



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

5-A
25

"ESTUDIO GEOLÓGICO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE
AGUASCALIENTES, AGS."

Geofísico

Escobedo Lozano Gerardo E.
FUENTES LOPEZ JUAN ANTONIO

1989

TELIS CON
LA FC ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAGINA
PROLOGO	I
CAPITULO I. GENERALIDADES.	
1.1 Introducción	1.1
1.2 Localización y superficie	1.1
1.3 Vías de comunicación	1.2
1.4 Población	1.3
1.5 Antecedentes históricos	1.4
1.6 Clima y vegetación	1.5
1.7 Economía	1.11
Figuras	
CAPITULO II. GEOLOGIA GENERAL.	
Introducción	11.1
11.1 Fisiografía	11.1
11.2 Geología Histórica	11.3
11.3 Geología Estructural	11.4
11.4 Hidrografía	11.5
11.5 Geología Local	11.7
Figuras	
CAPITULO III. ESTUDIO GEOFISICO Y ASPECTOS TEORICOS.	
III.1 Introducción	III.1
III.2 Propiedades electromagnéticas de los rocas	III.2
III.3 Ecuaciones fundamentales	III.5
III.4 Teoría del sondeo eléctrico vertical	III.6
III.5 Problema directo para medio horizontalmente estratificado.	III.9
III.6 Cálculo numérico de curvas de resistividad aparente	III.19
III.7 Problema inverso en los sondeos eléctricos verticales.	III.24

III.8	Equipo empleado	III.33
III.9	Trabajos realizados	III.36
III.10	Resultados obtenidos	III.39
	Figuras	

CAPITULO IV. INTEGRACION DE LA INFORMACION
GEOLOGICA Y GEOFISICA

IV.1

Tablas y esquemas

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

P R O L O G O

Las condiciones del subsuelo y por ende, las posibilidades de su explotación en favor de las necesidades comunitarias, es en México una realidad -- que empieza a atenderse, aunque en forma insuficiente, dada la reciente conformación de los estudios realizados con ella.

En efecto, no basta que la constitución política ' del país garantice la propiedad nacional de este -- tipo de recursos, si la existencia de estos se desconoce ó se carece de los conocimientos suficientes para su uso.

Es por ello de particular importancia que egresados capacitados mediante diversos estudios, continúen estas investigaciones en los diferentes puntos de la república, preferentemente en sus lugares de origen, ó donde hayan pasado la mayor parte de su vida y que por consiguiente cuenten con un ' mayor conocimiento de la problemática de su región así como de los recursos locales.

El presente trabajo, pretende incursionar en las ' investigaciones mencionadas como una aportación modesta del objetivo enunciado, no obstante las dificultades que plantea la situación del estudiante ' de carreras como esta, afectadas en mayor grado -- por el desempleo creciente en el país, lo cual resta la posibilidad de haber contribuido, así sea en mínima parte, pero con participación efectiva, al ' fortalecimiento de la posición del país.

CAPITULO I.

GENERALIDADES.

1.1.- INTRODUCCION.

Las modalidades que el hombre impone al uso de los recursos naturales están determinadas por el medio geográfico natural en la medida en que de él se obtienen en principio todas las materias primas para la producción de bienes materiales; y por las condiciones políticas, económicas y sociales, ya que ellos establecen las relaciones y formas específicas de producción.

El conocimiento de estos dos grandes marcos de acción es necesario para poder plantear que recursos hay en la naturaleza susceptibles de ser aprovechados, cuáles requieren de ser protegidos y en su caso, cuáles son las condiciones políticas, económicas y sociales que el hombre tiene para poder obtener satisfactores de los recursos que la naturaleza le ofrece.

A través del siguiente trabajo se pretende obtener una visión del subsuelo de la zona urbana de la Ciudad de Aguascalientes en función del análisis de la información geoelectrica obtenido con cuarenta sondeos eléctricos verticales realizados en la periferia de la ciudad.

La presentación del estudio se ha hecho en dos partes: La primera cubre los aspectos de Historia, Clima, Vegetación, Población, Economía, Geología y algunos aspectos generales. La segunda parte contiene el método geoelectrico y análisis de resultados.

1.2.- LOCALIZACION Y SUPERFICIE.

El estado de Aguascalientes se encuentra situado dentro de la porción central de la República Mexicana entre los paralelos 21°28' y 22°28' de latitud norte y los meridianos 101°53' y

103°00' de longitud oeste. La ciudad de Aguascalientes se encuentra a una altura de 1850m. sobre el nivel del mar. Su superficie es de 5655 km², lo cual equivale al 0.28% de la superficie de la República Mexicana. Fig. 14

Está limitado al norte, oeste y noreste, por el estado de Zacatecas y al este, sur y sureste por el estado de Jalisco.

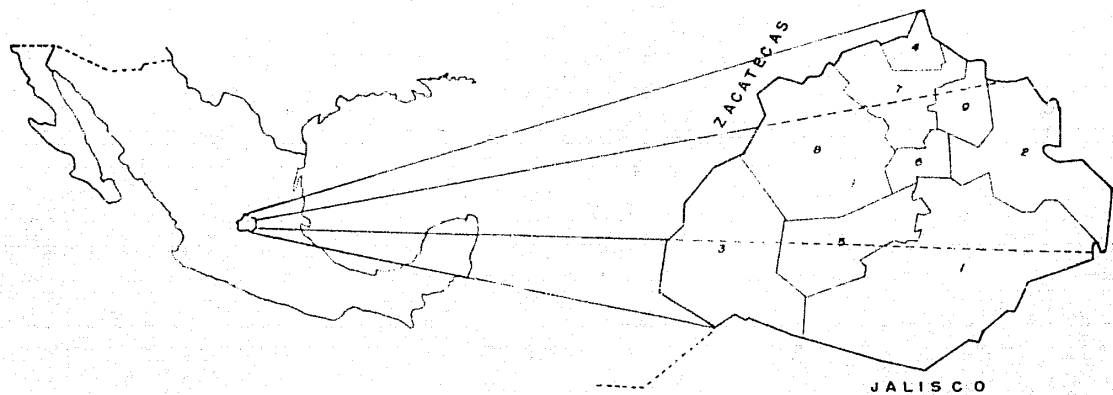
1.3.- VIAS DE COMUNICACION.

Debido a su situación geográfica, Aguascalientes es una de las entidades mejor comunicadas del país, tanto por vías terrestres como aéreas.

Aguascalientes posee 228 Km. de vías férreas. 0.40 km. de vía por cada mil habitantes, cifra superior a promedio nacional que es de 0.50 km. De norte a sur cruza el estado la vía férrea que va de México a Cd. Juárez; por otro lado, de la estación Chocolate parte un ramal hacia el noroeste que comunica a San Luis Potosí, en donde entronca con el ferrocarril México-Laredo y continúa hacia Tampico.

El estado cuenta con una red de carreteras la cual tiene una longitud de 1795 km. y comunica entre sí a la mayor parte de las poblaciones del estado, y a éste con todas las entidades de la República; ya que las vías más importantes, las carreteras Panamericana y Tampico-Barra de Navidad cruzan la entidad. La primera, que va de sur a norte, permite una ágil comunicación entre la ciudad capital y las regiones de San Francisco de los Romo, Pabellón, Rincón de Romos y Cosío.

De esta carretera derivan diversos caminos, por medio de los cuales quedan comunicadas localidades como San José de Gracia, San Antonio, Jesús María y Pocitos. La carretera Tampico-Barra de Navidad recorre a la entidad de este a oeste en forma perpendicular a la Panamericana; su paso por el estado permite una rápida comunicación entre la ciudad de Aguascalientes y la importante región frutícola de Calvillo; los caminos que derivan



MUNICIPIO	SUPERFICIE (Km)	HABITANTES (MILES)
TOTAL	5 589	50 430
1 AGUASCALIENTES	1 782.5	359 484
2 ASIENTOS	508	24 305
3 CALVILLO	905.4	37 009
4 COSIO	152.6	5 671
5 JESUS MARIA	493.1	25 147
6 PABELLON DE ARTEA		
8A	310.8	10 436
7 RINCON DE ROMOS	300	26 995
8 SAN JOSE DE GRACIA	768.6	5 700
9 TEPEZALA	209	12 142

Fig. 1.1 Estado de Aguascalientes; población, división política y situación geográfica.

de ella comunican, entre otras, a las poblaciones de Malinalco, La Ordeña, La Labor, Los Guayalates, La Comera y Calvillito, todas de importancia agrícola y ganadera. Además el entronque de la carretera Panamericana con Loreto Zac. y el de Aguascalientes-Calvillo Km. 8 Villa Hidalgo, Jalisco; así como los caminos Carretera Panamericana Km. 89 San Bartolo; el Navillo-Villa Juárez; San Rafael de Ocampo Ags.-Villa Santa Zac.; km. 4 Ags-Calvillito-San Ignacio; Circunvalación norte-Los Arquitos, y km. 16 carretera Panamericana-El Maquey-Valladolid completan la red de carreteras.

Respecto a las vías de comunicación aéreas, el estado actualmente cuenta con un Aeropuerto Internacional que brinda vue los diarios de la ruta Tijuana-México y México-Tijuana, además cuenta con un pequeño Aeropuerto que ofrece también servicio -- aéreo comercial con vuelos diarios, cubriendo la ruta México-- San Luis Potosí-Aguascalientes-Zacatecas.

1.4.- POBLACION.

El estado de Aguascalientes, es una de las entidades federativas más pequeñas de la República Mexicana. Cuenta con una población total por sexo hasta el censo de 1980 de 254,783 hombres y 264,656 mujeres, siendo el 49.05% y 50.95% respectivamente. Fig. 1.1.

También en el estado se observa una pirámide poblacional' en donde el 57.1% se encuentra en edades menores de 19 años, el 32.38% entre los 20 y 50 años y el 10.4% sobrepasa de los 50 -- años.

En el estado la tasa de crecimiento es de 3.2 siendo de las más altas del país. A consecuencia del incremento de los servicios' de salud en el estado, la tasa de mortalidad infantil va en decrecimiento; así en 1980 por cada 1000 habitantes hubo 50.4 fallecimientos de infantes.

La esperanza de vida fué en 1980 de 65.7 años en la cual se nota un incremento.

Un grave problema que afronta el estado es la dispersión de poblaciones en las comunidades inferiores a 2,500 habitantes, cuyo número en 1980 se estima en 153,894 habitantes siendo el 29.63 de la población total.

1.5.- ANTECEDENTES HISTORICOS.

Los más antiguos testimonios de vida humana encontrados en el territorio del estado de Aguascalientes consisten en hachas de piedra pulida, puntas de flechas y escasos fragmentos de cerámica no bien identificada. No disponiéndose de una zona arqueológica importante, se deduce que el suelo del estado, hasta antes de la época de la colonia, no fué asiento de cultura importante y estuvo poblado por tribus nómadas.

Se considera que los primitivos moradores de este estado, fueron grupos de filiación otomí y purépecha ó tarasca los cuales fueron empujados hacia el sur, por los belicosos nahuas, quedando rezagados éstos, en sus varias migraciones, en sus avances rumbo al valle de México.

Durante el principio de la época de la colonia, los chichimecas que habitaban la región, se sublevaron constantemente, como consecuencia de errores, en materia de trato dado por los conquistadores. El primero que penetró a estas regiones, fué el vedor del ejército de Nuño de Guzmán, Capitán Pedro Almendaz Chirino, en el invierno comprendido entre los años 1530 a 1531. En la época de la colonia, el actual territorio del estado de Aguascalientes, estuvo unido al de los estados de Jalisco, Zacatecas y San Luis Potosí, formando la provincia del Nuevo Reino de Galicia.

La actual capital del estado fué fundada por Cédula expedida en Madrid el 22 de octubre de 1575 por el Rey de España -- Felipe II, para el levantamiento de un pueblo, en un sitio regado por aguas calientes, el cual recibió el nombre de "Villa de"

nuestra Señora de la Asunción de las Aguas Calientes" y se convirtió posteriormente en una populosa y progresiva ciudad de la Nueva España.

En la etapa de iniciación de la República, Aguascalientes perteneció al estado de Zacatecas y en junio de 1838 fué separado de este estado y se convirtió en uno de los departamentos de la -- República Central. Posteriormente, el 22 de agosto de 1846, fué elevado a la categoría de estado, lo cual conservó por menos de un año, pues en mayo de 1847 volvió a ser parte de Zacatecas, situación en que permaneció hasta el 5 de febrero de 1857, fecha en que fué proclamada la constitución y entró a formar parte de los 27 estados libres y soberanos de la Federación Mexicana.

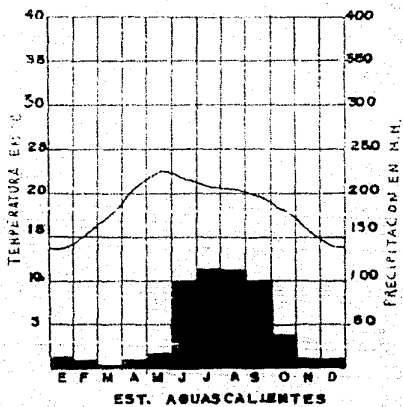
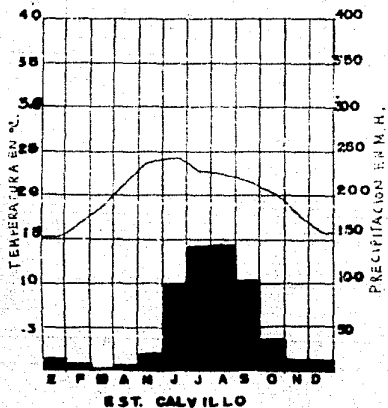
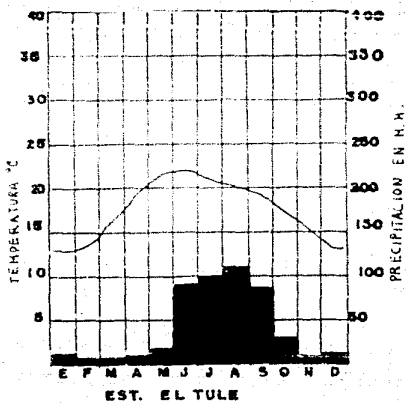
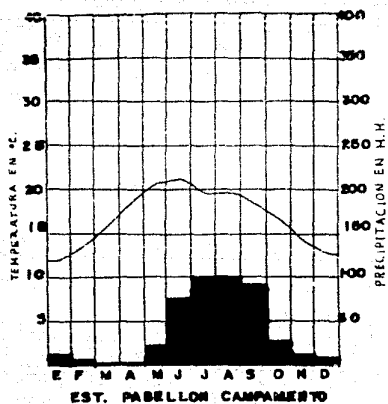
Debido a su situación geográfica Aguascalientes ha sido sacudido por todos los movimientos armados que el desarrollo del país ha originado.

Aguascalientes ha sido prolífico en cuanto al número de -- ciudadanos ilustres que ha dado, entre los cuales se pueden mencionar al Lic. Francisco Primo de Verdad y Ramos, Don José Ma. Chávez, Lic. Don Jesús Terán, Dr. Isidro Culera, Dr. Jesús Díaz de León, Don José Trinidad Pedroza, Lic. Ezequiel A. Chávez, el escultor Jesús F. Contreras, el pintor Saturnino Herrán, José Guadalupe Posada, Manuel M. Ponca y Alfonso Esparza Oteo, entre otros.

1.6.- CLIMA Y VEGETACION.

En terminos generales, el clima en el estado de Aguascalientes es de carácter semiseco con una temperatura media anual de 17.4°C. y una precipitación pluvial media de 526 mm.

El período de lluvias corresponde al verano, en las otras estaciones del año las lluvias que se registran son de baja intensidad. En las regiones con predominio de clima semiseco, se han llevado a cabo actividades agrícolas con diferentes niveles de desarrollo. En las zonas de riego hay cultivos tecnificados con altos rendimientos y en las mayores áreas se practica la agri--



ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS
DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES.

cultura tradicional.

A continuación se desglosan las variables de cada clima y sus característicos.

GRUPO DE CLIMAS TEMPLADOS:

Subgrupo de climas templados.

Clima estable en cuanto a humedad y temperatura, asociado a comunidades vegetales de encino, pino, bosques mixtos y pastizales. Se distribuyen en una pequeña zona al sur del estado y presentan una variable que cubre aproximadamente un 5% de la entidad.

Clima templado subhúmedo.

El menos húmedo de los templados con porcentaje de precipitación invernal menor de 5mm. Se localiza en parte del municipio de Calvillo. La precipitación media anual oscila entre los 600 y 600 mm. y la temperatura media anual 16° y 18°C .

GRUPO DE CLIMAS SECOS:

Tipo de clima semiseco.

Se le denomina también seco estepario, se caracteriza -- porque en él la evaporación excede a la precipitación, y está asociado principalmente a comunidades vegetales de tipo matorral desértico y vegetación xerófila. Se localiza en casi todo el estado cubriendo aproximadamente un 75% de la superficie; presenta cuatro variantes, que son las siguientes:

Subtipo semiseco semicálido A.

Con lluvias en verano y un porcentaje de precipitación -- invernal menor de 5mm. Este clima se localiza en el sur del estado en parte de los municipios de Calvillo y Aguascalientes. La precipitación media anual es del orden de 500 y los 600 mm. y la temperatura media fluctúa entre los 20° y 18°C . El mes de

máxima incidencia de lluvias es agosto, con un rango que va de los 140 a los 150 mm., siendo marzo el mes en que se registra la mínima con valores de 5 mm. La máxima temperatura corresponde al mes de junio con un valor entre los 24° y los 25°C. La mínima se presenta en enero y oscila entre 15° y 16°C.

Subtipo semiseco semicálido B.

Con lluvias de verano y un porcentaje de precipitación invernal entre 5 mm y 10.2mm se presenta principalmente en el centro, extendiéndose hacia el sur de la entidad en parte de los siguientes municipios: Aguascalientes, Calvillo, Jesús Ma. y Asientos.

La lluvia media anual oscila entre los 500 y los 600 mm. y la temperatura media anual es superior a los 18°C. La máxima ocurrencia de lluvias oscila entre los 110 y los 120 mm, registrándose en el mes de junio. La mínima se presenta en el mes de marzo con un rango menor de 5 mm. El régimen térmico más cálido se registra en mayo con una temperatura entre los 22 y los 23°C, siendo el mes más frío enero con una temperatura de 13 a 14°C.

Subtipo semiseco templado.

Con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5 mm. se sitúa principalmente en el sureste, así como en el centro de la entidad, en parte de los municipios de Aguascalientes, Pabellón de Arteaga, San José de Gracia y Rincón de Romos.

El valor de la precipitación media anual oscila entre los 400 y los 600 mm. y el régimen térmico medio anual varía de los 16° a 18°C. La precipitación tiene su máxima incidencia en el mes de junio y presenta un rango que va de los 100 a los 110 mm y la mínima se registra en los meses de marzo y abril ambas con un valor menor de 5mm. En el mes de junio se registran las máximas temperaturas que fluctúan entre los 21 y los 22°C; correspondiendo a diciembre las mínimas, que están entre los 12 y los 13°C.

Subtipo semiseco templado.

Con lluvias de verano y un porcentaje de lluvia invernal entre los 5 y los 10.2 mm. Es el clima dominante en la entidad y se presenta en todos los municipios. La precipitación media anual varía entre los 400 y los 600mm. La temperatura media anual es menor de 18°C.

El mes de agosto presenta la mayor precipitación, registrando una cifra entre los 110 y los 120 mm., siendo febrero el mes más seco con un valor que no alcanza los 10mm. Junio es el mes más cálido con una temperatura entre los 22 y los 23°C y los meses más fríos son enero y diciembre ambos con un valor entre 13 y 14°C.

Heladas y Granizadas.

De acuerdo a las zonas definidas por el clima del estado, las heladas y granizadas se encuentran distribuidas de la siguiente forma:

Heladas.

En los climas semisecos la frecuencia de heladas es de 10.80 días al año, siendo el rango de 20 a 40 días el que presenta con mayor incidencia dentro de la entidad, y que corresponde al período que va de noviembre a febrero. En enero se registran las máximas heladas.

En los climas templados al suroeste, la periodicidad de las heladas es de 20 a 60 días y se presentan durante los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero.

Granizadas.

Aproximadamente un 80% del estado presenta una frecuencia de granizadas en un rango de 0 a 2 días anuales en los climas semiseco y templado. El 18% de la entidad tiene una frecuencia de heladas de 2 a 4 días al año. En el 2% restante el fenómeno es inapreciable. Las granizadas no guardan un patrón de comportamiento bien definido, aunque están asociadas con períodos de

precipitación. La máxima incidencia se presenta en los meses de julio y agosto.

Vegetación en el estado.

El matorral desértico microfilo es el que predomina, se presenta en todo el estado con excepción de las sierras bajas y el piso amplio del valle con lomeríos. Se encuentra distribuido de los 1900 a los 2500m. s.n.m., en zonas de clima semiseco semicálido y semiseco templado y la altura dominante de las especies es de 4.5m. Los elementos más frecuentes que lo constituyen, en la altura superior: huizache (*Acacia* sp), mezquite (*Prosopis* sp), tepone (*Acacia pennatula*), casahuate (*Ipomoea* sp), nopal C. (*Opuntia* sp), en la altura media: pasto (*Muhlenbergia* sp), pasto (*Bouteloua* sp), pasto (*Aristida* sp), vara dulce (*Chloris* sp), nopal (*Opuntia* sp), pasto (*Eragrostis* sp), pasto (*Stipa* sp) y pasto (*Cynodon* sp); y en la altura inferior: pasto (*Bouteloua* sp). El bosque de encino se presenta en las sierras altas con mesetas, en la superficie de la meseta pequeña y en el lomerío asociado con cañadas; distribuido de los 2000 a 2400 m. s.n.m., su fase de crecimiento es latizal (menor de 35 cm. de diámetro) y el promedio de árboles por hectárea es de 131. Los elementos dominantes en la altura arbórea son: *Quercus* sp; en el arbustivo manzanita (*Aretostaphylos* sp), uña de gato (*Acacia* sp), jarilla (*Dodonaea viscosa*), nopal (*Opuntia* sp), y ocotillo (*Dodonaea* sp); otros elementos que se encuentran con frecuencia son pastos (*Aristida* sp, *Stipa* sp, *Muhlenbergia* sp y *Bouteloua* sp). El pastizal natural se encuentra distribuido en los 2000 a los 2350 m. s.n.m., en tres sistemas de topoformas, donde el clima predominante es el semiseco templado, la forma de crecimiento de los pastos es amacollado y cespitosa y su cobertura del 25 al 50%. Los elementos más frecuentes son dos variedades de pasto (*Aristida* sp y *Microchloa* sp).

El pastizal inducido está distribuido a la misma altitud que el natural, su forma de crecimiento y su cobertura son también simi

lares. Los elementos dominantes son: pastos (*Eragrostis* sp), -- (*Muhlenbergia* sp), (*Aristida* sp), y (*Stipa* sp); otro elemento -- que se presenta es el (*Opuntia* sp).

El chaparral se presenta en tres sistemas de topoformas, distribuido de los 2000 a los 2450m. s.n.m., en zonas de climas semiseco semicálido. Sus elementos más frecuentes son: en la altura arbustiva superior: *Quercus* sp, manzanita (*Arctostaphylos*) y palma samandora (*Yucca carnerosana*); y en el inferior: quapilla (*Dasylirion* sp), nopal (*Opuntia* sp) y ocotillo (*Dodonaea* sp).

