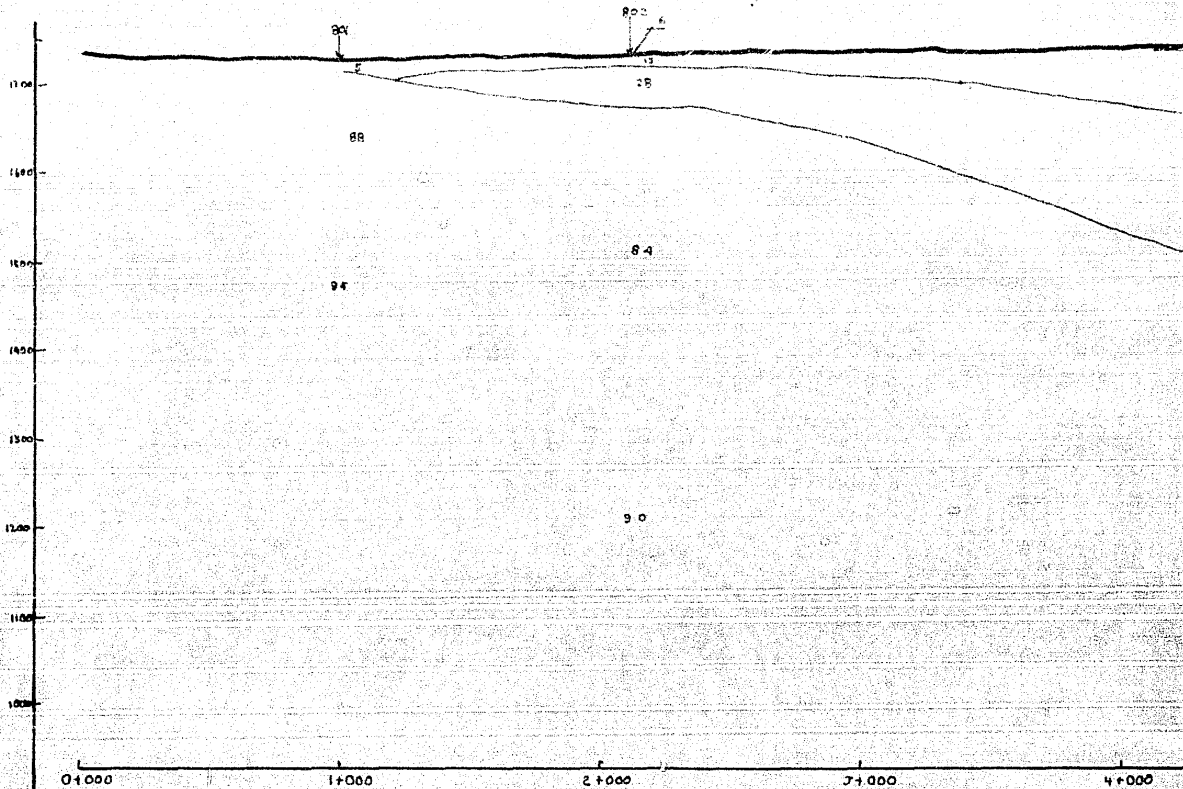
- Capa superior
resistiva
- 40 - 400 Capa superficial drenada
Arena, arena y grava
 - 10 - 57 Conglomerados saturados
 - 24 - 300 Calizas
 - 2 - 17 Conglomerados saturados con
agua de mala calidad
 - 14 - 91 Intercalaciones de Caliza y Larga