En la superficie de la meseta pequeña y en el piso amplio de valle con lomerías, se encuentra el matorral subtropical, distribuido entre 1600 y 2300m. s.n.m.; la altura dominante de los elementos es de 3.5m y los más frecuentes son: caschuate (*Ipcnoea* sp), vara dulce (*Eysenhardtia* sp) y nopal (*Opuntia* sp), en la altura superior; y pastos (*Microchloas* sp, *Aristida* sp, *Stipa* sp y *Rhynchelytrum* sp), en la altura inferior.

El bosque de encino-pino está distribuido aproximadamente en los 2650m s.n.m., en la superficie de mesetas pequeñas y su fase de crecimiento es latizal y fustal. Los elementos dominantes en la altura arbóreo son: *Quercus* sp, *Juniperus* sp, *Arbutus* sp y *Pinus herrerae*; en la altura arbustivo: *Quercus* sp y *Arctostaphylos* sp y pastos (*Muhlenbergia* sp) y (*Sporobolus* sp), como elementos -- acompañantes.

También se encuentra el matorral crasicole; su distribución promedio es en los 2150m s.n.m., en zonas de clima predominante semiseco templado. Los elementos más frecuentes son en la altura superior: huizache (*Acacia* sp) y nopal (*Opuntia* sp); y en la altura inferior los especies tienen una frecuencia muy baja, por tanto no se mencionan.

Matorral desértico micrófilo: Localizada entre los 1930 y 2250m. s.n.m. bajo clima del grupo de los semisecos, está constituido por tres alturas que tienen la siguiente composición florística.

En la altura superior: huizache (*Acacia* sp), nopal (*Opuntia* sp), nopal cardón (*O. Streptacanthal*) y mezquite (*Prosopis* sp).

Altura media: nopal tapón (*Opuntia* robusta) y huizache (*Acacia* sp). Altura inferior: pastos de los géneros *Aristida*, *Soutelova* y *Muhlenbergia* y songregado (*Satropha* sp).

Matorral crasicaule: se le encuentra entre 1900 y 2260m. s.n.m. también bajo climos semiseco y presenta una altura superior compuesto por huizache (*Acacia* sp), mezquite (*prosopia* sp), nopal (*Opuntia* sp), nopal cardón (*O. streptacanthal*), cardenche (*O. imbricata*), nopal duraznillo (*O. leucotricha*) y vara dulce (*Eysenhardtia* sp), y uno inferior constituido por nopal tapón (*O. robusta*), songregado (*Satropha spatuleta*) y cola de caballo.

Mezquital: Los elementos florísticos más representativos de este tipo de vegetación son mezquites (*Prosopis* sp y *Prosopis juliflora*) y nopal cardón (*O. Streptacanthal*). El mezquital no es muy frecuente y se encuentra entre 1880 y 2200m. s.n.m. bajo un clima semiseco.

1.7.- ECONOMIA.

Aguascalientes cuenta con una economía bastante diversificada y a pesar de su extensión tan pequeña, su producción en algunos renglones alcanza importancia nacional, entre los que podemos citar la producción de vid y de guayaba que constituyen una parte importante de la economía del estado.

Gracias a su situación geográfica, Aguascalientes ha sido vital para el desarrollo del país por su importancia ferroviaria, la cual data de la época del porfiriato. Actualmente, los modernos talleres para la recuperación de vagones, así como la primera armadora de locomotoras en Latinoamérica, constituyen una importante fuente de ingresos. La tradicional elaboración de deshilados y bordados de algodón y su industria vitivinícola son fuentes importantes en la entidad, como su nueva y creciente planta industrial sobresaliendo su industria automotriz.

El estado cuenta con un importante distrito minero localizado en los municipios de Asientos-Itepehualá; del cual se extraen principalmente plata, cobre, plomo, zinc, oro y fierro. Además existen explotaciones de fosforita y fluorita a baja escala.

La principal compañía minera cuenta con dos plantas de beneficio. En "El Orito" se benefician 206 toneladas diarias de mineral con 120 gr/ton. de plata, 1.5% de cobre y 0.9% de zinc. La planta de "La Merced" beneficia 300 toneladas diarias de mineral con 1 gr/ton. de oro, 66 gr/ton. de plata, 0.8% de plomo, 0.3% de cobre y 5.3% de zinc.

La agricultura y las actividades pecuarias, representan para el estado una de las principales fuentes de trabajo ya que el 29.6% de la población total se "beneficia" de ellas.

Agricultura.

Las posibilidades de uso agrícola del suelo están determinadas; por las condiciones físicas que se presentan, el grado de aptitud está distribuido de la siguiente manera: áreas aptas para agricultura mecanizada continua, áreas aptas para agricultura de tracción animal, áreas aptas para agricultura manual y áreas no aptas para agricultura.

La agricultura mecanizada de temporal o riego, se puede desarrollar en los llanos, valles, en las mesetas de las sierras altas y en algunos lomeríos asociados con cañadas; sin embargo, algunas áreas presentan aptitud baja para el desarrollo de los cultivos, la labranza y la aplicación de riego, debido a que la profundidad del suelo fluctúa entre los 20 y los 35 cm. las pendientes entre 2 y 10% y en el caso específico de los lomeríos la pedregosidad va del 10 al 20%; en otras zonas la aptitud para el desarrollo de los cultivos y la labranza es media, porque los suelos son un poco más profundos (35-50 cm), pero la

aplicación de riego la aptitud es baja.

En algunas unidades del lomerío asociada con cañadas, se puede realizar agricultura de temporal con tracción animal; debido a que la profundidad del suelo (20-40cm), la obstrucción superficial (mayor del 40%) y las pendientes (2-10%); permiten la labranza con tracción animal; pero restringen el desarrollo de los cultivos, la introducción de maquinaria agrícola y la aplicación de riego.

Todos los sistemas de topografías presentan algunas zonas en las que sólo se pueden llevar a cabo agricultura de temporal en forma manual; debido a los suelos someros (10-25cm), las pendientes (2-20%); que determinan una aptitud baja para el desarrollo de los cultivos y la labranza e impiden la introducción de maquinaria agrícola y técnicas de riego.

No se pueden realizar ningún tipo de agricultura en una porción de las tierras bajas, en mesetas con escarpes, en algunos lomeríos, en parte de las sierras altas y en las cañadas porque los suelos son poco profundos (5-15cm), las pendientes mayores del 25% y la pedregosidad superior al 40%; lo que impide el desarrollo de los cultivos y la labranza.

Posibilidades de uso Pecuario.

El estado presenta posibilidades de uso pecuario en la totalidad de su superficie; sin embargo las pendientes, la obstrucción superficial y la vegetación, determinan diferentes tipos de aptitud, con distribución discontinua.

Áreas aptas para pastoreo intensivo sobre praderas cultivadas, áreas aptas para pastoreo extensivo sobre pastizal natural, áreas aptas para pastoreo extensivo sobre vegetación natural diferente al pastizal, áreas aptas para pastoreo extensivo de ganado caprino, áreas aptas para el establecimiento de praderas cultivadas y áreas aptas para el pastoreo de ganado en vegetación diferente al pastizal.

El pastoreo intensivo sobre praderas cultivadas se puede llevar a cabo en las llanas de la superficie de meseta pequeña, en las mesetas de las sierras altas, en una porción del piso amplio del valle, y en el lomerío asociado con cañadas, pero el grado de aptitud es variable tanto para el desarrollo de las especies forrajeras (de alto a medio) como para el establecimiento de las praderas (de medio-bajo) debido principalmente a la profundidad del suelo (mayor de 20cm), a las pendientes (2 a 10%) y a la pedregosidad (10 a 20%), existentes en la zona.

El pastoreo extensivo sobre pastizal natural se puede efectuar en parte de las sierras bajas, ya que algunas áreas de este sistema presentan vegetación de pastizal natural, sin embargo la movilidad del ganado se ve restringida en forma moderada, por la pedregosidad (mayor del 40%) y las pendientes (12 a 25%).

En las sierras bajas, en la superficie de meseta pequeña, en parte del valle, en los lomeríos y en parte del lomerío asociado con cañadas, sólo se puede realizar pastoreo extensivo sobre vegetación natural diferente al pastizal; debido a que la poca profundidad del suelo (10 a 25cm), las pendientes (2 a 20%) y la pedregosidad (15 a 40%) limitan la movilidad del ganado y el desarrollo de las especies forrajeras. En las zonas con condiciones más drásticas, suelo de 5 a 10cm. de profundidad, pendientes mayores del 30% y pedregosidad superior al 40% de las sierras altas, la superficie de meseta pequeña, el piso del valle, y en lomerío asociado con cañadas, es factible únicamente el pastoreo extensivo de ganado caprino sobre vegetación natural diferente al pastizal, porque las condiciones mencionadas restringen fuertemente la movilidad de otro tipo de ganado.

C A P Í T U L O I I .

GEOLOGIA GENERAL.

INTRODUCCION.

El área está situada en la Meseta Central, cubre una superficie de 472.5 Km². Con un relieve suave y ondulado, donde afloran rocas del Terciario Medio al Reciente.

La unidad litoestratigráfica más antigua, es la Riolita Ojo -- Caliente de edad pre-Miocénico, que se encuentra subyaciendo -- discordantemente a la Toba Zoyatal. Esta unidad consiste principalmente de riolitas con pseudostratificación aparente y una estructura fluidal. La Toba Zoyatal del Barstoviano subyace -- discordantemente a la Toba Aguascalientes. Esta es una secuencia de rocas piroclásticas, consolidadas a semiconsolidadas, pseudostratificadas de textura vítrea, cristalina y lítica.

La actividad volcánica desarrollada a mediados del Terciario, dió origen a la Toba Zoyatal y depósitos asociados; durante el Mioceno Tardío coexistiendo con esta actividad, se desarrolló la mastofauna miocénica representada por la fauna local Zoyatal.

Los depósitos cuaternarios sobreyacen discordantemente a la Toba Zoyatal que se encuentra intercalada con sedimentos aluviales. Durante parte de este período, las condiciones climáticas y ambientales dieron oportunidad a que se desarrollara una mastofauna diversa y abundante representada por la fauna local El Cedazo. En las partes bajas se ha depositado aluvión Cuaternario ó se han desarrollado suelos delgados.

2.1.- FISIOGRAFIA.

En el estado de Aguascalientes se puedan diferenciar --

tres provincias fisiográficas.

En general el estado de Aguascalientes posee un relieve de pendientes suaves y onduladas, el desnivel máximo es de unos 200 mts., la topografía en la parte occidental es más baja y asciende gradualmente hacia el oriente. Las planicies se localizan en el valle de Aguascalientes, cuya altitud es de 1,850 m.s.n.m. En la parte oriental se localizan Los Llanos, extensa planicie sumamente erosionada, cubierta en parte por arbustos espinosos y matorrales. Tiene una altitud de 2,000 a 2,050 m.s.n.m. Hacia la región nororiental existen pequeñas mesetas que han sido fuertemente erosionadas formando lomeríos. Las provincias fisiográficas son :

La Sierra Madre Occidental

La Mesa del Centro.

Eje Neovolcánico.

Sierra Madre Occidental.

Esta provincia ocupa la porción occidental del estado. Limita al oriente con la mesa del centro y hacia el sur con el eje neovolcánico.

Las rocas más antiguas del estado se encuentran en esta provincia, son pequeños afloramientos de rocas metamórficas (esquistos) del triásico. Sin embargo esta provincia en la parte que comprende a la ciudad de Aguascalientes está constituida principalmente por rocas volcánicas predominando las de composición ácida (riolitas, tobas) aunque también existen algunos derrames de rocas ígneas extrusivas básicas.

En orden de importancia siguen los depósitos sedimentarios de tipo continental, constituidos por areniscas, conglomerados y la asociación de ambos.

Los depósitos aluviales del Cuaternario son los rellanos de estos valles. Fig. 2.1

Mesa del Centro.

Esta provincia abarca la porción oriental del estado, -- sus límites son: hacia el occidente la Sierra Madre Occidental y hacia el sureste el Eje Neovolcánico. Fig. 2.1

Aquí las rocas más antiguas son rocas sedimentarias del Cretácico constituidas por calizas, caliza-lutita y lutita-arenisca. Del Terciario afloran algunos cuerpos de rocas ígneas intrusivas ácidas que han afectado, mineralizando a las rocas del Cretácico que afloran en las cercanías de las poblaciones de Tapachalá y Asientos.

También del Terciario, existen rocas ígneas que aparecen subyaciendo a depósitos clásticos continentales (arenisca, conglomerao y arenisca conglomerado).

En esta provincia son abundantes los depósitos aluviales del Cuaternario que se encuentran en casi todos los valles -- existentes.

Eje Neovolcánico.

Esta provincia comprende la porción sur del estado. Sus límites al norte es la Sierra Madre Occidental, al noroeste limita con la Mesa Central. Fig. 2.1

En esta provincia afloran rocas sedimentarias del Cretácico (caliza-lutita), cubiertas por depósitos continentales -- del Terciario (arenisca y arenisca conglomerado), provenientes de la disgregación de las rocas volcánicas de la Sierra Madre Occidental. También del Terciario existen afloramientos de rocas extrusivas ácidas. Del Cuaternario son los depósitos de -- aluvión que rellenan pequeños valles de esta provincia.

2.2.- GEOLOGIA HISTORICA.

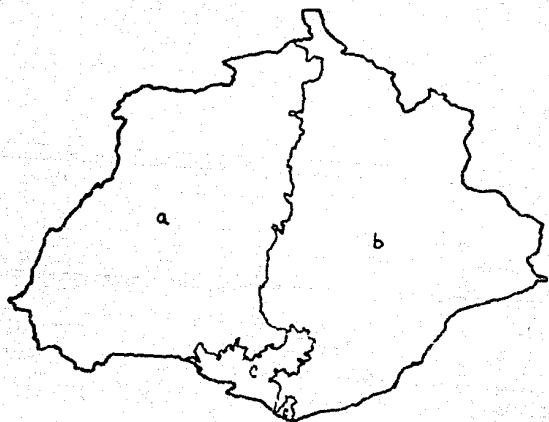


Fig.2.1.- PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DEL ESTADO DE AGUASCALIENTES :

a.- PROVINCIA DE LA SIERRA
MADRE OCCIDENTAL.

b.- PROVINCIA DE LA MESA
CENTRAL.

c.- PROVINCIA DEL EJE
NEOVOLCANICO.

El evento más antiguo que se registra, es el depósito de rocas de origen marino (calizas, calizas-lutitas), posiblemente del Cretácico.

En la región de Tepezalá se encuentran conglomerados de un espesor reducido de finales del Oligoceno Medio. El volcanismo intenso del Terciario originó la formación de las riolitas y las Tobas que le sobreyacen discordantemente. Además encontramos una mastofauna Miocénica que refleja la posible existencia de un ambiente tipo Sabana.

Por otra parte no se han registrado los eventos geológicos del Plioceno, época en que se inicia la formación del Eje Neovolcánico.

También encontramos depósitos del Pleistoceno que sobreyacen discordantemente a las unidades del terciario, dando testimonio de los efectos del intemperismo.

2.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

La zona en estudio se localiza en una estructura tipo -- graben derivado de dos fallas normales que se orientan de norte a sur, delimitando al oriente y poniente el extenso valle de Aguascalientes.

Esta estructura es un posible producto de movimientos tectónicos ligados a la formación del Eje Neovolcánico y que ocasionaron también un cambio de los ríos Lerma y Santiago que drenan más al sur.

En dirección paralela a las fallas principales se presentan -- fallas secundarias acompañadas de un intenso fracturamiento con el mismo sentido y perpendicular a la estructura fluidal de las riolitas.

Las trazos de las fallas principales tienen una orientación de NE 10° SW y un echado de 9° - 15° ó bien manifiestan --

cierta verticalidad formando escarpes. Estos rasgos se observan con mayor claridad a 300 mts. de la presa Los Arquitos. La falla normal que se ubica al oriente sigue un paralelismo semejante a las estructuras anteriores, habiéndose verificado en el campo su dirección con datos obtenidos al sur de la presa. El Cedazo registrando un rumbo NE 10° SW y un echado de 10° -- observándose el bloque del bajo caída hacia el oriente.

También se observa una notable inclinación del valle de Aguascalientes hacia la parte sur en relación con la posición horizontal que guardan las mesetas formadas por riolitas.

2.4.- HIDROGRAFIA.

El río Aguascalientes nace con el nombre de arroyo La Cascaronera en la falda norte del cerro El Devisador a una altitud de 2370 m.s.n.m. y a 6 km. al oriente del poblado San Jerónimo, Zac. En sus orígenes describe una amplia curva hasta las inmediaciones de El Refugio y con el nombre de arroyo Los Cardos, enfila con dirección sureste hasta llegar a la población de Ojo Caliente, Zac.

A partir de dicha población se inicia una zona plana en la que el escurrimiento de la corriente es intermitente, proliferando bordos que cortan su flujo y algunos arroyos se le unen. En el límite con el estado de Zacatecas corta en su margen derecha con su primer aportador de importancia el río San Pedro. Sigue su curso hacia el sur, serpenteado por áreas de cultivo y bordeando las poblaciones de San Jacinto, El Chayote, San Antonio y Pabellón de Artsaga. En este tramo le aportan los arroyos El Sauçillo, Tepezalá, Los Hornos, Hondo, Caldera y Chiquithuite, Fig. (2.2)

A unos 15 km. aguas abajo del poblado Pabellón de Artsaga, el río Aguascalientes capta por margen derecha al río Pabellón --

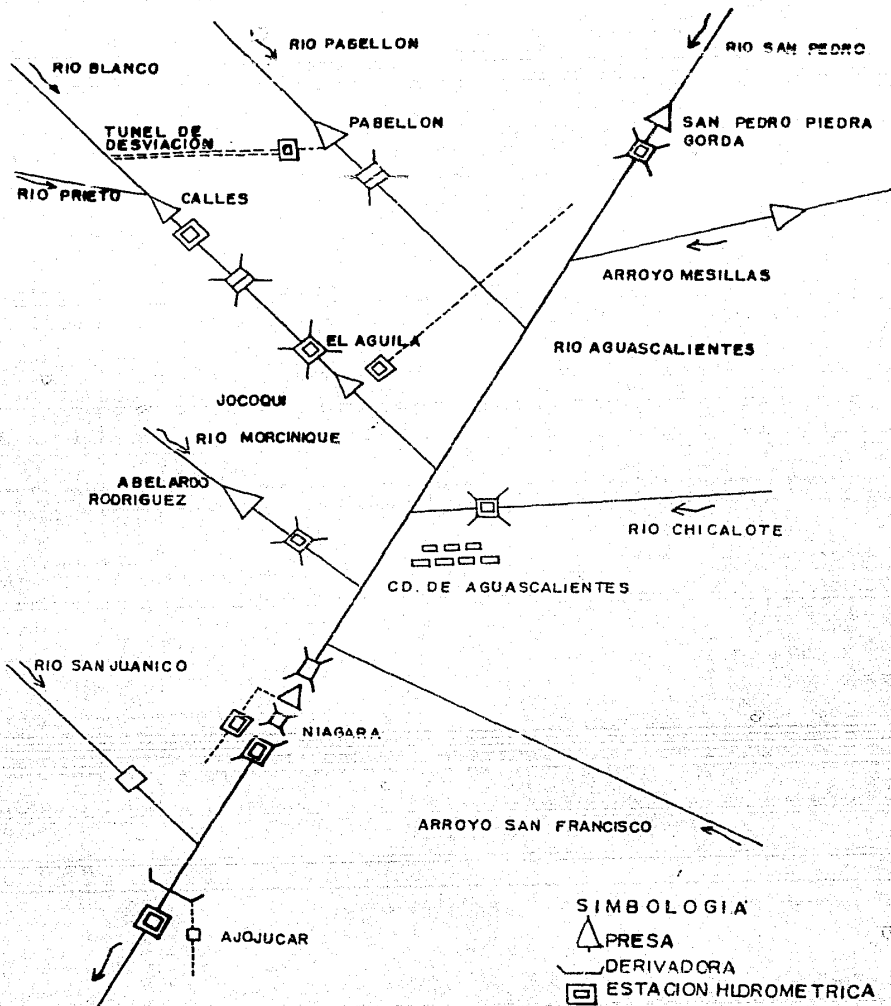


Fig.2.2. Hidrografía del estado de Aguascalientes.

que fué uno de sus principales afluentes; El río Pabellón tiene su curso principal hacia el sureste, siendo regulado su caudal en la Presa Pabellón, que tiene una área de cuenca de 313' km² la cual deriva sus aguas mediante un túnel a la cuenca del río Blanco para incrementar, el almacenamiento de la Presa Calles.

A esta altura por su margen izquierda capta el arroyo Mesillas, regulado por la presa del mismo nombre.

A unos 400 m. aguas abajo de la entrada del río Pabellón y por la misma margen derecha, aporta al río Aguascalientes el río Santiago que es otro de sus más importantes tributarios.

El río Santiago está compuesto por dos formadores que -- son los ríos Prieto y Blanco, que se unen en el embalse de la ' presa Calles, recibiendo también los aportes del río Pabellón.

El río Aguascalientes al llegar a la población de San -- Francisco de los Romos, enfila al suroeste y capta en su margen derecha a los arroyos La Concepción y Rancho Seco y por la margen izquierda al río Chicalote a 2 km. al norte de Maravillas.

A partir de la unión del río Chicalote, el río Aguascalientes fluye hacia el sur y capta por la margen izquierda al Arroyo La Hacienda, que pasa por el extremo poniente de la ciudad de Aguascalientes, a esta altura recibe la aportación izquierda del arroyo El Cedazo, que atraviesa la parte sur de dicha ciudad.

En la misma zona el río Aguascalientes capta a otro de -- sus afluentes importantes el río Marcínique al cual, descarga su caudal en la presa Gral. Abelardo Rodríguez; prosigue su -- curso al oriente y en su tramo final fluye en dirección suroeste aportando por margen derecha al río Aguascalientes, ligeramente al suroeste de la ciudad.

A unos tres km. aguas abajo de la unión de los arroyos Cedazo y Marcínique, el río Aguascalientes recibe por margen izquierda

al arroyo San Francisco y cambia su curso al suroeste siendo embalsados sus escurrimientos en la presa El Niágara. Después de verter en la presa El Niágara, el río Aguascalientes describe una curva cerrada hacia el oriente, para recibir por el margen izquierda las excedencias de la presa Guadalupe; la cual embalsa las aguas del arroyo Salto de Montoro, para continuar su curso enfilándose hacia el sur hasta alcanzar la estación de Ajojuar, en el límite con el estado de Jalisco.

2.5.- GEOLOGIA LOCAL.

En el área de estudio afloran rocas volcánicas y volcánicas clásticas, sedimentos continentales y suelos. El alcance estratigráfico de la columna geológica generalizada se extiende del Terciario Medio al Reciente. A continuación se describen estas unidades en orden estratigráfico ascendente. Fig. (2.3)

Rocas del Terciario.

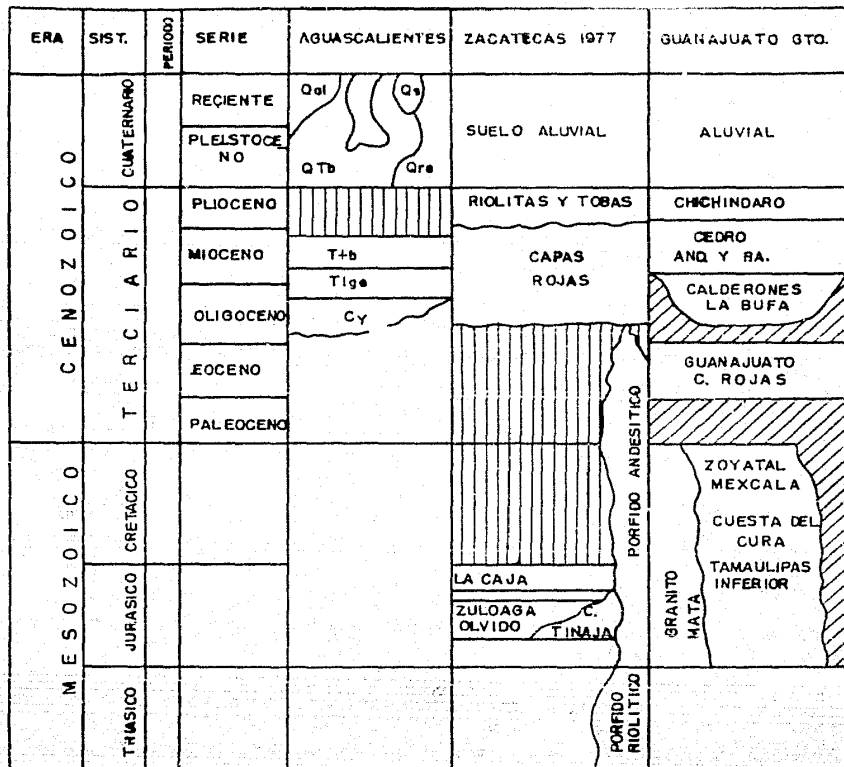
Conglomerados del Oligoceno Superior.

Tentativamente se situó a esta unidad en la época del Oligoceno Superior con base a estudios realizados a conglomerados rojos que afloran en Guanajuato.

Este conglomerado forma lomeríos que se ubican al NE a una distancia de 1,200 mts. del poblado de San Pedro Lagunillas. También en la parte oriente se observa un remanente de este conglomerado en la base del Arroyo Salto de Montoro.

El conglomerado está constituido por materiales subangulosos a subredondeados, de rocas andesíticas, metamórficas y riolitas, de un tamaño de 2 a 3 cm. de diámetro, en una matriz areno-arcillosa de un color rojo claro.

Fig. 2.5 COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL
SÚR DE AGUASCALIENTES



HERNANDEZ (1981)

R. RAMOS

CEPEDA (1967)

ABREVIATURA

Qal aluvion

Qre residual

Q Tb tobas

Cy conglomerado

No deposito

Rocas Volcánicas del Terciario Medio (Tie).

Esta unidad está constituida por una roca ígnea extrusiva, ácida, caracterizada por una riolita de color rosado ó rosa claro, que intemperiza a café rojizo y café claro. Esta roca se presenta con una estructura fluidal aparente a masiva, con una dirección de flujo de 86° NW-SE, en la presa Los Arquitos y de 15° NW-SE, en el Cerro de los Gallos. Esta unidad se encuentra constituyendo las partes más altas que rodean el valle, formando topoforras alargadas que se orientan N-S en la parte occidental y en forma irregular al final del alineamiento que siguen los lomeríos en una porción sur oriental.

El montículo formado por esta roca al oriente de la ciudad de Aguascalientes en las partes aledañas al balneario Ojo Caliente se le ha denominado como Riolita Ojo Caliente, correlacionándose con las rocas existentes dentro del área, que afloran al occidente, constituyendo un mismo cuerpo. También se tienen lomeríos que destacan en altura. El contacto con los depósitos tabóseos que le sobreyacen es discordante.

Considerándose que el contacto inferior no aflora, el espesor es de 300 metros medido de los flancos a la cima que forman las sierras de mayor elevación sin conocer el espesor o profundidad de esta unidad.

Petrografía: Se examinaron tres láminas delgadas de muestras rescatadas en diferentes cuerpos con resultados de equivalente similitud en relación con sus minerales.

La roca en estudio tiene una textura porfídica, constituida por fenocristales de cuarzo y sanidino en una matriz desvitrificada esferulítica con algunos intercrecimientos de cuarzo, feldespatos y ferromagnesianos hematizados. Está constituida por material criptocristalino y de vidrio. El cuarzo es el mineral más abundante, se presenta como cristales corroídos y

fracturadas, la ortoclasa le sigue en abundancia y junto con el sanidino se encuentran igualmente fracturados. Están presentes, agregados felsíticos criptocristalinos, compuestos de cuarzo, ortoclasa y probablemente alterados a sericita y arcilla. En los minerales máficos se encuentran la biotita disgregada de color castaño oscuro, la hematita y hornblenda verde y verde parduzca.

Clasificación: Riolita.

Toba Zoyatal (M t b)

Esta unidad se caracteriza por una toba (de material -- piroclástico) de color café amarillento, que varía a crema pálido y ocasionalmente, a gris oscuro; presentando en ocasiones pseudoestratificación incipiente con algunas cavernas; se manifiesta consolidada a semiconsolidada de textura vítrica, cristalina y lítica. Esta unidad sobreyace discordantemente a la riolita Ojo Caliente.

La Toba Zoyatal aflora en la parte nororiental del área de estudio en donde está mejor representada, encontrándose manifestaciones esporádicas en toda su extensión. Esta unidad -- forma lomeros ondulados de poca altura con alineamientos de N-S. A esta unidad de rocas se le ha denominado como Toba Zoyatal, tomando su nombre de las Lomas de Zoyatal ubicadas a un Km. al poniente del pueblo La Colorada Zoyatal, cuyos afloramientos representativos se encuentran sobre el margen izquierdo del Río San Francisco. La Toba Zoyatal, se extiende en la parte sur encontrándose formada por un material de un color -- amarillento cremoso, con pseudoestratificación, poco consolidada y ocasionalmente mostrando pequeñas cavernas.

Litología y Espesor: Se distinguen dos tipos de Toba riolítica vitrocrystalina, integrada en una misma unidad tobácea que se define lateralmente en toda la extensión del valle.

La primera Toba es masiva semiconsolidada, de color pardo, constituida por fragmentos angulosos y subangulosos, es -- arenosa; la segunda unidad tobacea de color amarillo crema muy deleznable en la superficie con pseudoestratificación compacta a profundidad, formando cavernas, es predominantemente de granulometría fina conteniendo poco material grueso.

El espesor total de esta unidad se desconoce, ya que el contacto inferior no está expuesto en el área, sin embargo, se midieron espesores hasta de 15m, en afloramientos observados sobre los cauces de algunos arroyos.

Petrografia: La textura de la roca es vitrocrystalina clástica con tres tipos de piroclastos: vítrico, cristalino y lítico. - Estos piroclastos están dispuestos en una mesostasis vítrica.

La parte cristalina está constituida por cuarzo, feldespatos y minerales opacos. Los feldespatos están alterados; se identificaron sanidina, ortoclasa y oligoclasa; los pocos minerales opacos son magnetita y hematita.

La porción vítreo está constituida por esquirlas de vidrio. Los piroclásticos están dispuestos en una matriz vítreo fina.

Unidades Cuaternarias.

Además de la Toba Aguascalientes existen otros sedimentos cuaternarios como son depósitos lacustres, sedimentos aluviales, regolitas y suelos.

Toba Aguascalientes (Q tb)

Esta unidad está constituida por una toba vítreo y vitrocrystalina de color café rojizo, que no presenta estratificación, bastante soldada, así como un agrietamiento intenso y en ocasiones se presenta intercalada con lentes de arenas finas y gravillas bien cementadas.

La Toba Aguascalientes se encuentra representada en los cortes que forman los arroyos.

Esta toba algunas veces presenta una textura de toba lapilli poco soldada y sobreyace discordantemente a la Toba Zoyatal. Los afloramientos más notorios corresponden a Las Lomas de Colorada Zoyatal, Calvillito, El Duraznillo y Montoro.

El nombre de esta toba se tomó de la ciudad de Aguascalientes, debido a que se asienta en una gran parte de esta entidad. Las localidades tipo se localizan al oeste de la Presa El Cedazo sobre los flancos que forman el río del mismo nombre. El espesor de la Toba Aguascalientes es variable, estimándose entre 15 y 20m, forma lomeríos ondulados que siguen orientación N-S.

Depósito Residual (Qre).

Estos materiales están mal clasificados y constituidos de fragmentos angulosos o subangulosos, y se encuentran principalmente formando los taludes de las partes altas, y en los lomeríos se presentan ocupando pequeños paquetes de gravas, arenas gruesas y fragmentos tobáceos. Este depósito representa el estado inicial del intemperismo.

Arenas (Qar).

Este depósito del Cuaternario está formado por arenas finas deleznales, de un color café claro y constituye potentes bancos de material de 4 a 5 m. de espesor. Estos sedimentos se localizan al norte del pueblo Tanque de los Jiménez y en las áreas aledañas al poniente de la presa El Niágara. Las extensiones de este depósito son reducidas por lo que refleja cambios ocasionales en el sentido del curso del Río San Francisco. Estos sedimentos consisten de arenas finas poco litifi-

cadadas y sobreyacen a las Tabas Zoyotal y Aguascalientes.

Suelos (Qs).

En este depósito predominan las arcillas y los limos formando una mezcla heterogénea de arenas en limitada proporción, de color gris claro a gris oscuro. Los suelos constituyen la unidad más extensa y se les encuentra formando espesores desde 10cm. en el talud de lomeríos y mesetas, hasta 5m. en los cortes de los Ríos San Pedro y San Francisco, siendo mayor su depósito a profundidad. Observándose también estas manifestaciones al norte y poniente de la Presa El Niágara.

Estos sedimentos consisten en suelos finos poco litificados y sobreyacen discordantemente a las Tabas Zoyotal y Aguascalientes, en superficie y profundada.

Aluvi6n (Qal).

Esta unidad está constituida por (Qal) limos y ----- arcillas poco litificadas, superficialmente se tiene un material suelto de arenas finas y gravillas, formando una mezcla heterogénea.

El aluvi6n constituye el suelo 6til al cultivo y se encuentra ocupando principalmente los cauces de los ríos y toda la extensión formada por el Valle de Aguascalientes. Su espesor varía entre 10 y 15 metros. Estos dep6sitos sobreyacen concordantemente a la toba Aguascalientes y se diferencian de ésta por su poca litificación. Sin embargo, en algunos afloramientos se -- apreció una interdigitación parcial con la toba Aguascalientes. Planos (2.1a y 2.1b).

CAPITULO III.

ESTUDIO GEOFISICO Y ASPECTOS TEORICOS.

III.1.- INTRODUCCION.

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 ó 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 las del medio circundante por medio de observaciones realizadas en la superficie del subsuelo.

Entre las diversas técnicas prospectivas se destaca el grupo de nominado de métodos electromagnéticos ó geoelectricos que involucran la medición de campos electromagnéticos originados por corrientes eléctricas estacionarias ó variables y producidos por fuentes naturales ó artificiales.

Dentro de los métodos geoelectricos 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 eléctrica. Las técnicas de medición de resistividad usadas con mayor frecuencia son las de los sondeos eléctricos verticales, cuyo empleo por medio del dispositivo Schlumberger permiten obtener en este caso la información de campo deseada.

Las aplicaciones de este método geoelectrico de prospección son variadas y la información que nos da sobre el subsuelo puede utilizarse para proporcionarnos una visión de las capas del subsuelo en la zona de estudio.

III.2.- PROPIEDADES ELECTROMAGNETICAS DE LAS ROCAS.

En la Prospección Geofísica es de gran interés conocer las propiedades físicas de las rocas y de sus agregados minerales, tal y como se presentan en la naturaleza, reconociéndose 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 el 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/m. (\mathcal{V}/m).

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

Conductores Electrónicos.

La conductividad electrónica se presenta en los metales nativos (oro, plata, cobre, estaño) y la ullmanita, ya que la facilidad de movimiento de sus electrones y su gran número, -- les proporciona una conductividad elevada. La resistividad de los metales es baja y sólo aumenta con la temperatura ó con una red cristalina defectuosa.

A temperatura normal la resistividad de los metales oscila entre 10^{-8} y 10^{-7} ohms.metro.

Otros cuerpos con conducción electrónica 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 ó sea que la probabilidad de que sus electrones salten a la banda conductora aumenta con la temperatura, creándose en el material una conductividad intrínseca.

En los semiconductores los márgenes de variación de resistividad se agrupan en tres distintos rangos:

- Materiales con resistividad entre 10^{-6} y $10^{-3} \Omega - m$
- Materiales con resistividad entre 10^{-3} y $1 \Omega - m$
- Materiales con resistividad entre 1 y $10^3 \Omega - m$

Los minerales más comunes en el rango de la semiconducción 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, comportándose el material en forma aislante. A temperaturas normales los dieléctricos presentan resistividades muy altas, con valores superiores a 10^7 ohms.metro. Entre los minerales dieléctricos se encuentran los más importantes constituyentes de las rocas, como por ejemplo: calcita, cuarzo, feldspatos, micas, silicatos, piroxenos, 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. La resistividad será la resistencia eléctrica presentada por un volumen del electrolito de forma cúbica y de un metro de lado, cuando se establece una diferencia de potencial entre sus caras.

Dependiendo de la concentración y de la temperatura del electrolito, éste tendrá una resistividad que disminuirá en forma inversamente proporcional a estos factores.

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 ésta, del modo de distribución y conexión de sus poros, de la interacción matriz-agua, de la textura de la roca, tamaño de grano, etc.

Como son tantos y tan diversos los factores que influyen en la resistividad de la roca 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 de terreno de un estudio geoelectrico es posible identificar a las rocas por su resistividad conjuntando su estudio geofísico con información geológica.

Los márgenes de variación más usuales para la resistividad de las rocas y minerales más comunes se encuentran en la figura (III-1).

III.3.- ECUACIONES FUNDAMENTALES.

Como en la Prospección Eléctrica la corriente continua empleada no recorre conductores lineales como hilos ó 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.

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

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

$$\nabla \times \vec{E} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

Donde la ecuación (3.3) señala que el campo eléctrico E es conservativo y proveniente de un potencial escalar U.

$$\vec{E} = - \nabla U \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

2.- La Ley de Ohm:

$$\vec{J} = \frac{1}{\rho} \vec{E} \quad \dots \dots \dots (3.6)$$

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

3.- Ecuación de Continuidad.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.7)$$

para un campo estacionario queda reducida a

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.8)$$

combinando 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:

$$-\sigma \nabla^2 U + \vec{E} \cdot \nabla \sigma = 0 \quad \dots \dots \dots (3.9)$$

es la ecuación general de la Prospección Eléctrica con corriente continua.

III.4.- TEORÍA DEL SONDOO ELÉCTRICO VERTICAL.

Solución de la Ecuación de Laplace para un Medio Homogéneo e Isótropo.

La forma más simple de estudio del problema directo en la Prospección Eléctrica es el de un medio homogéneo e isótropo semi-infinito formado por un semiespacio inferior de resistividad (ρ) que representa al subsuelo y un semiespacio superior de resistividad infinita que representa 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 ΔU , entre los puntos de medición M y N y las distancias interelectródicas.

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

$$I_A + I_B = 0 \dots \dots \dots (3.10)$$

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

$$\nabla^2 U = 0 \dots \dots \dots (3.11)$$

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

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial \bar{U}}{\partial r} \right) + \frac{1}{\sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left(\sin \theta \frac{\partial \bar{U}}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2 \bar{U}}{\partial \varphi^2} = 0 \dots \dots (3.12)$$

cuya solución para el caso de un subsuelo homogéneo e isótropo es:

$$U = \frac{\rho I}{2\pi r} \dots \dots \dots (3.13)$$

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

$$U = \frac{\rho I}{2\pi} \left[\frac{I_1}{r_1} + \frac{I_2}{r_2} + \dots + \frac{I_n}{r_n} \right] \dots \dots (3.14)$$

DISPOSITIVOS ELECTRODICOS.

Introducción.

Un dispositivo en general es un conjunto de cuatro electrodos, dos de ellos A y B por los que fluya 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 potencial) forman lo que se llama cuádrupolo fundamental.

Considerando lo anterior y haciendo uso de la ecuación (3.14) es factible establecer la ecuación que mide la resistividad con estos dispositivos de cuatro electrodos:

$$\rho = \left(\frac{V_M - V_N}{I} \right) \frac{\pi T}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} = K \frac{\Delta U}{I} \dots (3.15)$$

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

$$K = \frac{\pi T}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}} \dots (3.16)$$

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

El dispositivo Wenner es un arreglo simétrico que presenta distancias interelectródicas constantes, iguales entre sí (AM = MN = BN = a) fig. (III.2a).

En el caso Wenner el coeficiente del dispositivo queda:

$$K_w = 2\pi a \dots (3.17)$$

El dispositivo Schlumberger es un arreglo también dispuesto simétricamente respecto de un centro sobre una línea recta. Figura (III-2b).

Este dispositivo aunque irrealizable en la práctica, puede aproximarse para medir el gradiente del potencial eléctrico ó sea la intensidad de campo eléctrico. Esto se logra haciendo la distan-

cia 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:

$$K_0 = \frac{\tau s^3}{2b} \dots \dots \dots (3.15)$$

RESISTIVIDAD APARENTE.

Sabiendo que la fórmula (3.15) permite calcular la resistividad de un subsuelo homogéneo, se puede considerar ahora un medio heterogéneo realizando mediciones con el mismo dispositivo - electródico. En este caso la medida de la desviación de resistividad medida respecto de un subsuelo homogéneo a uno heterogéneo es la que se denomina resistividad aparente (ρ_a) y es la variable experimental que expresa los resultados de las mediciones -- hechos en los trabajos de campo de los sondeos eléctricos verticales.

De lo anterior se puede definir el Sondeo Eléctrico Vertical -- (SEV) como la serie de determinaciones de resistividad aparente -- efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación cre--- ciente entre electrodos de emisión y recepción, permaneciendo fi-- jos el rumbo y centro del dispositivo.

III.5.- PROBLEMA DIRECTO PARA MEDIO HORIZONTALMENTE ESTRATIFICADO

Introducción.

Para muchos fines la estructura del subsuelo puede repre-- sentarse aproximadamente por un medio constituido por una suce-- sión de capas uniformes y horizontales. Se considera que un me-- dio estratificado está compuesto por dos semiespacios; el prime-- ro de ellos de conductividad nula representa la atmósfera, el -- segundo que representa el terreno es un medio heterogéneo compues-- to de medios parciales homogéneos e isótropos de extensión late-- ral indefinida y cuyas superficies de separación son paralelas --

entre sí y el plano aire-tierra (fig. III-3).

Representación de medio Estratificado.

Para caracterizar a un medio estratificado sólo basta dar el espesor (E_i) y la resistividad (ρ_i) de cada medio parcial -- isótropo de índice (i), numerando de arriba hacia abajo se tendrán sucesivos medios parciales denominados cada uno capa geoelectrónica.

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

Un corte geoelectrónico representado en dos dimensiones presenta espesores de capas designados por: t_1, t_2, \dots, t_n -- las profundidades al techo de cada uno de ellos vendrán dadas por: h_1, h_2, \dots, h_{n-1} .

Las resistividades verdaderas de las diferentes capas se simbolizan por: $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$. La última capa se considera como de espesor muy grande.

Clasificación de Cortes Geoelectrónicos.

Los cortes geoelectrónicos 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 ó menores que en la capa suprayacente.

El sistema de notación más común es el siguiente:

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

$$\rho_1 > \rho_2 \quad \text{y} \quad \rho_2 > \rho_1$$

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

Tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$

Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$

Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$

Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

fig. (III-4)

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 $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ mientras que el tipo HK alude a $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4$ (fig. III-5)

En general un corte de n capas puede clasificarse en un corte de 2^{n-1} 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 y las profundidades en las abscisas se les llama Curvas de Resistividad Verdaderas -- (C.R.V.)

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. Y la ecuación de Laplace quedará reducida a:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.19)$$

Por el método de separación de variables, la solución general de esta ecuación se supone de la forma:

$$U = R(r) \cdot Z(z) \quad \dots \dots \dots (3.20)$$

sustituyendo (3.20) en (3.19) obtenemos:

$$\frac{1}{R(r)} \frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{R(r)r} \frac{dR(r)}{dr} + \frac{1}{Z(z)} \frac{d^2 Z}{dz^2} = 0 \quad \dots (3.21)$$

La solución de esta ecuación la obtendremos al resolver las siguientes dos ecuaciones:

$$\frac{1}{z(z)} \frac{d^2 Z}{dz^2} = \lambda^2 \quad \text{y} \quad \frac{1}{R(r)} \left(\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dR(r)}{dr} \right) = -\lambda^2 \quad (3.22)$$

donde λ es una constante arbitraria.

Las soluciones individuales de (3.22) son:

$$Z_1(z) = C_1 e^{-\lambda z} \quad ; \quad Z_2(z) = C_2 e^{\lambda z} \quad \text{y} \quad R(r) = C_3 J_0(\lambda r) \quad (3.23)$$

Cualquier combinación lineal de (3.23) nos dará la solución de la ecuación diferencial por ello la solución general queda de la forma:

$$U = \frac{\rho_0 I}{2\pi} \int \left\{ e^{-\lambda z} - A(\lambda) e^{-\lambda z} + B(\lambda) e^{\lambda z} \right\} J_0(\lambda r) d\lambda \quad (3.24)$$

A(λ) y B(λ) son funciones arbitrarias de λ .

Expresiones de la forma (3.24) son válidas en cada capa del medio estratificado y tendrán funciones A(λ) y B(λ) diferentes en cada capa.