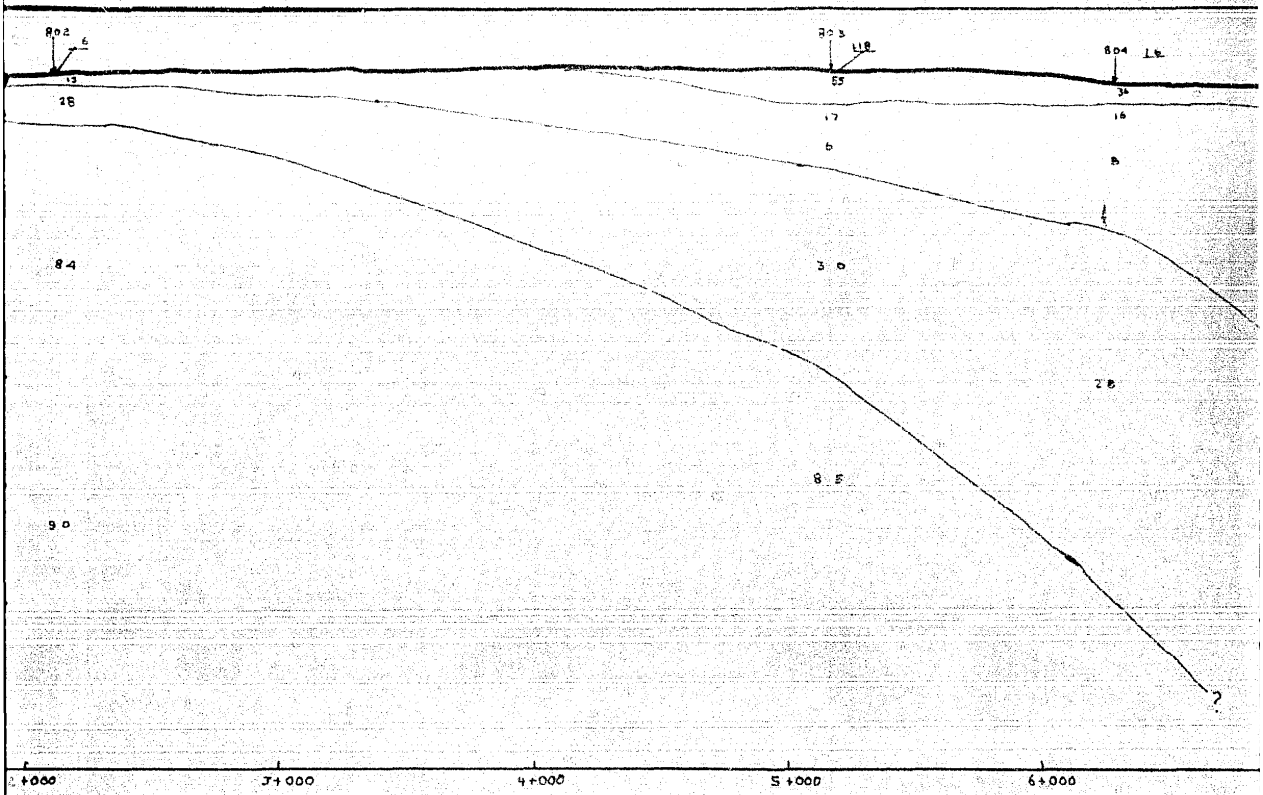


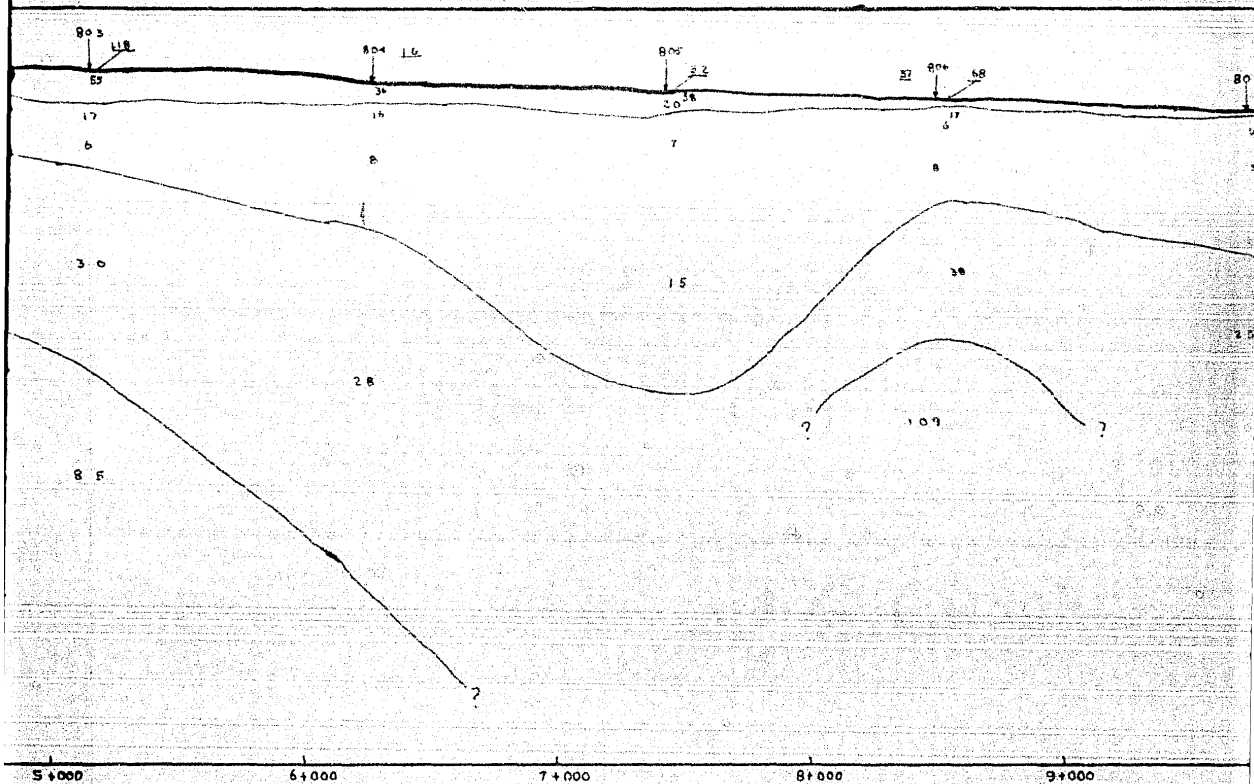
FI	<h2 style="margin: 0;">RICARDO HERREJON CASADO</h2>
<p>ESTUDIO GEOELECTRICO DE los Municipios CHURELES-Venado MADRIMA SLP</p> <h3 style="margin: 0;">PERFIL DE RESULTADOS (PERFIL P-7)</h3>	
U.N.A.M.	C.D. UNIVERSITARIA D.F. 1989
Fig 27	