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

$$U_i = \frac{\rho_0 I}{2\pi} \int \left\{ e^{-\lambda z} + A_i(\lambda) e^{-\lambda z} + B_i(\lambda) e^{\lambda z} \right\} J_0(\lambda r) d\lambda \quad ; \quad i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.25)$$

Las condiciones de frontera que rigen a las funciones A(λ) y B(λ) en la expresión de potencial eléctrico para el medio estratificado do son:

a) La resistencia del aire al flujo de la corriente eléctrica es infinita y no existirá componente de la densidad de corriente normal a la superficie $Z=0$

$$\left. \frac{\partial U_i^m}{\partial z_i} \right|_{z_i = 0} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.26)$$

Esta condición conduce a la ecuación:

$$A_i(\lambda) - B_i(\lambda) = 0 \quad \dots \dots \dots (3.27)$$

b) El valor del voltaje a profundidad infinita es cero, -- por tratarse de un potencial

$$\left. U_i^m \right|_{z_i = \infty} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.28)$$

Para que suceda (3.28) es necesario que:

$$B_n(\lambda) = 0 \quad \dots \dots \dots (3.29)$$

c) La componente vertical de la densidad de corriente en la interfase de las dos capas adyacentes cambia en forma continua

$$\frac{1}{\rho_i} \left(\frac{\partial U_i^m}{\partial z} \right)_{z = h_i} = \frac{1}{\rho_{i+1}} \left(\frac{\partial U_{i+1}^m}{\partial z} \right)_{z = h_i} \dots; i=0, 1, 2, \dots, N-1 \dots (3.30)$$

Esta condición de frontera conduce a la expresión:

$$\begin{aligned} -A_i(\lambda)e^{-\lambda h_i} + B_i(\lambda)e^{\lambda h_i} - A_{i+1}(\lambda)\rho_{i+1}^i e^{-\lambda h_i} - B_{i+1}(\lambda)\rho_{i+1}^i e^{-\lambda h_i} \\ = (1 - \rho_{i+1}^i) e^{-\lambda h_i} \dots \dots (3.31) \end{aligned}$$

d) El valor del voltaje en la interfase de dos capas adyacentes cambia en forma continua.

$$(U_i^n)_{z = h_i} = (U_{i+1}^n)_{z = h_i} \quad ; \quad i = 0, 1, 2, \dots, N-1 \dots (3.32)$$

De acuerdo a esta condición, las funciones $A_i(\lambda)$ y $B_i(\lambda)$ de la expresión (3.25) deben cumplir con:

$$A_i(\lambda)e^{-\lambda h_i} + B_i(\lambda)e^{\lambda h_i} - A_{i+1}(\lambda)e^{-\lambda h_i} - B_{i+1}(\lambda)e^{\lambda h_i} = 0 \dots (3.33)$$

Los resultados enumerados en cada condición de frontera pueden resumirse en el sistema de ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned}
 (\mu_1 + \nu_1) A_1 - \mu_1 A_2 - \nu_1 B_2 &= 0 \\
 (\nu_1 - \mu_1) A_1 + \rho_1 \mu_1 A_2 - \rho_1 \nu_1 B_2 &= (1 - \rho_1) \mu_1 \\
 \mu_1 A_2 + \nu_1 B_2 - \mu_2 A_2 - \nu_2 B_2 &= 0 \quad (3.34) \\
 -\mu_1 A_2 + \nu_1 B_2 + \rho_2 \mu_2 A_2 - \rho_2 \nu_2 B_2 &= (1 - \rho_2) \mu_2
 \end{aligned}$$

.....

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

donde: $\mu_i = e^{-\lambda h_i}$; $\nu_i = \frac{1}{\mu_i} = e^{\lambda h_i}$; $\rho_i = \frac{\beta_i}{\beta_{i+1}}$

El sistema de ecuaciones (3.34) 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 (3.25) reducirá sus términos al aplicar las condiciones de frontera y de acuerdo a la expresión (3.27), el potencial en la superficie del medio estratificado estará dada por:

$$U = \frac{\rho_1 I}{2\pi r} \int_0^{\infty} [1 + 2A_1(\lambda)] J_0(\lambda r) d\lambda \dots (3.35)$$

donde ρ_1 es 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".

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 (3.34) para función denominada "Kernel de Stefanescu" ($A(\lambda)$).

De la expresión (3.35) se puede obtener:

$$N(\lambda) = 1.2 A(\lambda) \dots \dots \dots (3.36)$$

donde: $N(\lambda)$ 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 $A(\lambda)$ y $N(\lambda)$. Sin embargo existen otras fórmulas de recurrencia que permiten obtener las expresiones anteriores en forma más adecuada.

La fórmula debida 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:

$$N_i = \frac{N_{i+1} + p_i \tan h_i(\lambda t_i)}{p_i + N_{i+1} \tanh(\lambda t_i)} \dots \dots \dots (3.37)$$

en esta fórmula la función Kernel de la última capa es:

$$N_n = 1 \dots \dots \dots (3.38)$$

t_i es el espesor de la i -ésima capa.

Otra forma usada en la aplicación de la teoría de los filtros lineales es la función Transformada de resistividad $T(\lambda)$:

$$T(\lambda) = \rho_i N(\lambda) \dots \dots \dots (3.39)$$

PROPIEDADES DE LA FUNCION KERNEL.

Las propiedades de la función Kernel en su forma de Slichter $N(\lambda)$ se representan gráficamente cuando se toma a la expresión (3.36) como una gráfica logarítmica, con ejes cartesianos en escalas logarítmicas y con variable independiente igual a la inversa de λ .

Las propiedades se establecen como sigue:

a) Asíntotas Horizontales.

La función kernel se comporta asíntoticamente para valores grandes y pequeños de (λ^{-1}) (fig. III.6.); es decir cuando $\lambda^{-1} \rightarrow 0$

$$N_n(\lambda^{-1}) \rightarrow \rho_1$$

cuando $\lambda^{-1} \rightarrow \infty$

$$N_n(\lambda^{-1}) \rightarrow \rho_n$$

b) Asíntotas oblicuas.

La función kernel tiene un comportamiento especial cuando la resistividad de la última capa de un medio estratificado es nula ó infinita. figuras (III.6a y III.6b).

Si N es nula, se tiene que para valores grandes de λ^{-1} la función $N(\lambda^{-1})$ se transforma en una recta de pendiente -1 , que corta el eje de las abscisas en el punto $T = \lambda^{-1} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i/\rho_i$

Ahora si $\rho_n \rightarrow \infty$ y además λ^{-1} tiene valores grandes, la función $N(\lambda^{-1})$ es una recta de pendiente $+1$, que corta el eje de las abscisas en el punto $S = \lambda^{-1} = \sum_{i=1}^{n-1} t_i/\rho_i$

c) Principio de Equivalencia:

La función kernel cumple con el principio de equivalencia que indica que medios geoelectricos diferentes pueden originar funciones de Slichter muy semejantes entre si (fig. III.6b)

FUNCION DE RESISTIVIDAD APARENTE.

Ahora que ya es conocida la expresi3n para el potencial en superficie de un medio estratificado, la soluci3n del problema ' directo puede plantearse tambi3n de la siguiente manera: dado un corte geoelectrico estratificado determinar la funci3n y la curva de resistividad aparente que se obtendr3a sobre 3l con un dispositivo electr3dico determinado.

La expresi3n de resistividad aparente para el dispositivo Schlumberger queda de la forma:

$$\rho_{as} = - \frac{2\pi s^2}{I} \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right) \dots \dots \dots (3.40)$$

Sustituyendo en (3.36) la expresi3n de potencial se obtiene otra expresi3n que derivada queda:

$$\rho_{as} = \rho_1 \left\{ 1 + 2 s^2 \int_0^{\infty} \theta(\lambda) J_0(\lambda s) \lambda d\lambda \right\} \dots \dots (3.41)$$

La funci3n de resistividad aparente en t3rminos de la transformada es de la forma:

$$\rho_{as} = s^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_0(\lambda s) \lambda d\lambda \dots \dots (3.42)$$

La expresi3n de resistividad aparente para el dispositivo Wenner es la siguiente:

$$\rho_{aw} = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \dots \dots \dots (3.43)$$

La diferencia de potencial ΔV entre M y N, situados a las distancias a y 2a de los dos electrodos de corriente esta dada por:

$$\Delta V = 2 [V(a) - V(2a)] \dots \dots (3.44)$$

Por lo tanto sustituyendo la expresi3n de potencial en (3.40) se tiene:

$$\rho_{aw} = \rho_1 \left\{ 1 + 4a \int_0^{\infty} \theta(\lambda) [J_0(\lambda a) - J_0(2\lambda a)] d\lambda \dots \dots (3.45) \right.$$

Por transformada de resistividad la expresión de resistividad aparente es

$$\rho_{aw} = 2a \int_0^{\infty} \frac{1}{\lambda} \left[\rho_1 + \lambda \rho_2 + \rho_0 (2\lambda c)^2 \right] d\lambda \quad (3.46)$$

PROPIEDADES DE LA FUNCIÓN DE RESISTIVIDAD APARENTE.

La función de resistividad aparente posee ciertas propiedades que se conservan con mayor simplicidad en el caso del dispositivo Schlumberger, estas propiedades se presentan en los siguientes incisos:

a) Continuidad.

La expresión (3.42) tiene valores finitos que le dan característica de función acotada y además por ser producto de las funciones continuas $\rho(\lambda)$ y $\frac{1}{\lambda}$ es también en su conjunto una función continua.

b) Asíntotas Horizontales.

La función de resistividad aparente posee un comportamiento asintótico para las distancias $(AB/2)$ y $(AB/3)$ de los dispositivos Schlumberger y Wenner, para valores pequeños se acerca a la resistividad de la primera capa (ρ_1) y para valores grandes al valor ρ_0 . (Fig. 3.7a)

c) Asíntotas Oblicuas.

La función de resistividad aparente muestra asíntotas oblicuas cuando la resistividad de un medio estratificado en su última capa es infinita $\rho_n \rightarrow \infty$. En el dispositivo Schlumberger la asíntota rectilínea de pendiente +1 corta al eje de las abscisas en el punto $S = a \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{\rho_i}$ y en el punto $a = 1.054 S$ para el dispositivo Wenner. (Fig. 3.7b)

RESISTIVIDAD EN OHMIO-CENTRO

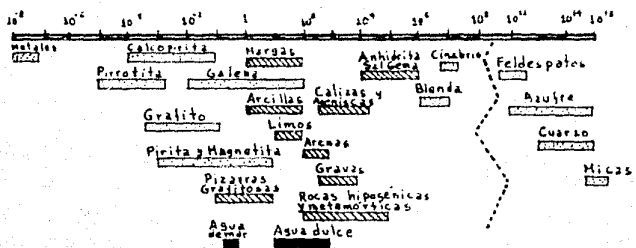


Fig. 3.1. Márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales.

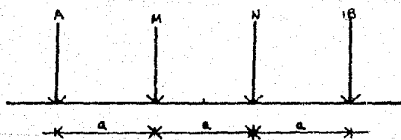


Fig. 3.2 a.- Dispositivo ELECTRODICO WENNER.



Fig. 3.2 b.- Dispositivo ELECTRODICO SCHLUMBERGER.

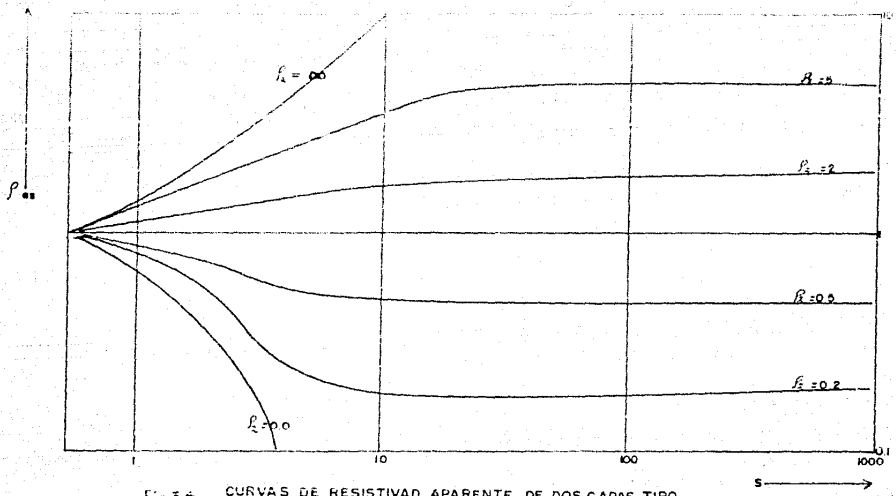


Fig. 3.4.- CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE DE DOS CAPAS TIPO ASCENDENTE ($\rho_1 < \rho_2$) TIPO DESCENDENTE ($\rho_1 > \rho_2$) DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

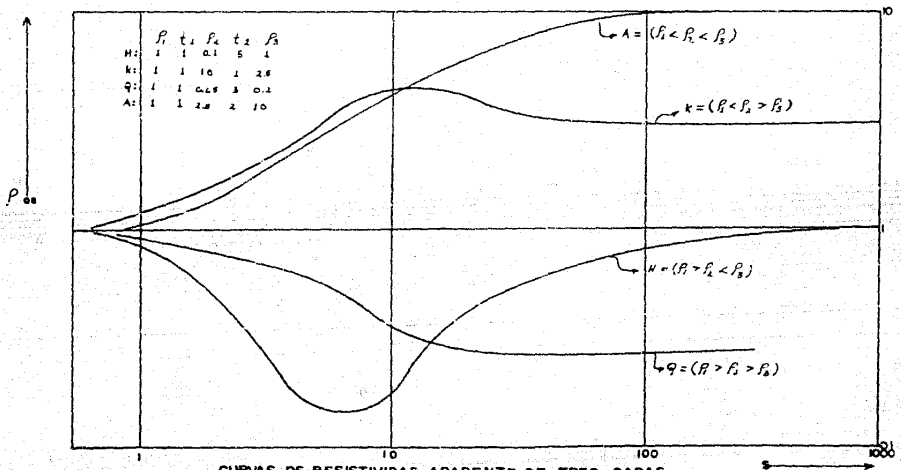


Fig. 3.4.- CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE DE TRES CAPAS DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

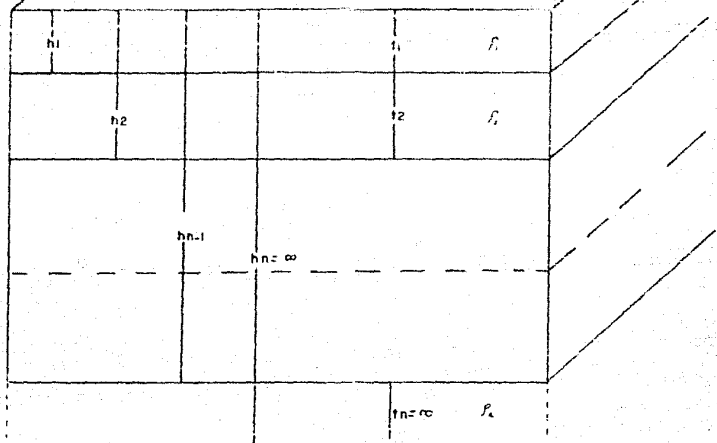


Fig. 3.3.- MODELO DEL MEDIO ESTRATIFICADO

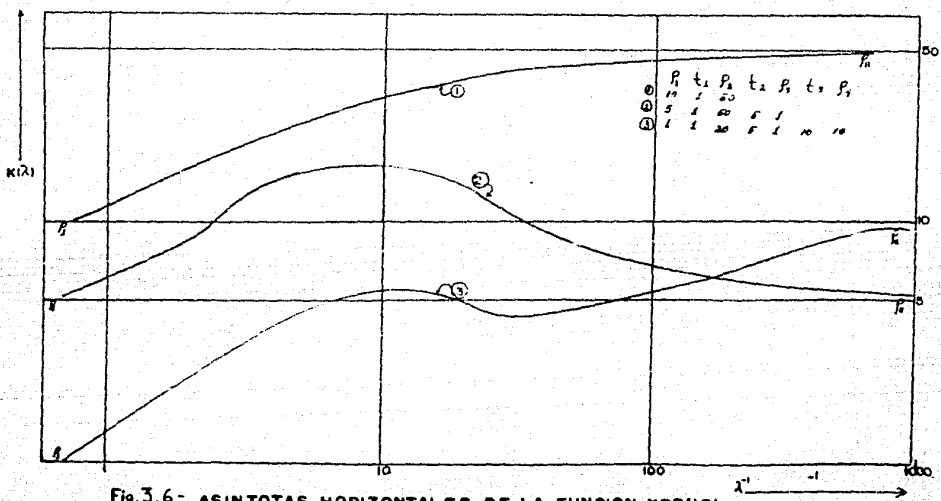


Fig. 3.6.- ASINTOTAS HORIZONTALES DE LA FUNCION KERNEL PARA MEDIOS DE DOS, TRES Y CUATRO CAPAS

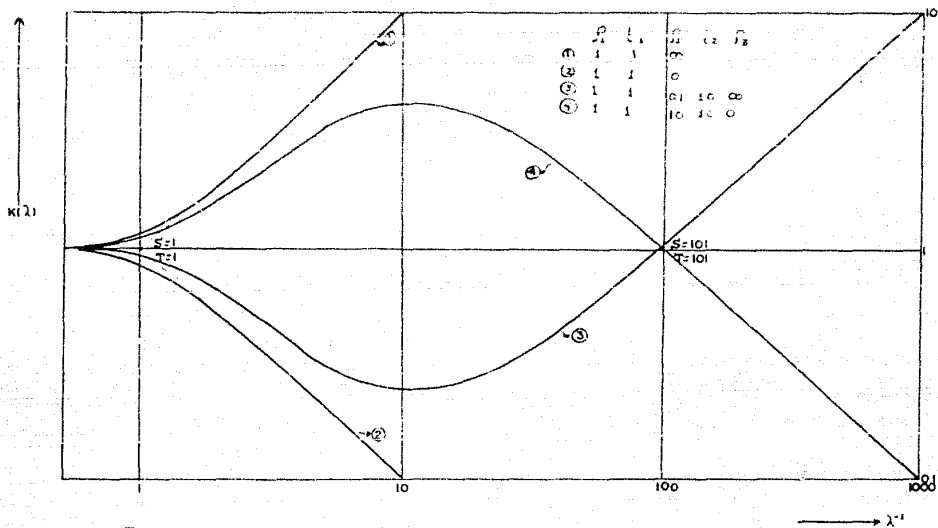


Fig. 3.6a. ASINTOTAS OBLICUAS DE LA FUNCION KERNEL PARA MEDIOS DE DOS Y TRES CAPAS

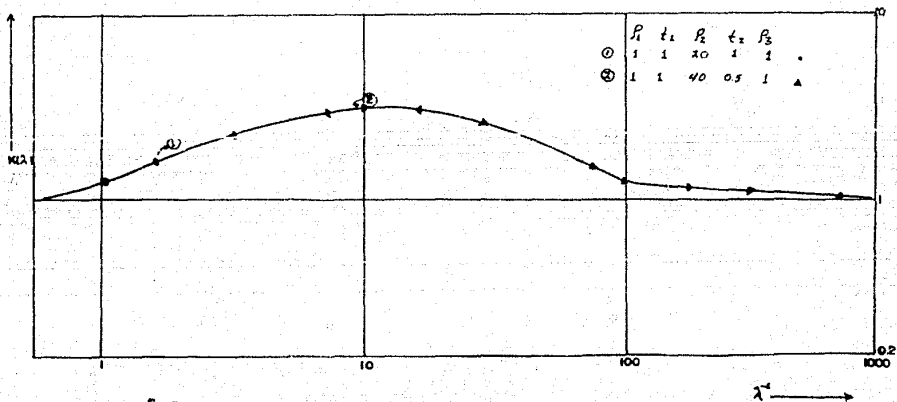


Fig. 3.6b. PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA EN FUNCIONES KERNEL DE TRES CAPAS

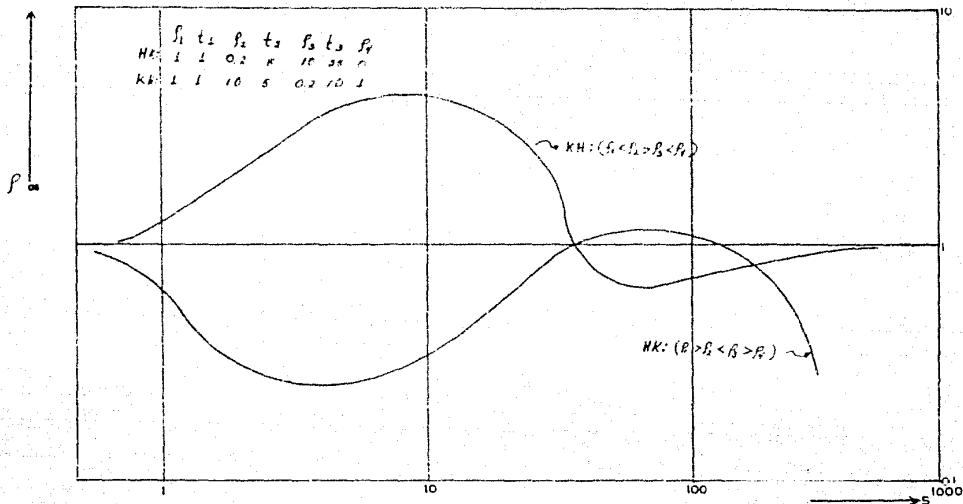


Fig.3.5.- CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE DE CUATRO CAPAS
DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

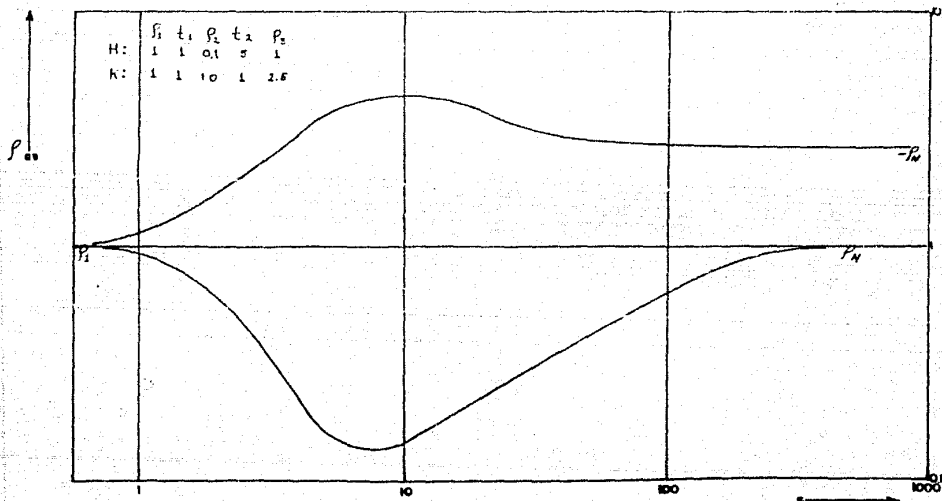


Fig.3.7a.- ASINTOTAS HORIZONTALES EN CURVAS DE RESISTIVIDAD
APARENTE, DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

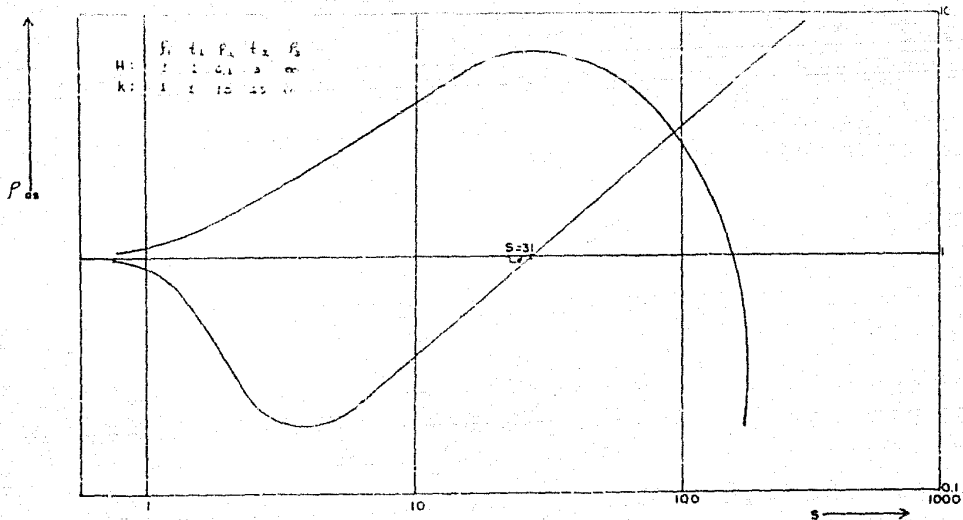


Fig.3.7b.-ASINTOTAS OBLICUAS EN CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE. DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

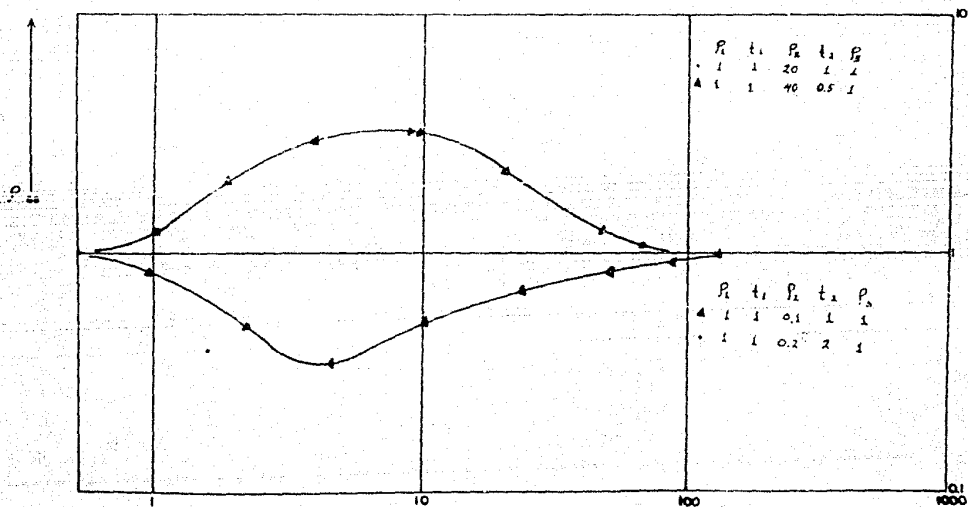


Fig.3.7c. PRINCIPIO DE EQUIVALENCIA EN CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE. DISPOSITIVO SCHLUMBERGER

d) Principio de Equivalencia.