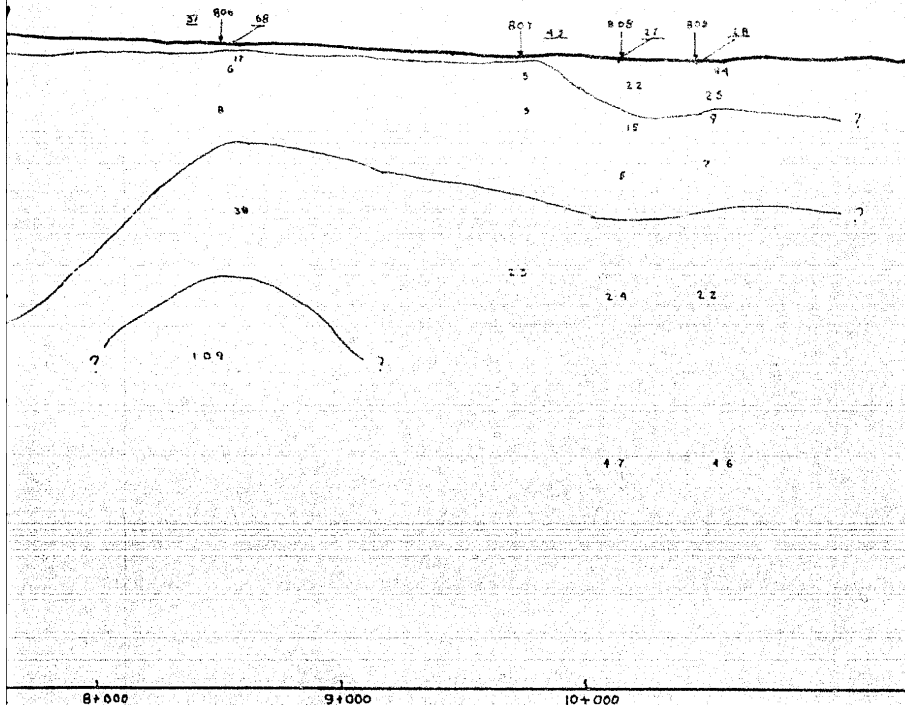
12+000 13+000 KM

ELEVACION EN M.E.T.R.









RANGOS DE RESI
CORRELAC

Rango en
ft-m

20 - 400

Capa
Arcil

10 - 37

Cons

2 - 17

Cons
agua

24 - 300

Cali

14 - 91

Inrer

RANGOS DE RESISTIVIDAD Y PROBABLE
CORRELACION LITOLÓGICA

Rango en $\Omega \cdot m$	
20 - 400	Capa superficial drenada Arcilla, arena y grava
10 - 37	Conglomerados saturados
2 - 17	Conglomerados saturados con agua de mala calidad
24 - 300	Calizas
14 - 91	Intercalaciones de Caliza y Lutita

0 100 200 300 400

ESCALA GRAFICA HORIZONTAL

FI

RICARDO HERREJON
CASADO

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS CHARCAS VERNADO-NOCTEZUMA S.L.P.

PERFIL DE RESULTADOS
(PERFIL P-8)

U. N. A. M.

CE UNIVERSITARIA D.F.
1987

87

BIBLIOTECA CENTRAL

BANOS DE RESISTIVIDAD Y PROBABLE
CORRELACION LITOLOGICA

Resistencia en
 $\Omega \cdot m$

10 - 400

Capa superficial drenada
Arcilla, arena y grava

10 - 37

Conglomerados saturados

2 - 17

Conglomerados saturados con
agua de mala calidad

1 - 300

Calizas

1 - 31

Intercalaciones de Caliza y Luján

0 100 200 300 400 m

ESCALA GRAFICA HORIZONTAL

FI

RICARDO HERREJON
CASADO

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LOS MUNICIPIOS CHARCAS VENADO-MOCTEZUMA, S.L.P.

PERFIL DE RESULTADOS
(PERFIL P - 8)

U. N. A. M.

C. B. UNIVERSITARIA D. F.
1989

81

BIBLIOTECA CENTRAL