La función de resistividad aparente cumple con el principio de equivalencia debido a que existen cortes geoelectrónicos diferentes entre sí que originan curvas de resistividad aparente muy similares. (fig.3.7c.)

III.6.- CALCULO NUMERICO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE.

En este subcapítulo se destaca la importancia de conocer los métodos de cálculo numérico de las curvas teóricas de resistividad aparente.

El interés por esto se debe principalmente a que el intérprete tiene que recurrir a la programación digital y al conocimiento de métodos de cálculo numérico de curvas de ρ_a , que le permitan interpretar más satisfactoriamente sus curvas de campo, las cuales son comparables con los modelos ideales de las colocaciones de curvas teóricas.

Por otro lado, la manera de comparación y verificación si el intérprete continuamente desea calcular las curvas de resistividad aparente correspondientes a sus datos de espesores y resistividades del medio estratificado que tiene presente y compararlo 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 se ve, 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:

- Métodos de expansión en series de la función Kernel.
- Métodos de Filtro de Lineal.

MÉTODOS DE EXPANSIÓN EN SERIES DE LA FUNCIÓN KERNEL

El cálculo numérico 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:

$$A(\lambda) \approx \sum_{n=1}^M Q(n) e^{-2n\lambda} \quad (3.47)$$

El resultado expresado en (3.43) es empleado junto con la integral de Weber-Schmitt:

$$\int_0^{\infty} \lambda^m e^{-a\lambda} J_m(\lambda r) d\lambda = \frac{(r)^m}{(a^2 + r^2)^{m+1/2}}; \quad m=0,1 \quad (3.48)$$

Usando (3.43) y (3.44) se transforman las expresiones de resistividad aparente obtenidas de antecesor:

$$\rho_{as}(s) = \rho_1 \left\{ 1 + z \sum_{n=1}^M Q(n) \frac{1}{(1 + \frac{4n^2}{s^2})} \right\} \quad (3.49)$$

};

$$\rho_{aw}(a) = \rho_1 \left\{ 1 + z \sum_{n=1}^M Q(n) \left[\frac{z}{(1 + \frac{4n^2}{a^2})} - \frac{1}{(1 + \frac{4n^2}{a^2})^2} \right] \right\} \quad (3.50)$$

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

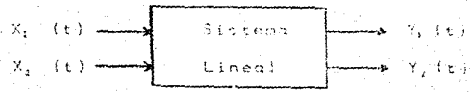
- Método de Orellana y Mooney.
- Método de Van Dam.

Entre las desventajas más significativas que presentan estos 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 en curvas yase no existe un criterio adecuado que permita detener automáticamente el proceso en el momento óptimo, ocasionando un tiempo de cálculo excesivo.

MÉTODOS 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 son ecuaciones lineales, es decir las funciones de resistividad aparente y transformada de resistividad pertenecen a un sistema lineal. De la forma esquemática de sistema lineal:



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

$$Y(t) = H[X(t)] \quad (3.51)$$

En este caso se identifican los términos del sistema lineal considerando como señal de entrada a la función transformada de resistividad $T(\omega)$, 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:

$$Y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(\tau) \cdot h(t-\tau) d\tau \quad (3.52)$$

donde $h(t)$ es la función característica ó función filtro.

Expresando 3.41 y 3.43 en términos de f_a y $T(\lambda)$ y efectuando cambios de variables, podemos escribir los integrales de convolución para los dispositivos Wenner y Schlumberger de la siguiente forma:

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

$$\text{donde } h_s(x) = J_1(e^x)e^{2x} \dots \dots \dots (3.53)$$

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

$$\text{donde } h_w(x) = 2 [J_0(e^x) - J_0(e^{2x})] e^x \dots \dots \dots (3.54)$$

$h_s(x)$ y $h_w(x)$ son las funciones filtro inverso de resistividad. Realizando las conversiones adecuadas en (3.53) y (3.54) se llega a la expresión discreta de estas funciones, así como a su manejo en la computadora digital.

Las expresiones para los dispositivos estudiados quedan:

$$\rho_{as} = \sum_j h_{sj} T(y_0 + j\Delta y) \dots \dots \dots (3.55)$$

$$\rho_{aw} = \sum_j h_{wj} T(y_0 + j\Delta y) \dots \dots \dots (3.56)$$

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

Diversos autores como Ghosh (1971), O'Neill (1975), Anderson --- Johansen (1975), Mansinha (1984), Searg (1979), etc., han determinado valores muestreados ó 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.

Existen filtros lineales diseñados para el cálculo de la resistividad aparente con dispositivos tipo Schlumberger ó tipo Wenner. Las ventajas más significativas aportadas por el método de filtrado lineal digital son las siguientes:

- Permiten la elaboración de filtros lineales inversos de, coeficientes, empleados en el cálculo de curvas teóricas de resistividad aparente para medios estratificados de dos, tres, cuatro ó más capas.

- Otra ventaja del método es que permite el diseño de filtros inversos largos, de intervalos 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 de las relaciones de espesores t_1/t_2 .

- El tiempo empleado en el cálculo de curvas de resistividad aparente de dos, tres y cuatro capas por los filtros lineales de pocos coeficientes varía entre 0,1 y 217 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.

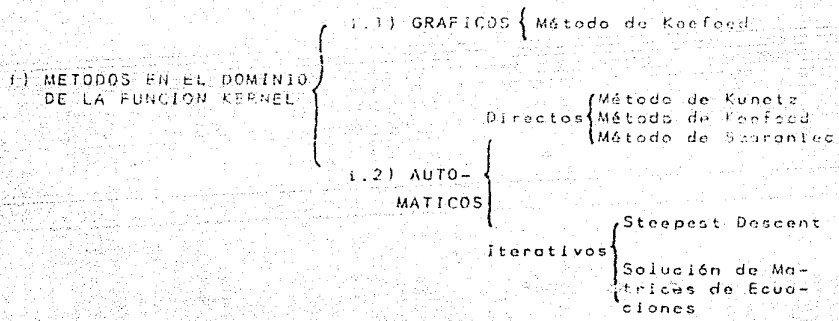
III.7.- PROBLEMA INVERSO EN LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

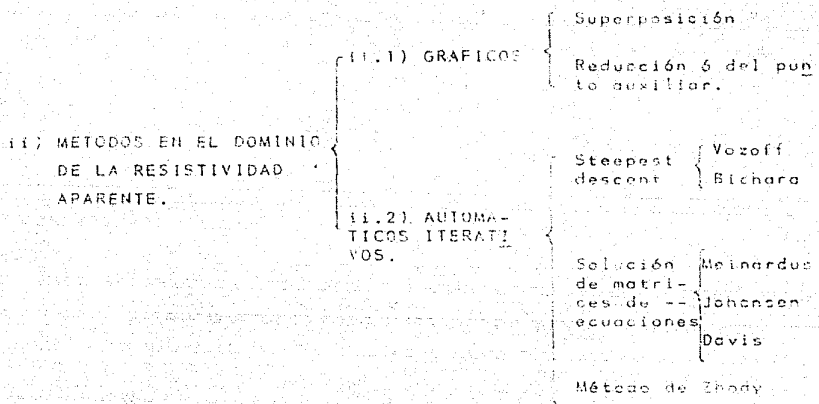
Se define al problema inverso en los sondeos eléctricos verticales como la determinación de los espesores y resistividades de las capas que forman el subsuelo a partir de la curva de resistividad aparente medida en el trabajo de campo.

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 de corte geoelectrico obtenida.

El intérprete profesional 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:





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

MÉTODOS GRAFICOS.

- Método de Superposición.

Este método consiste en comparar la curva de resistividad aparente obtenida en campo que se desea interpretar con las curvas teóricas de resistividad aparente de un álbun, hasta encontrar una de éstas 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 geoelectrico para la curva de campo a partir de las 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 la coincidencia perfecta entre la curva 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 la curva de campo, donde los espesores y resistividades obtenidos podrán presentar variaciones dependiendo de la forma en que cada interpretador mueva sus dígramas.

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

Las desventajas más importantes del método son:

a) Aún para el interpretador experimentado puede ser tardado -- lograr localizar una curva teórica que coincida aceptablemente 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.

-Métodos de Reducción.

El método de reducción ó 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 combinados teóricamente para formar una sola capa ficticia homogénea e isotrópica. Este procedimiento requiere del uso de curvas auxiliares junto con las colecciones de curvas teóricas de dos y tres capas y es conocido también con el nombre de método del 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.

MÉTODOS AUTOMÁTICOS ITERATIVOS.

Con el advenimiento de los computadores digitales, se salvaron 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 sucesivas las diferencias entre ambas curvas se van reduciendo sucesivamente. El proceso se repite hasta lograr un acuerdo suficiente entre los datos del modelo y los datos de campo.

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

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

Este método parte de la idea de aprovechar la característica de similitud y cercanía que existe entre las curvas de resistividad aparente y sus correspondientes curvas de Dar Zarrouk. En base a esta característica el método de interpretación automática de Zhody consistió en encontrar una curva modificada de Dar Zarrouk (de las cuales las curvas de Dar Zarrouk son casos particulares) que es muy similar y cercana a la curva de resistividad aparente observada y cuya interpretación da por resultado un medio estereotipado 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 las siguientes etapas:

- 1) El método requiere sólo 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 $\Delta x = 1/8 \ln(10)$, 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, considerando en la etapa anterior.
- 3) Interpretación de la curva modificada de Dar Zarrouk, obteniendo ρ_1, t_1 . 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 (----- 9999999).
- 4) Cálculo de la curva transformada de resistividades, usando el medio estratificado obtenido en el paso anterior y empleando la fórmula de recurrencia de Lima Lobato se calculan los puntos de ésta curva.
- 5) Obtención de la curva de resistividad aparente calculada (ρ_{ac}). Realizando la convolución discreta de los puntos digitalizados de la curva de transformada de resistividades con los coeficientes de un filtro lineal inverso, se obtiene una ρ_{ac} . El filtro lineal inverso debe tener un intervalo de muestreo $\Delta x = 1/8 \ln(10)$, para que los espacios de los puntos de resistividad aparente observados y calculados 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 por ciento, 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 in--

terpretada, 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 Dar Zarrouk adecuada, utilizando las diferencias entre los valores de β_a observada y β_a calculada. La nueva curva modificada de Dar 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 si la suma de los errores cuadráticos 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 digitizados en la curva de resistividad aparente observada, constituyendo la que se denomina "solución detallada", en ésta es común que haya capas muy delgadas que tengan casi la misma resistividad, por lo cual se eliminan capas con resistividades parcidamente distintas a ellas por tener un número de puntos digitizados. 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, de tal forma que el modelo reducido y el modelo detallado sean eléctricamente equivalentes. El número de capas es reducido calculando la correspondiente curva de Dar Zarrouk del modelo detallado, la cual se suaviza numéricamente y finalmente se interpreta para obtener la solución reducida.

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

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

Si la curva de ρ aparente observada está distorsionada, la curvatura de ciertos segmentos no puede ser aproximada por medio de una de resistividad aparente calculada para un medio horizontalmente estratificado ideal. Es decir que la curva de campo está afectada por heterogeneidades laterales, errores de medición ó de digitización.

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 Zbody no requiere 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 extrapole 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 por el valor mínimo de error cuadrático. En este caso, se considera a la curva de ρ calculada con el medio estratificado detallado como la versión suavizada de la curva distorsionada, lo cual además se calcula para un espaciamiento de electrodos igual a un décimo de espaciamiento mínimo, para así completar la rama derecha de la curva. Esta curva suavizada y completa es re-

interpretada usando el proceso iterativo descrito, el cual puede proporcionar una solución más adecuada del problema interpretativo.

El método automático de Zhdy proporciona en ocasiones medias estratificadas que pueden contener capas innecesarias a juicio del interpretador, también realiza con limitada exactitud el cálculo de las curvas de f_a por convolución con los filtros inversos usados en el programa original. Es por esto que el método original de Zhdy fue modificado en su concepción original, incluyendo filtros lineales más eficientes en sustitución de los filtros de Ghosh usados originalmente.

La ventaja de sustituir los filtros originales publicados por Ghosh (1971b) 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 Zhdy - recomendablemente los de intervalo de muestreo $\Delta x = 1/5 \ln(10)$ - representa una importante disminución en el tiempo de procesamiento en la interpretación automática de curvas de resistividad aparente, generadas por modelos estratificados con contrastes muy severos de resistividad.

- Método de solución de matrices de ecuaciones.

Este método usado para la interpretación de sondeos resistivos, siguiendo al grupo de los métodos automáticos, el método usado fue el de solución de matrices de ecuaciones. Este método minimiza el error entre los valores de f_a calculados y los observados en campo, modificando los parámetros del corte geoelectrico a través de la técnica de mínimos cuadrados.

El algoritmo de mínimos cuadrados utilizado en este método es el propuesto inicialmente por Marquardt (1963), el cual puede ser modificado para aplicarse junto con la ecuación de la función de resistividad aparente para el dispositivo Schlumberger, en la diferencia entre ($\rho_a \text{ obs} - \rho_a \text{ cal}$) del algoritmo de este método.

A partir de las modificaciones al algoritmo realizadas por Johansen (1977) y Davis (1979) se obtuvo la modificación de A. Tejero, León Sánchez y González B. (Esc. Ing. UNAM), la cual presenta el proceso de minimización de error de la siguiente manera:

$$\sum_{i=1}^n \frac{(\rho_a \text{ obs}_i - \rho_a \text{ cal}_i)^2}{\rho_a \text{ obs}_i^2} + \sum_{k=1}^m \frac{\partial \rho_a \text{ cal}_i}{\partial P_k} \Delta P_k - \frac{\rho_a \text{ obs}_i - \rho_a \text{ cal}_i}{\rho_a \text{ obs}_i} + X_k \ln P_k$$

En esta ecuación i es el punto de observación, P_k es la variable que se refiere a cualquiera de los conductores del corte (k , β_k) y ΔP_k es el factor de corrección.

La conveniencia de usar la anterior ecuación se basa en el proceso de minimización de alta convergencia, que evita los límites entre parámetros negativos del corte geoelectrico. La ecuación puede ser en variables logarítmicas tanto los resistividades aparentes como los parámetros del corte, lo que permite estudiar el problema de equivalencia al convertirlo en un problema lineal.

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

III.8.- EQUIPO EMPLEADO.

La realización en el terreno de los sondeos eléctricos verticales requiere del empleo de un equipo básico para mediciones de resistividad, consistente de un transmisor, un receptor, cables y electrodos.

A continuación se describen los dos circuitos básicos creados en los estudios de campo así como el equipo que en ellos interviene:

a) Circuito de emisión de corriente.

Este circuito tiene como finalidad hacer circular por el subsuelo una corriente eléctrica de intensidad constante que es introducida a través de electrodos de corriente A y B, el equipo para formar este circuito consta de:

- Un transmisor formado de una fuente de poder y una consola electrónica. Un motor-generador de 2.5 KW está provisto como fuente de poder para el transmisor Scintrex IPC-7; sus especificaciones

Características de control

Corriente máxima: 10 amperes

Voltaje máximo: switch seleccionable hasta 1210 volts D.C.

Período automático

de señal: T : T : T : T ; ON : OFF : ON : OFF

Cambio automático

de polarización: 2T

Duración del pulso: standard: T = 2,4 ó 8 segundos

opcional: T = 1,2 ó 4 segundos

opcional: T = 4,8 ó 16 segundos

Medidor de voltaje: 1500 volts máximos en escala logarítmica

Medidor de corriente: standard: 10.0 amperes máximos en escala logarítmica.

opcional: 0.3, 1.0, 3.0 ó 10.0 amperes como máximo.

Dimensiones : 280 mm X 460 mm X 310 mm.
 Corrientes de ensayo: con control integrado
 Rango de temperatura: de -30°C a 55°C
 Peso : 30 lbs.

Motor generador de corriente.
 Poder máximo de salida: 2.8 KW, de una fase
 Voltaje de salida: 110 volts, A.C.
 Frecuencia de salida: 400 Hz.
 Motor : 4 pistones, 8 hp. marca Briggs and Stratton
 Peso: 59 lbs.

- Electrodo de corriente ó tomas de tierra A y B de acero inoxidable, cuya longitud es de 1 metro y su diámetro de 2 cm.
- Cables y conectores necesarios. Como medios de comunicación se emplearan conexiones de teléfonos.

b) Circuito de medición de voltaje.

Este circuito se denomina de potencial, complementa el dispositivo en medición, midiendo entre dos electrodos M y N los valores de diferencia de potencial provocados por la corriente circulando en el subsuelo. Forman este circuito los siguientes instrumentos:

- Un receptor P-11A, las especificaciones son:

Impedancia de entrada : 3 mega-ohms.

Filtro de 50 y 60 Hz : determinado por el operador y el medio de trabajo.

Rango de voltaje primario : 30 micro-volts a 30 volts en 12 rangos.

Precisión de medida de V_p : $\pm 30\%$; 0.1% de resolución

V_s/V_p rango : 100 m V/y (100% total)

Vs/Vp precisión : \pm 3% y resolución 0.1 m V/V
Sp precisión : 1%
Sp resolución : 1 mV
Sp primario : \pm 1V
Circuito secundario de medida : 0 a 500 ohms.
Pantalla digital :

Sintonía de frecuencia entre transmisor y receptor.

Temperatura : LCD : -10°C a $+40^{\circ}\text{C}$
LED : -30°C a $+80^{\circ}\text{C}$

Dimensiones : 310 mm x 150 mm x 170 mm.

Peso : 3.6 kgs.

Pila de reserva : 10 celdas, con duración de 1 mes a trabajos
intermittentes.

- Electrodes de potencial M - N no polarizables.
- Cables y carreses accesorios.

III.9.- TRABAJOS REALIZADOS.

Para el presente estudio realizado en 1983 para la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDEUE) Aguascalientes, con el fin de determinar las características geoelectricas de la zona urbana de la ciudad; se programaron 40 SEV tipo Schlumberger distribuidos en 8 líneas alrededor de su periferia, abarcando -- las partes norte, oriente y poniente. La ubicación de las líneas se muestra en el plano #31.

Para las características y objetivos perseguidos por el estudio, se obtuvieron en cada sondeo eléctrico vertical 13 mediciones de resistividad aparente para distancias eléctricas AB/2 de: (10, 15, 20, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200, 300, 400 y 600 metros). A partir de la distancia AB/2 = 50m se modificó la distancia MN/2 de 2.5 a 10m con el fin de realizar un ensamble en las curvas de campo.

A continuación se describen cada una de las líneas de que constó el estudio geoelectrico de la zona urbana de Aguascalientes:

Línea A-A'.

Esta línea estuvo compuesta por los SEV. 1, 2 y 3, la línea fué orientada de W a E siguiendo el trayecto del 2do. anillo de circunvalación de la ciudad. Su longitud aproximada fué de 1600mts.

Línea B-B'.

Con una longitud de 5,500 mts. sobre la misma zona W de la ciudad, la línea B-B' estuvo formada de 7 SEV orientados de SE a NW.

Líneas C-C' y D-D'.

Estas líneas también estuvieron localizadas al W de la ciudad, ambas líneas estuvieron orientadas con rumbo SW-NE. La línea C-C' constó de 4 SEV con longitud de 2,850m, la línea D-D' constó de 7 SEV con longitud de 3,400m.

Línea E-E'.

Esta línea estuvo compuesta de 6 SEV y se localizó al N de la ciudad, orientándose de W a E con una longitud de 3,780m.

Líneas F-F' y G-G'.

Ambas líneas se localizaron al oriente de la ciudad teniendo un rumbo NW-SE.

La línea F-F' se efectuó sobre el 1er. anillo de circunvalación ote. de la ciudad, abarcando 10 SEV en 4,380 mts. La línea G-G' siguió el trazo del 2do. anillo de circunvalación desde la zona de Ojocaliente hasta la parte sur de la presa del Cedazo, su longitud fué de 5,930 metros abarcando 8 sondos. La distribución de las dos líneas es aproximadamente paralela una a la otra.

Línea H-H'.

Esta última línea estuvo compuesta únicamente de 2 SEV, su longitud fué de 600 metros y su orientación fué de N a S. La localización de la línea fué aproximadamente a 1 km. al NE del balneario Ojocaliente.

Después de haberse acabado la ejecución del anterior trabajo de campo, se pasó a la etapa de recopilación y elaboración de los datos obtenidos.

Contando en esta etapa con las hojas de campo conteniendo las observaciones de campo referentes al área de trabajo y a los SEV correspondientes, se realizó la verificación de los cálculos numéricos de los datos de campo. En este punto se procedió a comprobar los valores de resistividad aparente calculados en campo, tomando en cuenta las mediciones de corriente I (mA) para la separación creciente de los electrodos de corriente y las de diferencia de potencial V (mV) que aparecieron entre los electrodos de potencial. Se determinaron también los valores del coeficiente (K) para el dispositivo Schlumberger empleado.

La graficación de las curvas de resistividad aparente de campo se realizaron a partir de los datos de campo verificados. Las curvas se dibujaron sobre hojas de papel calco de 21.5 x 29 cm, las cuales se colocaron sobre papel bilogarítmico de tres pines y medio de 10×10 cm de escala logarítmica. Cada curva se graficó uniendo los valores de ρ_a de campo en el eje de las abscisas y mientras que en las ordenadas se graficaron los valores de AB/2. Los puntos que describen los valores de resistividad aparente de campo se unieron con segmentos y arcos. El trazo continuo de las curvas se logró deslizando verticalmente los trazos correspondientes a los diferentes valores de MN hasta lograr su coincidencia a una sola y constante corrección de salto de campo.

Terminada la graficación de las curvas de resistividad aparente de campo se continuó con la elaboración de pseudosecciones verticales de resistividad aparente, las cuales se obtuvieron para cada línea de sondeos, uniendo entre sí los puntos de resistividad aparente verificada para un valor determinado de MN para cada línea.

Estas pseudosecciones de iso-resistividad aparente se diseñaron conservando uniformes los intervalos iso- ρ_a de E.M.U. con el fin de que proporcionaran adecuados contrastes de resistividad aparente y que fueran utilizables como herramientas de campo para la interpretación.

Las pseudosecciones verticales de resistividad aparente elaboradas se presentan en los planos #3.2, 3.3, y 3.4.

III.10.- RESULTADOS OBTENIDOS.

Terminados los trabajos de campo y después de elaborar convenientemente los datos recogidos, vino la primera etapa de la interpretación de la información obtenida que consistió en la determinación de la distribución vertical de resistividades del subsuelo en los puntos de atribución de los SEV realizados. Para la obtención de la información geoelectrica del subsuelo en el área de estudio, se siguió el siguiente proceso interpretativo:

1.- Inicialmente se contó con las curvas de resistividad aparente en los datos recogidos y convenientemente graficadas, se emplearon los métodos analíticos de interpretación por superposición y reducción para la interpretación gráfica de los curvas de campo por el método de superposición, diagramas de punto de silla, etc. Analizando las colecciones de curvas teóricas del autor, de Van der Graaf y Wubbeny (1968), compuesto de 25 curvas de dos capas, 100 de tres capas y 480 de cuatro capas. Se discutió también el libro de El-waterstaat con 2268 curvas de tres capas que se publicaron por la EAEG (1969).

Como la solución de problemas de la interpretación de SEV no es única, el intérprete debe buscar entre las soluciones teóricas aquella que coincide más con los SEV contiguos y con otras curvas pertenecientes a las mismas, es por ello que la solución más adecuada gráfica debe ser considerada sólo como solución provisional.

2.- El paso siguiente fue el cálculo numérico de las curvas teóricas de resistividad aparente empleando una computadora digital. Los valores numéricos de las curvas teóricas fueron obtenidos empleando el filtro lineal digital de O'Neill (1975), que es un filtro de 20 coeficientes para un intervalo de muestreo $\Delta X = 1/6 \ln(10)$. El programa consiste en generar curvas de

resistividad aparente para medios estratificados de dos, tres y cuatro capas correspondientes a los casos interpretados por métodos gráficos, las tablas con los valores numéricos obtenidos con el programa son comparados con los valores tabulados de resistividad aparente verificada después de efectuar varios ensayos entre ambos valores, cumpliendo un margen de error, se establecen los contactos de resistividad y las relaciones de espesores correspondientes al medio estratificado que fué desarrollado. Este filtro está incorporado junto con otros en el programa FILF que requiere como datos de entrada el número de capas y los espesores y resistividades del medio estratificado, el valor mínimo (RMIN) a la distancia AD/2 a partir del cual se desean calcular valores de resistividad aparente, el número de valores de resistividad aparente equiespaciados (NA) que se desean obtener a partir del valor mínimo y el filtro lineal que se desea usar (Número M para Filtro de O'Neill). Como datos de salida, aparecen los valores numéricos de resistividad aparente junto con los valores del medio estratificado más adecuado a juicio del intérprete.

Aquí cabe señalar que el filtro de O'Neill utilizado permitió calcular con exactitud la curva teórica más adecuada y necesaria para continuar con la interpretación.

3o. Como frecuentemente ocurre no se encontraron en las colecciones de curvas teóricas los modelos ideales que permitieran la interpretación satisfactoria de nuestras curvas de campo, por ella fueron generadas curvas teóricas que determinaron los espesores y resistividades del medio estratificado de estudio, fué deseable entonces calcular nuevamente las curvas de resistividad correspondientes a las curvas teóricas generadas y compararlos con las curvas de campo originales para de esta manera verificar la calidad de la interpretación y si fuere necesario modificar los resultados obtenidos hasta que fueran satisfactorios.

Para complementar este fin se emplearon los programas de interpretación automática de Zhdoy modificado y el programa INVNOB de solución de matrices de ecuaciones, los cuales fueron capaces de obtener casi en todos los casos, mediciones estratificadas que generan curvas de resistividad aparente calculadas que se aproximan estrechamente a las curvas de resistividad aparente observadas, lo que nos entregó uno de las posibles soluciones al problema interpretativo. En la mayoría de los casos los medios estratificados interpretados por ambos programas coincidieron con los medios estratificados teóricos.

El programa de Zhdoy modificado requirió como datos de entrada los nombres del área de estudio y el número de sondeo, el espaciamiento de electrodos mínimo y máximo (ESPMIN y ESPMAX) y los valores sucesivos de los puntos digitalizados sobre la curva de resistividad aparente desde ESPMIN hasta ESPMAX, teniendo 6 puntos igualmente espaciados por cada escala logarítmica. El programa proporcionó como consecuencia de todo depender en los datos de salida de espesores, profundidades, resistividades del modelo reducido, desventaja que se solía tener para estos casos los resultados obtenidos del programa INVNOB, con los modelos FILTER y modelos iniciales.

El programa INVNOB al alimentado con los datos del medio estratificado obtenido inicialmente a partir de las curvas de resistividad aparente verificadas, se le proporcionaron al programa estos mismos valores de resistividad aparente para las separaciones de electrodos usados.

Los resultados obtenidos con este programa coincidieron en su mayoría con los resultados del programa FILTER, lo cual sirvió para reafirmar la buena aproximación lograda con la interpretación inicial. En los casos más difíciles, los modelos finales generados con este programa despejaron las dudas que en esos casos se tenían.

Para ejemplificar el anterior proceso de obtención de resultados geoelectrónicos, se muestran a partir de la siguiente hoja, las curvas de resistividad aparente interpretadas, correspondientes al área de estudio.

Después de los ejemplos se describe para cada una de las líneas de estudio la información geoelectrónica obtenida a partir de la interpretación cualitativa de las pseudosecciones de resistividad aparente, y de la interpretación cuantitativa realizada con los métodos de interpretación los citados anteriormente.

PLANCOS # 3.2, 3.3, 3.4

SONDEN NO.22

MODELO INICIAL		
CAPA	ESPESOR	RESISTIVIDAD
1	18.0000	16.000000
2	72.0000	10.800000
3	INFINITO	16.000000

CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTE TIPO SCHLUMBERGER

DISTANCIA ELECTRODICA	RESIS. APAREN. OBSERVADA	RESIS. APAREN. CALCULADA
10.0000	15.9000	15.8852
15.0000	15.7000	15.6599
20.0000	15.3000	15.3181
30.0000	14.5000	14.4582
40.0000	13.6000	13.6305
50.0000	13.0000	12.9847
70.0000	12.3000	12.2424
100.0000	12.0000	11.9675
150.0000	12.3000	12.3356
200.0000	12.9000	12.6241
300.0000	13.9000	13.9027
400.0000	14.5000	14.5255
500.0000	14.9000	14.9199

ERROR MEDIO CUADRATICO= 0.23134 EN %

SONDEN NO.22

MODELO INICIAL		
CAPA	ESPESOR	RESISTIVIDAD
1	18.0000	16.000000
2	72.0000	10.800000
3	INFINITO	16.000000

CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTE TIPO SCHLUMBERGER

DISTANCIA ELECTRODICA	RESIS. APAREN. OBSERVADA	RESIS. APAREN. CALCULADA
10.0000	15.9000	15.8852
15.0000	15.7000	15.6599
20.0000	15.3000	15.3181
30.0000	14.5000	14.4582
40.0000	13.6000	13.6305
50.0000	13.0000	12.9847
70.0000	12.3000	12.2424
100.0000	12.0000	11.9675
150.0000	12.3000	12.3356
200.0000	12.9000	12.6241
300.0000	13.9000	13.9027
400.0000	14.5000	14.5255
500.0000	14.9000	14.9199

ERROR MEDIO CUADRATICO= 0.23134 EN %

TIEMPO EMPLEADO EN EL PROCESO

Programa INYNOE mostrando resultados adecuados.

AGUITAS, URBANA. SEV. 27,

FELICIDADES RESOLUCION EXITOSA DEL PROBLEMA
 NUMERO DE PUNTOS EXCEDIENDO TOLERANCIA = 0

NUMERO TOTAL DE ITERACIONES = 1

SUMA DE ERRORES CUADRADOS = 0.00224

ESPESTORES	PROF.	RESISTIVIDAD
3.160	3.160	16.00
1.478	4.634	15.69
2.170	6.806	15.74
3.185	9.992	15.69
4.674	14.67	15.49
6.833	21.59	13.90
9.979	31.48	12.24
14.66	46.14	11.52
21.44	67.57	10.37
31.74	99.36	11.20
46.57	145.9	13.20
67.69	213.6	15.01
99.21	312.8	16.17
146.3	459.1	16.68
213.8	673.0	18.20
318.5	991.4	15.96
467.4	1459.	16.01
0.1000L+08	0.1000E+08	16.22

AB/2	SEV CALCULADO	SEV OBSERVADO
3.16000	15.96951	16.00000
4.63825	15.92670	15.90000
6.80801	15.84840	15.85000
9.99280	15.72056	15.80000
14.66742	15.49969	15.70000
21.52883	15.09640	15.10000
31.60001	14.43588	14.10000
46.38247	13.57268	13.20000
68.08015	12.72192	12.20000
99.92799	12.15817	11.90000
146.67422	12.08331	12.30000
215.28835	12.53875	13.10000
316.00009	13.34511	14.00000
463.82471	14.28035	14.80000
680.80157	15.15406	15.80000
999.28009	15.81896	15.85000
1466.74268	16.18305	15.90000
2152.88379	16.28360	16.00000

PROF. DZ	RESISTIVIDAD DZ	SUM T	SUM
3.16000	16.00000	50.56000	0.19750
4.63827	15.90009	73.74898	0.29171
6.80805	15.85009	107.90822	0.42953
9.99285	15.80008	157.88788	0.62346
14.66757	15.70015	230.28300	0.93423
21.53475	15.10415	325.26422	1.42575

Programa Zhody modificado.

31.60504	14.12962	447.46575	2.21114
97.54187	13.24251	610.19855	3.51382
68.40710	12.28659	838.57458	5.58034
100.27367	11.94110	1197.38440	8.39731
147.00868	12.32800	1812.33417	11.32474
215.60208	13.11913	2828.51860	16.43423
316.29431	14.01303	4432.24316	22.57144
464.10306	14.60886	6872.84766	31.33951
661.06236	15.00005	10764.90723	43.08871
999.54010	15.85412	15846.85203	63.04606
1467.00163	15.90281	23320.45117	92.24770
10001466.00000	16.215661621	82368.00000	616770.62500

PROF. DZ REDUCIDA	RESISTIVIDAD DZ REDUCIDA
16.55698	15.72299
121.01671	12.20605
100000000.00000	16.21592

ESPEORES REDUCIDOS	PROF. REDUCIDA	RESISTIVIDAD REDUCIDA
16.55698	16.55698	15.72299
103.63377	120.39075	11.71813
99999872.00000	99999992.00000	16.21592

AL/2	SEV CALCULADO	SEV OBSERVADO
3.16000	15.71916	16.00000
4.63825	15.71100	15.90000
6.80801	15.68646	15.85000
9.99280	15.61509	15.80000
14.66742	15.42607	15.70000
21.52883	15.00275	15.10000
31.60001	14.27363	14.10000
46.38247	13.39726	13.20000
68.08015	12.70036	12.20000
99.92799	12.38872	11.90000
146.67474	12.50537	12.30000
215.28835	13.03693	13.10000
316.00009	13.84614	14.00000
463.62471	14.66716	14.80000
660.60157	15.30641	15.80000
999.26009	15.72435	15.85000
1466.74268	15.96601	15.90000
2152.68379	16.05393	16.00000

En este caso el programa #hody muestra resultados adecuados y concordantes con los demás programas.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

Modelo teórico generado a través del programa FILTER

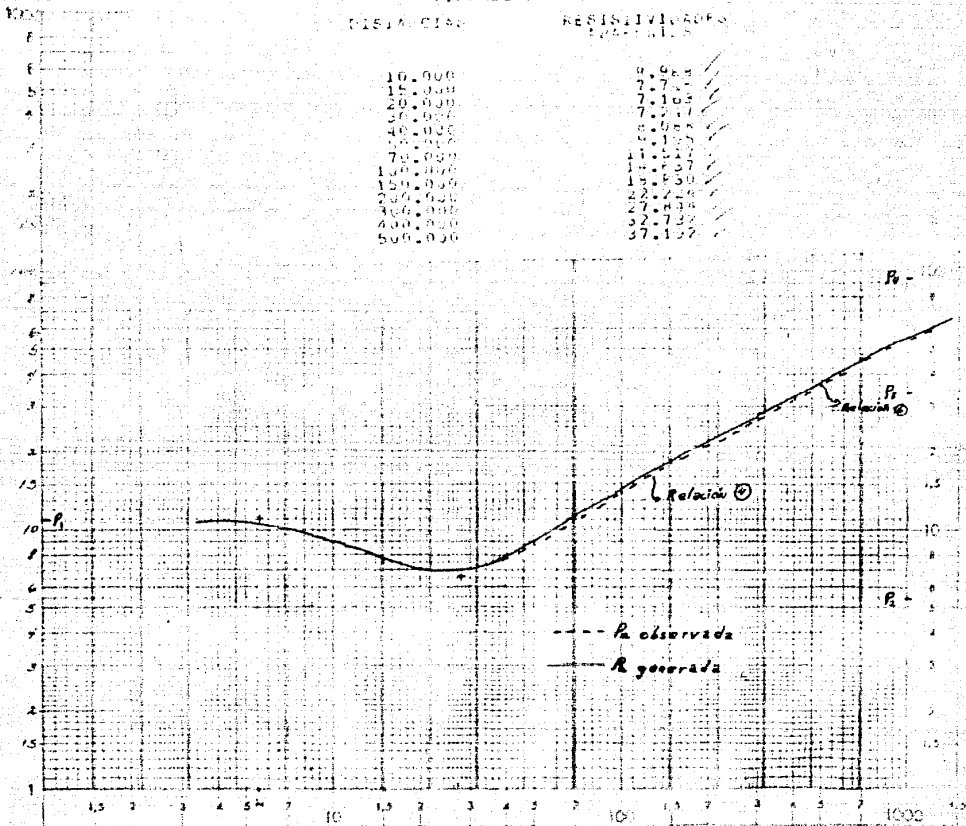
PARA EL TUBO DE CEMENTO PULVERIZADO DE TIPO
CAFA PROFUNDIDAD RESISTIVIDAD CONP. REFLECT.

Sondeo	Nº 34	1	5.50000	11.000	-0.3533334
Operador		2	22.00000	5.500	0.7151850
Fecha		3	103.00000	33.000	0.4675000
Método de Interpretación		4	173.111	73.000	

GRÁFICO ESTIPEADO A FILTROS DE CEMENTO PULVERIZADO DE TIPO CAFA
CURVA DE RESISTIVIDADES NOMINALES
1100 SCH. 10000000

DISTANCIAS RESISTIVIDADES

10.000	0.665
15.000	7.750
20.000	7.100
30.000	7.500
40.000	8.000
50.000	6.100
70.000	11.100
100.000	14.500
150.000	15.500
200.000	22.400
300.000	27.400
400.000	32.700
500.000	37.100



SONDEO N034

MODELO INICIAL

CAPA	ESPESOR	RESISTIVIDAD
1	5.5000	11.000000
2	22.0000	5.500000
3	123.0000	34.000000
4	INFINITO	91.000000

CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTE TIPO SCHLUMBERGER

DISTANCIA ELECTRODICA	RESIS. APAREN. OBSERVADA	RESIS. APAREN. CALCULADA
10.0000	9.0000	8.9885
15.0000	7.7000	7.7466
20.0000	7.2000	7.1630
30.0000	7.3000	7.2468
40.0000	8.0000	8.0878
50.0000	9.2000	9.1945
70.0000	11.5000	11.5167
100.0000	14.8000	14.8370
150.0000	18.8000	18.8294
200.0000	22.2000	22.2239
300.0000	27.9000	27.8436
400.0000	32.7000	32.7320
500.0000	37.2000	37.1918

ERROK MEDIO CUADRATICO= 0.4436 EN %

TIEMPO EMPLEADO EN EL PROCESO= 11.30469

SONDEO N034

MODELO INICIAL

CAPA	ESPESOR	RESISTIVIDAD
1	5.5000	11.000000
2	22.0000	5.500000
3	123.0000	34.000000
4	INFINITO	91.000000

CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTE TIPO SCHLUMBERGER

DISTANCIA ELECTRODICA	RESIS. APAREN. OBSERVADA	RESIS. APAREN. CALCULADA
10.0000	9.0000	8.9885
15.0000	7.7000	7.7466
20.0000	7.2000	7.1630
30.0000	7.3000	7.2468
40.0000	8.0000	8.0878
50.0000	9.2000	9.1945
70.0000	11.5000	11.5167
100.0000	14.8000	14.8370
150.0000	18.8000	18.8294
200.0000	22.2000	22.2239
300.0000	27.9000	27.8436
400.0000	32.7000	32.7320
500.0000	37.2000	37.1918

ERROK MEDIO CUADRATICO= 0.4436 EN %

Programa INVIVOS mostrando resultados adecuados.

FELICIDADES ... RESOLUCION EXITOSA DEL PROBLEMA
 NUMERO DE FOLIOS RESOLUIDOS POR FOLIO DE PLAN = 1.00

NUMERO TOTAL DE FOLIOS RESOLUIDOS = 5

SUMA DE FOLIOS OBSERVADOS = 11.0000

FOLIOS RESOLUIDOS	FOLIOS	FOLIOS OBSERVADOS
3.160	1.160	11.160
1.470	4.636	11.470
2.073	5.719	7.123
3.026	9.736	5.944
4.371	14.11	5.559
6.827	20.93	6.845
7.765	30.69	7.311
11.73	42.53	10.16
12.20	43.26	11.20
20.17	73.45	20.66
37.14	137.3	37.69
47.42	171.7	47.94
87.10	290.9	87.10
117.9	378.9	117.9
122.1	433.2	122.1
278.6	802.9	278.6
328.4	1127.	328.4
0.1000000	0.1000000	110.0

FOLIOS	SUMA FOLIOS RESOLUIDOS	SUMAS OBSERVADO
3.160000	11.000000	11.000000
1.470000	12.470000	12.470000
2.073000	14.543000	14.543000
3.026000	17.569000	17.569000
4.371000	21.940000	21.940000
6.827000	28.767000	28.767000
7.765000	36.532000	36.532000
11.730000	48.262000	48.262000
12.200000	60.462000	60.462000
20.170000	80.632000	80.632000
37.140000	117.772000	117.772000
47.420000	165.192000	165.192000
87.100000	252.292000	252.292000
117.900000	370.192000	370.192000
122.100000	492.292000	492.292000
278.600000	770.892000	770.892000
328.400000	1100.292000	1100.292000

FOLIOS RESOLUIDOS	FOLIOS	FOLIOS OBSERVADOS
3.160000	11.000000	11.000000
4.63825	15.63825	15.63825
6.768-1	22.33574	22.33574
10.16255	32.50029	32.50029
456789012345678901234567890123456789012345678901234		
21.70017	34.20034	34.20034

Programa Zbody modificado.

Sección A-A'.

La sección A-A' formada por los sondeos 1, 2 y 3 se localiza al sur de la zona urbana con orientación E-W sobre la zona más baja del valle con una longitud de 1570m y un rumbo $585^{\circ}E$.

Los tres sondeos presentan cuatro capas geoelectricas. La primera capa geoelectrica con resistividades entre 7.5 y $42 \Omega\text{-m}$ y un espesor máximo de 25m. La segunda capa registrada en los sondeos 1 y 2 con resistividad de 28 a $29 \Omega\text{-m}$ no se continua a la misma profundidad bajo el sondeo 3 pues la segunda capa interpretada tiene una resistividad de $13.5 \Omega\text{-m}$, es decir dos veces menor.

La resistividad observada en la segunda capa geoelectrica del sondeo 3 es similar a la resistividad observada en la tercera capa de los sondeos 1 y 2. La tercera capa geoelectrica bajo los sondeos 1 y 2 presenta una resistividad de 13.5 a $14 \Omega\text{-m}$. De la misma manera, la tercera capa geoelectrica bajo el sondeo 3 tiene una resistividad similar ($41 \Omega\text{-m}$) a la de la cuarta capa de los sondeos 1 y 2. Finalmente la cuarta capa geoelectrica del sondeo 3 con resistividad de $68 \Omega\text{-m}$, no fue observada bajo los sondeos 1 y 2. Las discontinuidades laterales entre los modelos geoelectricos interpretados para los sondeos 1, 2 y 3 pueden ser explicadas si se supone la existencia de una estructura de falla de tipo normal, de tal forma que los sondeos 1 y 2 se encontrarían en el bloque de techo que ha sufrido un hundimiento, mientras que el sondeo 3 quedaría sobre el bloque de piso.

Sección B-B'.

Esta sección la forman los sondeos 2, 4, 5, 6, 7, 9 y 14 y tiene un rumbo de $N26^{\circ}W$. A lo largo de sus 5500m esta sección presenta cuatro capas geoelectricas claramente definidas en todos los sondeos. Las capas muestran una inclinación general y mayor espesor hacia el sur de la sección.

La primera capa tiene un rango de resistividad entre 5.5 y $55 \Omega\text{-m}$ con un espesor del orden de 25m. La segunda capa ---

geoelectrica la constituye un estrato de resistividad entre 25' y 38 Ω -m, el espesor de esta unidad se adelgaza hacia el NW, -- pasando de aproximadamente 100m. bajo el sondeo 2 a un espesor promedio de 50m. aproximadamente, a lo largo de la línea. La -- tercera capa geoelectrica presenta una resistividad variable - entre 6 y 18 Ω -m con un espesor de tendencia similar al de la ' segunda capa, pasando por algunos cambios intermedios de espesor, el rango de espesor de esta capa es al SE de 250m, y al NW de 100m. La cuarta capa geoelectrica la forma un estrato menos' conductor, de resistividades entre 25 y 41 Ω -m; siendo el piso de la secuencia de la sección.

El rango de resistividad de la cuarta capa geoelectrica se interrumpe bajo el sondeo 5, apareciendo en esta zona una capa ' de mayor conductividad con una resistividad de 7.5 Ω -m. En el sondeo 6 en la cuarta capa geoelectrica se incrementa la resistividad hasta 61 Ω -m. Bajo los dos últimos sondeos 9 y 14 cerca de los 300m de profundidad se localiza una capa geoelectrica adicional de resistividad de 3 a 7 Ω -m formando una zona profunda de mayor conductividad.

Sección C-C'.

La sección C-C' formada por los sondeos 8, 9, 11 y 12 tiene una longitud de 2850m y un rumbo N50°E .

Los sondeos 8 y 9 presentan 4 capas geoelectricas.

La primera capa geoelectrica presenta un rango variable con resistividades de 13.5 a 55 Ω -m y un espesor máximo de 14m. La ' segunda capa geoelectrica tiene una resistividad que varía de ' 23 a 59 Ω -m y un espesor máximo de 40m. La tercera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 7 y 9 Ω -m, con un ' espesor máximo de 125m. La cuarta capa geoelectrica tiene un -- rango de resistividad de 26 a 44 Ω -m.

Los sondeos 11 y 12 presentan cinco capas geoelectricas .La ---

primer capa geoelectrica presenta un rango de resistividad entre 28 y $38 \Omega -m$ y un espesor somero de 7 mts, esta capa se continua en los sondeos 8 y 9. La segunda capa tiene una resistividad promedio de $8.3 \Omega -m$ y un espesor máxima de 22 mts, dicha capa se acuña entre la primera y la tercer capas. La tercer capa geoelectrica presenta un rango de resistividad entre 58 y $75 \Omega -m$, con un espesor de 40 mts, y una continuidad lateral con la segunda capa observada en la secuencia de los sondeos 8 y 9. La cuarta capa geoelectrica presenta una buena conductividad lateral con una resistividad promedio de $9.4 \Omega -m$ y un espesor sólo determinado en el sondeo 12 de 300 mts, esta capa se considera que su resistividad es correlacionable lateralmente con la observada en la tercer capa geoelectrica de los sondeos 8 y 9. La quinta capa sólo determinada en el sondeo 12, presenta una resistividad de $54 \Omega -m$, esta capa puede ser correlacionable con la cuarta capa observada bajo los sondeos 8 y 9. La reducción en el espesor de la tercer capa geoelectrica de la secuencia en los sondeos 8 y 9 así como la correlación de la cuarta capa geoelectrica de esta secuencia con la quinta capa observada en el sondeo 12 y el incremento del espesor de la cuarta capa bajo el sondeo 11; hacen suponer la existencia de una falla tipo normal en la que los sondeos 8 y 9 se encuentran en el bloque de piso y los sondeos 11 y 12 sobre el bloque de techo, el cual ha sufrido el hundimiento.

Sección D-D'.

Esta sección se extiende longitudinalmente al valle con orientación N-S, partiendo de una zona de relativamente menor espesor de relleno hasta la zona de relleno aluvial profundo. Esta sección está formada por los sondeos 10, 11, 13, 14, 15, 16 y 17 teniendo una longitud de 5400 m. y un rumbo N11°E. El sondeo 10 presenta cinco capas geoelectricas y los sondeos 11 y 13 cuatro capas geoelectricas. La primera capa geoelectrica tiene una resistividad que varía entre 20 y $50 \Omega -m$ y un espesor de 8m. La segunda capa constituye una zona de baja re--

sistividad con un rango entre 7.5 y 13Ω -m con un espesor máximo de 21m. La tercera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 36 y 38Ω -m y un incremento hasta 75Ω -m en el sondeo 11, con un espesor máximo bajo el sondeo 13 de 63m. La cuarta capa con un rango de resistividad entre 9.6 y 12Ω -m y una buena continuidad lateral con un espesor sólo determinado en el sondeo 10 de 155m. La quinta capa presente sólo en el sondeo 10 tiene una resistividad de 45Ω -m.

Los sondeos 14, 15 y 16 presentan cuatro capas geoelectricas. La primera capa geoelectrica presenta un rango variable con resistividades entre 16.5 y 40Ω -m y un espesor máximo de 35m. La segunda capa geoelectrica tiene una resistividad que varía de 28 a 120Ω -m y de espesor 26m, pero no se presenta bajo el sondeo 17. Esta capa presenta resistividades correlacionables con la tercera capa interpretada bajo los sondeos 10, 11 y 13. La tercera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 16 y 26Ω -m y un espesor que se incrementa hacia el norte, su espesor máximo es de 183m, esta capa también puede ser correlacionable con la cuarta capa observada bajo los sondeos 10, 11 y 13. La cuarta capa geoelectrica muestra menor conductividad y un rango de resistividad entre 25 a 38Ω -m, además presenta características similares a la capa profunda de la secuencia observada bajo el sondeo 10.

Las discontinuidades laterales entre los modelos geoelectricos interpretados para los sondeos 10, 11, 13 y 14, 15, 16 pueden ser explicadas si se supone la existencia de una estructura de falla de tipo normal, de tal forma que los sondeos 10, 11 y 13 se encontrarían en el bloque de techo que ha sufrido un hundimiento, mientras que los sondeos 14, 15 y 16 quedarían sobre el bloque de piso.

Sección E-E'.

Esta línea tiene una dirección E-W y consta de los son--

deos 16, 18, 19, 20, 21 y 22 con una longitud de 3700 m. y un rumbo N 03° E.

Los modelos geoelectricos interpretados en esta línea presentan un número máximo de cuatro capas. La primera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 16 y 19 Ω -m y un espesor de 10m, esta capa se presenta sólo en los sondeos 19, 20 y 21. La segunda capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 9 y 16 Ω -m encontrándose en todos los sondeos realizados, presentando un espesor máximo de 30m. La tercer capa geoelectrica muestra continuidad lateral a lo largo de toda la línea y presenta un rango de resistividad entre 11 y 19 Ω -m y un espesor de 135m, en el sondeo 18 esta capa tiene una zona de mayor resistividad de 32 Ω -m con un espesor de 70 mts. La cuarta capa geoelectrica tiene un rango de resistividad entre 26 y 36 Ω -m. En los modelos geoelectricos interpretadas bajo los sondeos 18 y 20 no se detecta la cuarta capa y en el modelo del sondeo 19 se presenta un aumento de conductividad con una resistividad de 4 Ω -m.

Sección F-F'.

Esta línea es la de mayor longitud y atraviesa toda la ciudad de Aguascalientes en su flanco este con una dirección norte-sur y un rumbo principal S40°E formándola los sondeos 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 y 31.

Los sondeos 22 y 23 presentan tres capas geoelectricas. La primera capa geoelectrica tiene una buena continuidad lateral y una resistividad promedio de 16.5 Ω -m, el espesor máximo de esta capa es de 25m. La segunda capa geoelectrica muestra un rango de resistividad entre 11 y 15 Ω -m y un espesor de 150m. La tercera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad de 28 a 53 Ω -m.

Los sondeos 24 y 25 presentan cuatro capas geoelectricas. La primera capa geoelectrica tiene un rango de resistividad de ---

36 a $41\Omega\text{-m}$ y un espesor de 8m. En la segunda capa geoelectrica se observa una mejor conductividad con una resistividad promedio de $12.5\Omega\text{-m}$, la cual tiene un espesor máxima de 30m, además se considera que su resistividad es correlacionable lateralmente con la observada en la segunda capa geoelectrica de los sondeos 22 y 23. La tercera capa geoelectrica presenta un rango de resistividad entre 25 y $37\Omega\text{-m}$ y un discontinuidad lateral con la secuencia observada en los sondeos 22 y 23, siendo posible la correlación de esta tercera capa geoelectrica con la tercera capa observada en la secuencia de los sondeos anteriores, el espesor de esta capa es de 195m. La cuarta capa geoelectrica presenta una resistividad de $74\Omega\text{-m}$. La discontinuidad lateral de la segunda y tercera capas geoelectricas observadas en esta secuencia respecto a la secuencia de los sondeos 22 y 23, así como la reducción del espesor de la segunda capa geoelectrica en los sondeos 24 y 25 con respecto a la observada en los sondeos 22 y 23 hacen suponer la existencia de una estructura de tipo falla normal localizada entre los sondeos 23 y 24, de tal forma que la secuencia observada en los sondeos 22 y 23 se encuentra en el bloque de techo caído mientras que la otra secuencia corresponde al bloque de piso.

Los sondeos 26, 27, 28, 29, 30 y 31 presentan también cuatro capas de geoelectricas. La primera capa tiene un rango de resistividad entre 17 y $38\Omega\text{-m}$ y un espesor promedio de 10m. La segunda capa geoelectrica tiene una mejor conductividad y un rango variable de resistividad entre 6 y $20\Omega\text{-m}$ con un espesor también variable el cual se incrementa desde el sondeo 29 hasta alcanzar una potencia de 50m. La tercera capa es menos conductiva con un rango principal de resistividades entre 32 y $40\Omega\text{-m}$ y un incremento en el sondeo 28 hasta $65\Omega\text{-m}$. Esta capa sufre un estrechamiento principal bajo el sondeo 27 y se normaliza progresivamente sobre sus flancos. La cuarta capa tiene una buena ---

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

conductividad con un rango de resistividad entre 5 y 11Ω -m presentando un contacto superior cuya profundidad varía a lo largo de la línea. En la cuarta capa geoelectrica entre los sondeos 24 y 25 existe una discontinuidad lateral ya que la resistividad en el sondeo 24 es de 74Ω -m y la observada en el 25 es de 12Ω -m.

Sección G-6'.

Esta sección está constituida por los sondeos 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, y 38 teniendo una longitud aproximada de 5800m con un rumbo principal $S20^{\circ}E$. Se ubica en la parte oriental de la ciudad de Aguascalientes siendo paralela a la línea F-F'. La sección presenta tres capas geoelectricas, con algunas variaciones laterales. La primera capa geoelectrica con un rango muy variable de resistividades de 2 a 94Ω -m presenta estas características entre los sondeos 24 y 36.

La segunda capa geoelectrica la constituye un estrato de resistividades entre 21 y 42Ω -m, el espesor de esta capa es de 200m, el cual comienza a disminuir a partir del sondeo 35 y casi aflora en el sondeo 36. Bajo los sondeos 37 y 38 su resistividad se incrementa variando de 130 a 185Ω -m. La tercera capa geoelectrica presenta un rango con resistividades entre 74 y 94Ω -m, del sondeo 24 al 34 y un rango de 22 a 42Ω -m a partir del sondeo 35, con un aumento de conductividad en el sondeo 36 con resistividad de 10Ω -m.

Bajo los sondeos 24 y 32 se determina una capa geoelectrica intermedia entre la primera y segunda capas geoelectricas antes descritas presentando una resistividad de 11 a 12Ω -m con un espesor de 38m. Caso similar al anterior se presenta en los sondeos 34 y 35 cuya resistividad varía entre 2 y 5Ω -m y un espesor promedio de 36m. En el sondeo 32 no se detectó el contacto entre la segunda y tercera capas geoelectricas. En el sondeo 33, en la segunda capa aumenta la conductividad dentro de dicho

estrato (8Ω -m), este rango no muestra continuidad lateral.

Sección H-H'.

Esta línea consta solamente de los sondeos 39 y 40 tiene una longitud de 700m y se localiza al oriente de la ciudad de Aguascalientes, sobre unos pequeños lomeríos que circundan esta zona.

Los dos sondeos presentan cuatro capas geoelectricas. Iniciando con una capa de resistividad entre 42 y 75Ω -m y un espesor de 13m. La segunda capa con un espesor constante de 27m y un rango de resistividad de 28 a 63Ω -m. La tercera capa presenta una resistividad baja de aproximadamente 9Ω -m mostrando un incremento en su espesor bajo el sondeo 39. Finalmente la capa profunda está definida por resistividades de 15 a 28Ω -m.

IV.- INTEGRACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA Y GEOFISICA.

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

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

La interpretación cuantitativa de las curvas de resistividad aparente es una labor artística que no puede reducirse a una labor mecánica de la computadora. Para estos casos el medio estratificado proporcionado por la computadora se considera como una de las posibles soluciones al problema interpretativo.

Después 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 de subsuelo ya conocida en el área con las capas correspondientes del medio estratificado interpretado. Los requerimientos artísticos necesarios para lograr una correlación geológica-geofísica, nos llevan a comprobar al hecho de que los técnicos matemáticos de cálculo electrónico son sólo herramientas, que cuando son hábilmente empleados por el geofísico -- conocedor de las aplicaciones y limitaciones de estas técnicas -- conducen a la utilización óptima de los datos.

La integración de la información geológica y geofísica se presenta a continuación para cada una de las líneas de estudio.

PLANOS # 3.2, 3.3 y 3.4.

Sección A-A'.

En esta sección de acuerdo con la información del pozo -- P.A.B.9, cercano a la línea se determinó la siguiente correlación geológica-geoelectrica.

La primera y segunda capas geoelectricas corresponden a un suelo de composición variable formado por depósitos fluviales y -- aluviales recientes con poca graduación, esta unidad se designó por U_1 . La tercer capa de los sondeos 1 y 2 la constituye la unidad U_2 formada por un aluvi6n poco litificado de limos, arenas finas y gravillas. La cuarta capa de los sondeos 1 y 2 y -- segunda capa del sondeo 3 está representado también por la unidad U_2' , formada por un aluvi6n de arcillas con arenas finas -- saturadas. La quinta capa de los sondeos 1 y 2 y tercera del ' sondeo 3 es una toba vítrica con lentes de arenas finas y gravillas esta unidad se denomina U_3 . La cuarta capa del sondeo 3 representa una toba riolítica vitro-cristalina fracturada y mejor consolidada, este estrato se identificó con U_4 .

La tabla 4.A muestra un resumen de la interpretación geoelectrica y geológica de esta sección.

Sección B-B'.

Para esta sección la correlación geológica-geoelectrica ' se apoyó en la información del pozo Parqa 52, localizado entre ' los sondeos 6 y 7.

La secuencia estratigráfica de esta línea presenta una tendencia correlacionable a la observada en la sección A-A'.

La primera capa eléctrica se interpretó como la unidad U_1 de -- suelo con depósitos no graduados de tipo fluvial y aluvial. La segunda capa corresponde a la unidad U_2 que es un aluvi6n poco ' litificado de limos, arenas finas y gravillas parcialmente saturadas. La unidad que le subyace la forma la tercer capa geoelectrica

trica con una profundidad máxima de 100m constituida por aluvión arcilloso con arenas finas, saturado y denominada por U_2 . La cuarta unidad electrostratigráfica U_3 es una toba vítrica con lentes de arenas finas y gravillas, esta última unidad presentó bajo los sondeos 5, 9 y 14 valores de resistividad más bajos del promedio los cuales pueden obedecer a efectos locales de hidrotermalismo.

La tabla 4.8 muestra un resumen de la interpretación geoelectrica y geológica de esta sección.

Sección C-C'.

La interpretación geológica de esta sección se realizó -- haciendo una correlación con la interpretación obtenida en las secciones B-B' y D-D' a las cuales atraviesa transversalmente. Se observa que los estratos geoelectricos de esta sección muestran una distribución espacial similar a las obtenidas en las secciones mencionadas.

La primera y la segunda capas geoelectricas corresponden a la unidad U_1 formada de suelos, depósitos recientes fluviales y aluviales no graavados. La tercera capa corresponde a la unidad U_2 de sedimentos aluviales poco litificados correspondientes a limos, arenas finas y gravillas poco saturadas. La cuarta capa la forma la unidad U_2 a partir de una profundidad de 70m. y con un espesor de 300m el cual se reduce a la mitad bajo los sondeos 8 y 9, esta unidad la forma un aluvión arcilloso con arenas finas y saturado. La quinta capa la forma una toba vítrica con lentes de arenas finas y gravillas.

La unidad U_3 presenta bajo el sondeo 9 un valor de resistividad bajo al cual puede deberse a un fracturamiento de la toba ó bien por algún hidrotermalismo local.

La tabla 4.C muestra un resumen de la interpretación geoelectrica y geológica de esta sección.

Sección D-D'.

En esta sección de acuerdo con la información del pozo -- Parga 52, cercano al sondeo 10 se determinó la siguiente correlación geológica-geoeléctrica.

La primera unidad electrostratigráfica U_1 se compone de suelo, depósitos fluviales y aluviales recientes. La segunda capa observada en los sondeos 10, 11 y 13 representa a la unidad U_1 con depósitos en un medio lacustre en el cual se observa una abundancia de finos posiblemente limos parcialmente húmedos. La tercera capa geoeléctrica la forma la unidad U_2 de aluvión poco litificado de limos, arenas finas y gravillas, con graduación vertical de grano grueso a fino. La cuarta capa la constituye la unidad U_2' con un incremento de finos y arcillas saturadas, este estrato se profundiza bajo los sondeos 11 y 13. La quinta capa geoeléctrica está formada de una toba vítrica con lentes de arenas finas y gravillas denominada toba Aguascalientes U_1 .

Bajo el sondeo 14 se presenta un bajo eléctrico similar al observado también en el sondeo 9 de la línea C-C' el cual puede ser producto de la falla determinada entre los sondeos 13 y 14, la cual produjo un fracturamiento a la toba ó también puede ser debido al hidrotermalismo de esta zona.

La tabla 4.D muestra un resumen de la interpretación geoeléctrica y geológica de esta sección.

Sección E-E'.

La interpretación geológica de esta sección se realizó --- haciendo una correlación con la interpretación obtenida en la -- sección D-D' perpendicular a ésta. Se observa que los estratos' geoeléctricos de esta sección muestran una distribución espacial similar a la obtenida en la sección mencionada.

La primera unidad electroestratigráfica U_1 formada principalmente de limos con arenas constituyen en esta zona un suelo útil -- para la agricultura, esta capa fué detectada en los sondeos 19, 20 y 21 y en el sondeo 16 predomina un suelo residual de fragmentos angulosos a subangulosos de gravas y arenas gruesas. La segunda capa geoelectrica ausente en el sondeo 16 la forma un aluvión poco litificado de limos y arenas finas con graduación vertical de grano grueso a fino poco húmedo denominada V_2 . La tercera unidad electroestratigráfica U_2 la constituye un aluvión saturado de arcillas. La cuarta capa geoelectrica U_3 está formada de tobas vítricas con lentes de arenas finas y gravillas. En este estrato bajo el sondeo 19 se presenta una resistividad eléctrica baja. Debe mencionarse que en esta zona existe un pozo para abastecimiento de agua potable del cual se obtienen aguas con un porcentaje de 9 partes por millón de cloruros, excediendo el límite establecido para aguas de uso doméstico. La existencia de estratos con agua de mala calidad puede explicar la presencia de la capa geoelectrica poco resistiva.

La tabla 4.E muestra un resumen de la interpretación geoelectrica y geológica de esta sección.

Sección F-F'.

La siguientes correlación geológica-geoelectrica se apoyó en la información obtenida de los pozos: Infanavit, Parque H. Mexicanos y Fracc. Ojocaliente.

La secuencia estratigráfica establecida a través de las líneas anteriores que delimitan los flancos norte y oeste de la ciudad de Aguascalientes se rompe en la parte este, en donde se encuentran derrames riolíticos formando palca-relieves, así como una secuencia de tobas más someras. Entre los sondeos 23 y 24 se registra una falla interpretada geoelectricamente, a partir de

la cual la secuencia aluvial se reduce considerablemente, aparece la toba Zoyatal y el geóffero primitivo la constituye la unidad V_3 que es la toba Aguascalientes fracturada.

La secuencia registrada bajo los sondeos 22 y 23 es; la primera capa la forma la unidad V_1 constituida de limos y arenas con un espesor reducido. La segunda capa geoelectrica corresponde a la unidad V_2 de aluvión arcilloso saturado con una potencia máxima de 140m. La tercera capa V_3 corresponde a una toba vítrica arenosa con gravillas bien cementadas. De la secuencia registrada del sondeo 24 al 31, la primera unidad electroestratigráfica U_1 la forma un suelo de composición variable con depósitos fluviales y aluviales recientes con poca graduación. La segunda capa geoelectrica la forma la unidad V_2 de aluvión arcilloso saturado con un espesor máximo de 50m. La tercera unidad geoelectrica V_3 formada de una toba fracturada vítrica con lentes de arenas finas y gravillas, le sobrevace bajo el sondeo 24 a la toba Zoyatal, la cual está constituida de una toba ríolítica vitro-cristalina, este estrato corresponde a la unidad V_4 . A partir del sondeo 25, esta cuarta capa registra una ríolita fluidal ácida, fracturado con manifestaciones locales de hidrotermalismo, a esta unidad se la asignó V_5 .

La tabla 4.F muestra un resumen de la interpretación geoelectrica-geológica de esta sección.

Sección G-G'.

Para esta sección la correlación geológica-geoelectrica se apoyó en la información del pozo Ejido Ojocaliente 3 localizado entre los sondeos 35 y 36.

La primera unidad electroestratigráfica U_1 detectada hasta el sondeo 36 la forma un suelo de composición variable de depósitos

fluviales y aluviales recientes.

La segunda capa geoelectrica la constituye la unidad U_2 , siendo una toba vitrica con lentes de arenas finas y gravillas. La tercera unidad electroestratigrafica, del sondeo 24 al 34 la forma una toba riolitica vitro-cristalina mejor consolidada denominada toba Zoyatal. A partir del sondeo 35 existe una disminucion en los valores electricos interpretados, como la influencia de una riolita fluidal acida, fracturada con manifestaciones de hidrotermalismo.

Bajo los sondeos 24, 32, 34 y 35 se observa en la unidad U_3 , una capa adicional la cual se profundiza hasta 50m.

La tabla 4.6 muestra un resumen de la interpretacion geoelectrica y geologica de esta seccion.

Seccion H-H'.

La correlacion geologica-geoelectrica de estos sondeos se baso en la informacion del pozo Ejido Ojocaliente 3.

La primera unidad electroestratigrafica U_1 esta formada de limos y arenas con un espesor reducido. La segunda capa geoelectrica corresponde a la unidad U_2 , siendo una toba vitrica con algunos lentes de arenas finas y gravillas. La tercer capa es la unidad U_3 , formada de riolita fluidal acida, fracturada y saturada. La cuarta capa la constituye una riolita mas sana perteneciente a la unidad U_4 .

La tabla 4.H muestra un resumen de la interpretacion geoelectrica-geologica de esta seccion.

Tabla 4-A.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividades	Detectada en los sondeos.	Particularidades
U ₁	Cuaternario lacustre, residual suelos.	75-42 Ω -m	1 a 3	Profundidad máxima 25 metros. Variaciones laterales de resistividad.
U ₂ U _{2a}	Depositos aluviales, limos, arenas, gravas, limos arcillosos a diversas profundidades.	13-28 Ω -m 14 Ω -m	1 a 3	Graduación en profundidad, de granos gruesos a finos con mayor saturación. Acuífera principal.
U ₃	Toba Aguascalientes (toba arenosa vitro-cristalina poco consolidada)	41 Ω -m	1 a 3	Buena homogeneidad lateral. Afectada por falla normal.
U ₄	Toba Zegotel (toba riolítica mas consolidada)	>60 Ω -m	3	Base de la columna geológica. Afectada por falla normal.

Tabla 4-B.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividades	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₁	Cuaternario lacustre, residual suelos.	55-55 Ω -m	2 a 14	Profundidad promedio 10m. Variaciones laterales de resistividad.
U ₂ U _{2a}	Depositos aluviales (limos, arenas, gravas, limos arcillosos) a diversas profundidades.	20-35 Ω -m 10-18 Ω -m	2 a 14	Graduación en profundidad de granos gruesos a finos con mayor saturación.
U ₃	Toba Aguascalientes (toba arenosa vitro-cristalina).	25-41 Ω -m	2 a 14.	Aumentos bruscos de su conductividad bajo los sondeos 5, 9 y 14.

Tabla 4-C.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividades	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₁	Qr Ar Qt	Cuaternario lacustre, suelos 9.2-55 Ω-m	8 a 12	Variaciones laterales de resistividad.
U ₂ U ₂ ^T	Qal	Depositos aluviales fluviales de arenas limas, grava, arcillas saturadas a profundidad 25-60 Ω-m 7-9.6 Ω-m	8 a 12	Disminución del espesor de U ₂ bajo los sondeos 8 y 9. Afectada por falla normal.
U ₃	Qt	Toba Aguascalientes: toba arenosa vitro-cristalina. > 26	8 a 12	Capa de baja resistividad en el sondeo número 9, afectada por falla normal.

Tabla 4-D.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividades	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₁	Ar Qr Qt	Cuaternario lacustre, residual suelos 7.5-120 Ω-m	10 a 17.	Profundidad hasta 35 metros. Variaciones laterales de resistividad.
U ₂ U ₂ ^T	Qal	Depositos aluviales, fluviales, lacustres, de arenas, limas, grava, arcillas saturadas a profundidad 40-60 Ω-m 9.6-20 Ω-m	10 a 17.	Afectada por falla normal.
U ₃	Qt	Toba Aguascalientes: toba arenosa vitro-cristalina. 25-45 Ω-m.	10, 14 a 17.	Afectada por falla normal. No detectada en los sondeos 11 y 15.

Tabla 4-E.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividad	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₁	Q ₁ Cuaternario Lacustre, suelos resolita.	16 - 19 Ω -m	16 y 19 a 21	Variaciones laterales de resistividad.
U ₂	Qal Depositos aluviales, fluviales recientes, arenas, gravas y arcillas consolidadas y prof.	9 - 15 Ω -m	16 a 22	Variaciones laterales de resistividad bajo el sondeo 18.
U ₃	Qt Toba Aguascalientes, toba arenas vitro-cristalina	26 - 36 Ω -m	16, 19, 21, y 22.	No detectada bajo los sondeos 18 y 20 aumento de conductividad en el sondeo 4.

Tabla 4-F.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividad	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₁	Q ₁ Cuaternario Lacustre, suelos resolita	16 - 41 Ω -m.	22 a 31	Profundidad promedio 10 m. Variaciones laterales de resistividad.
U ₂	Qal Depositos aluviales, fluviales recientes de arcillas saturada.	10 - 20 Ω -m	22 a 31	Disminución de espesor a partir del sondeo 24. Afectado por falla normal.
U ₄	Qt Toba Aguascalientes, toba arenas vitro-cristalina	25 - 43 Ω -m	22 a 31	Disminución del espesor en el sondeo 27. Variación creciente de la resistividad hacia el sondeo 31. Detectada por falla normal. Base de la columna geológica bajo los sondeos 23 y 24.
U ₆	Mt ₂ Toba Zoyatlán, toba vitálica más compacta.	> 60 Ω -m	24	Base de la columna geológica bajo el sondeo 24.
U ₅	lit Riolita fluidal.	7-12 Ω -m	25 a 31	Base de la columna geológica bajo los sondeos 26 a 31.

Tabla 4-G.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividad	Detectada en los sondeos	Particularidades.
U ₁	Ql Cuaternario, lacustre, suelos, regolita.	2-84 Ω -m.	24 a 38	Variaciones laterales de resistividad.
U ₂	Qal Depositos Aluviales. Arenas, gravas, limos, arcillas.	2-12 Ω -m.	24, 32, 34 y 35.	Lentes intercalados entre la U ₁ y U ₃ de gradación fina.
U ₃	Qt Toba arenosa vitrocrystalina.	34-42 Ω -m.	24 a 38	Aumento de conductividad bajo el sondeo 35, con resistividad de 8 Ω -m. Contacto superior con el 36, afuera en el sondeo 36.
U ₄	Mta Toba más soldada con riolita.	74-94 Ω -m.	24 a 34	No detectada bajo el sondeo 32. Base de la secuencia bajo los SEV 29 a 31.
U ₅	tie R Riolita fluidal.	22-42 Ω -m.	35 a 38	Riolita poco fracturada. Descenso de su profundidad a partir del sondeo 36. Base de la secuencia bajo los SEV 36 a 38.

Tabla 4-H.

Unidad Geológica	Características Geológicas	Rango de Resistividad	Detectada en los sondeos	Particularidades
U ₃	Qt Toba arenosa vitrocrystalina	28-75 Ω -m.	39 a 40	Toba arenosa. Profundidad máxima 40 m.
U ₅	tie R Riolita	10-28 Ω -m.	39 a 40	Menor fracturamiento a profundidad.

En base a la información geológica y a los datos geoelectricos obtenidos se pudo elaborar un esquema estructural del área de estudio. Dicho esquema mostró las características de una fosa de hundimiento o graben formada por distensión a escala regional.

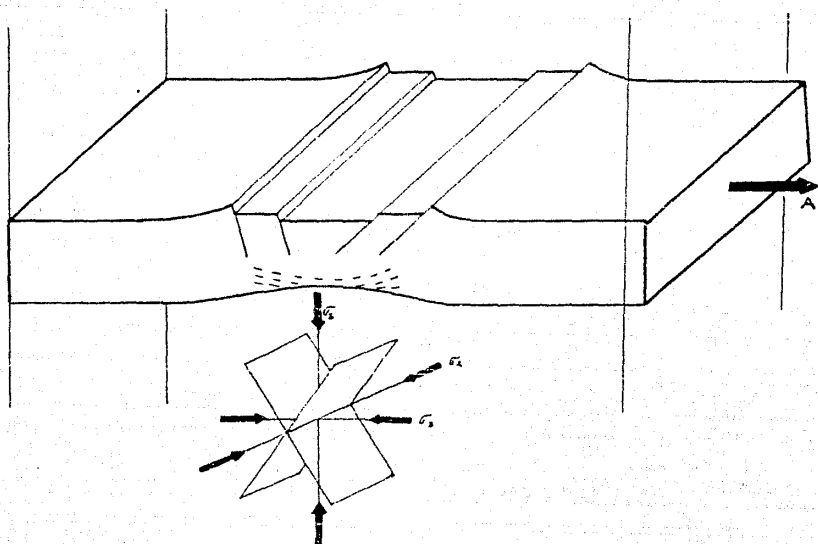
Esta estructura posee compartimientos limitados por fallas normales que están hundidas con relación a los compartimientos -- vecinos.

El graben corresponde a una depresión alargada, rellena de -- depósitos recientes y limitada por relieves. Estos generalmente no alcanzan su máximo en el borde de la depresión; su límite con la llanura generalmente es brusco y rectilíneo; es su ' escarpe de falla normal más ó menos disecado por la erosión.

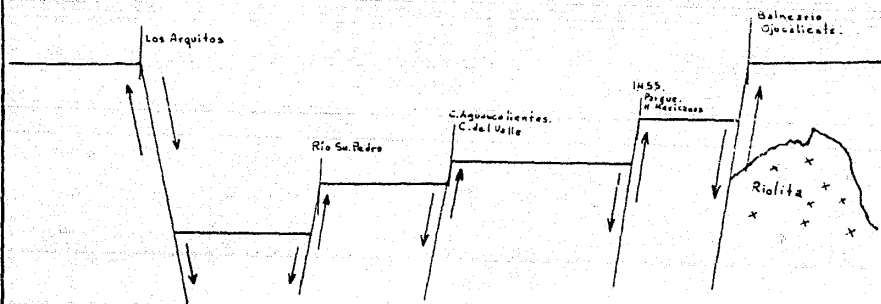
La fosa central del Valle de Aguascalientes es una zona hundida, limitada por fallas normales y recubierta por sedimentos ' que se van haciendo más potentes hacia la zona central, hacia el este se encuentran con el borde de la falla delimitante, -- así como con los depósitos horizontales de las llanuras, en el borde de la falla, los sedimentos recubren con menor potencia ' a la rialita, la cual ocupa el área y recubre paleorelieves.

En el área de estudio la distensión no puede disociarse de la ' compresión que provocó la formación de la Sierra Madre al occidente.

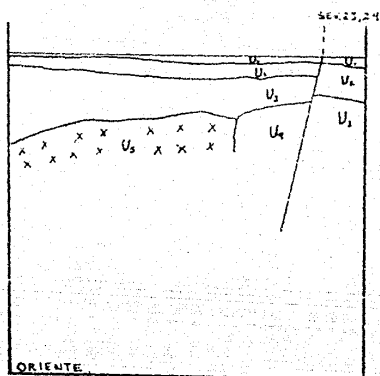
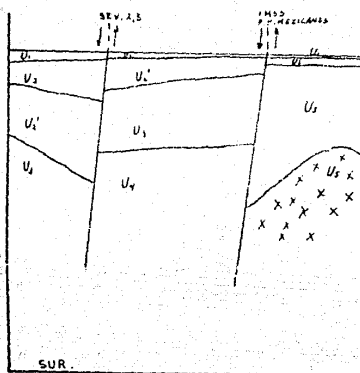
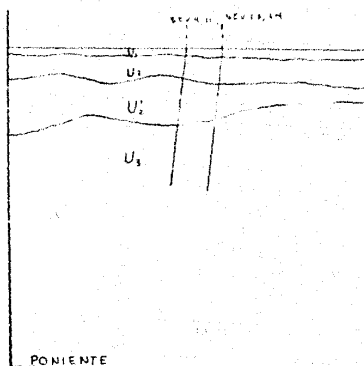
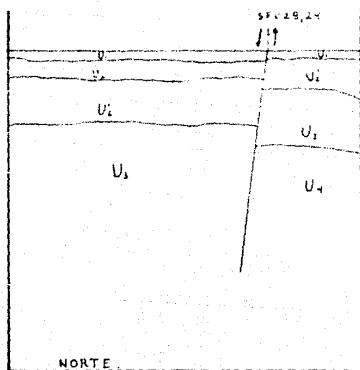
Las figuras siguientes muestran un esquema estructural de la ' zona estudiada y fué realizado con el fin de comprender mejor ' ésta estructura de deformación de la corteza terrestre.



Esquema que muestra una porción de corteza afectada por distensión, se observa la disposición teórica de fallas conjugadas normales simétricas con eje principal de deformación y campo de esfuerzos correspondientes.



Disposición de fallas conjugadas normales en una porción del Valle de Aguascalientes.



Caras laterales del esquema estructural del área de estudio.

CONCLUSIONES

En los resultados obtenidos por los sondeos realizados en el área urbana de la ciudad de Aguascalientes, se observó una secuencia estratigráfica compuesta de 5 unidades litológicas en un valle que fué formado por tectonismo y rellenado por depósitos de origen fluvial ó aluvial sobre cenizas volcánicas y derrames riolíticos del Terciario Medio afectados en su conjunto por una serie de fallas normales paralelas a las fallas regionales, que dieron origen al graben que forma el valle de Aguascalientes.

Los estratos geológicos y folios identificadas descritos en forma breve, son los siguientes:

- El estrato superficial (U_1) se registró en siete de los perfiles con resistividades entre 20 y 80 Ω -m y está constituido por depósitos fluviales y aluviales recientes con poca gradación manifestado baja permeabilidad.
- El segundo estrato presenta dos unidades: La primera unidad (U_2) con resistividades entre 30 y 40 Ω -m formado por un aluvión poco litificado de limos, arenas finas y gravillas. La segunda unidad (U_2') con resistividades entre 10 y 20 Ω -m formado un aluvión de arcillas con arenas finas saturadas. Esta unidad presenta gradación de grueso a fino en profundidad, siendo el estrato más potente en el valle con profundidades hasta aproximadamente 350m y es el principal acuífero en las partes poniente, norte y sur de la zona urbana estudiada.
- El estrato tres (U_3) con resistividades entre 30 y 40 Ω -m se registró en todos los perfiles siendo el piso en los perfiles A-A', B-B', C-C', D-D' y E-E' con excepción de los perfiles F-F', G-G' y H-H' en donde se presenta con una potencia entre 80 y 100m. Esta unidad la forma una toba vítrica con lentes de arenas finas y gravillas, puede presentar fracturamiento, por lo que en algunos casos se comporta como semipermeable y en otros permeable.

- El cuarto estrato (U_4) con resistividades superiores a $70 \Omega\text{-m}$ lo forma una toba riolítica vitro cristalina fracturada y mejor consolidada que la unidad U_3 . Esta unidad es de baja permeabilidad.

- El quinto estrato (U_5) presenta resistividades entre 5 y $30 \Omega\text{-m}$ y corresponde a la roca basal formada por riolita fluidal ácida que se encuentra en algunos casos alterada e intensamente fracturada, por lo que se le atribuye una permeabilidad secundaria alta; habiéndose registrado en los perfiles F-F', G-G' y H-H', formando paleorelieves y dando lugar a hidrotermalismo en la zona oriente del área de estudio.

- En las secciones A-A', C-C', D-D' y G-G' se registraron discontinuidades eléctricas, las cuales se interpretaron de acuerdo con la información geológica como fallas de tipo normal. La falla determinada entre los sondeos 2 y 3 de la sección A-A' se corroboró con la información geológica de superficie. Las demás fallas fueron inferidas a partir de la información geofísica obtenida.

Adicionalmente, a partir de la realización del presente trabajo los autores pudimos extraer en forma general las siguientes conclusiones sobre el método de resistividad por sondeos eléctricos verticales:

a) La teoría del método de resistividad por sondeos eléctricos verticales para medios horizontalmente estratificados está basada en leyes físicas de expresión matemática nada sencilla, derivadas a partir de la aplicación rigurosa del método científico.

b) Las limitaciones propias de los métodos clásicos de interpretación sumadas al rápido desarrollo de las computadoras digitales han impulsado grandemente el desarrollo de rápidas técnicas de interpretación automática, sin embargo dichas técnicas no han dejado de ser una herramienta esencial para la interpretación.

c) El método de filtros lineales digitales inversos constituye una técnica rápida y eficiente para el cálculo numérico de curvas teóricas de resistividad aparente para medios horizontalmente estratificados. El cálculo numérico de curvas teóricas de resistividad aparente es el siguiente paso a seguir después de realizar la interpretación de las curvas de resistividad aparente por métodos clásicos.

d) Los métodos automáticos de Zhody y de solución de matrices de ecuaciones son técnicas, rápidas y eficientes para auxiliar al geofísico en la interpretación de curvas de resistividad aparente de sondeos eléctricos verticales.

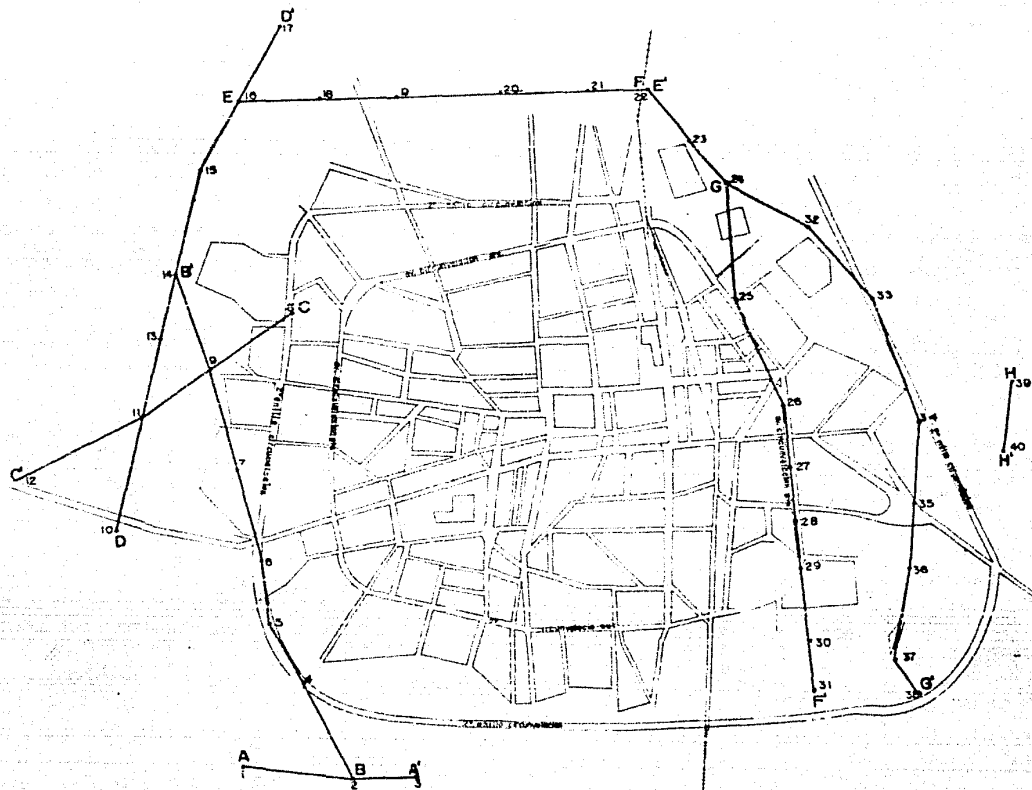
e) La segunda etapa de la interpretación formada por la integración de la información geológica y geoelectrónica, constituye una labor verdaderamente creativa, realizable sólo con la aportación pensante del interpretador. En este sentido los métodos de interpretación automática son únicamente herramientas auxiliares que cuando son hábilmente empleadas por el geofísico llevan a la utilización óptima de los datos.

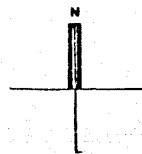
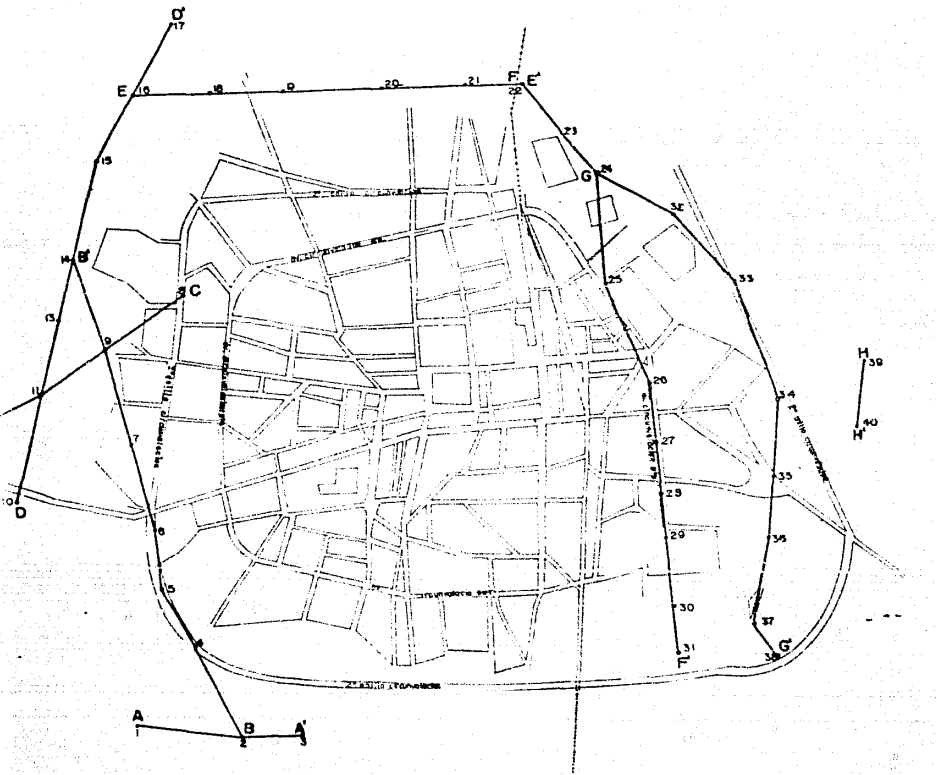
f) El área de estudio tiene las características estructurales de un graben ó fosa de hundimiento formado por distensión a escala regional. Los compartimientos del Valle de Aguascalientes se encuentran limitados por dos fallas normales principales y están hundidos con relación a los compartimientos vecinos que están afectados por fallas menores conjugadas a las principales. La depresión en el área de estudio provocada por distensión está asociada a la compresión en las sierras occidentales y a los derrames riolíticos característicos de la zona; los tres aspectos están asociados a la misma deformación de la corteza terrestre.

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

- Breviario Sociodemográfico del Municipio de Aguascalientes -- (1984). Presidencia Municipal de Aguascalientes. Consejo Nacional de Población, México.
- Estudio Geofísico de Resistividad en las periferias de la Cd. de Aguascalientes (EYPSA-SAHOP). (1983).
- Síntesis Geográfica de Aguascalientes (1981). Secretaría de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática.
- MATTAUER, M., (1976). Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre. Ediciones Omega, Barcelona.
- HERNANDEZ, (1981). Tesis profesional. Unidad de Bibliotecas UNAM.
- Estudio Geohidrológico de la zona sur del Valle de Aguascalientes, (1984). Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.
- KOEFOD, O., (1979b). Geosounding principles I. Elsevier Scientific Publishing Company.
- LIMA LOBATO, E.M. (1979a). A new method for the calculation of apparent resistivity curves of horizontally multilayered models. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 39, No. 3.
- LIMA LOBATO, E.M. (1979b). Deriving recurrence formulas for the eigenfunctions for each layer of horizontally multilayered earth models. Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol. 39, No.4.
- ORELLANA, E. Y MOONEY, H.M., (1966). Master tables and curves for vertical electrical soundings over layered structures. Interciencia, Madrid.

- ORELLANA, E., (1982). Prospección geoelectrica en corriente continua. Paraninfo. Madrid.
- GONZALEZ V., P., (1983), Interpretación Automática de Sondeos Eléctricos, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- TEJERO A., A., LEON S., R. Y GONZALEZ V., P., (1964), Interpretación Iterativa de Sondeos Eléctricos. Segunda reunión geohidrológica Academia Mexicana de Ingeniería. Instituto de Geología y Minería, UASLP. --- Facultad de Ingeniería, UNAM.





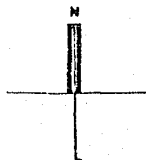
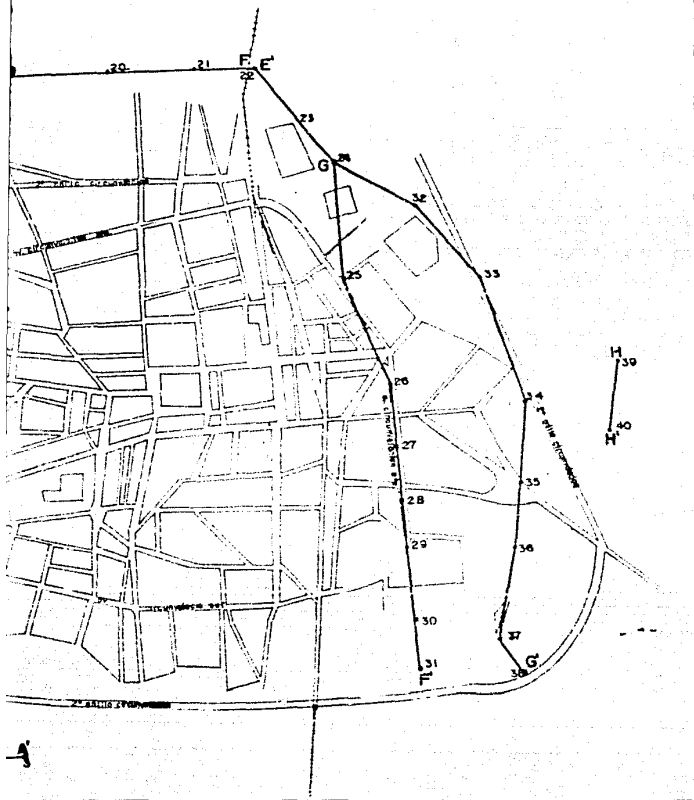
SIMBOLOGIA

- 20 SONDED ELECTRICO VERTICAL
- LINEA DE SONDEOS



ESTUDIO GEOELECTRICO DE LA
ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE
AGUASCALIENTES.

PLANO Nº 3.1



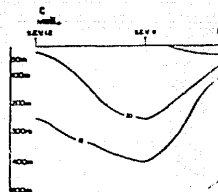
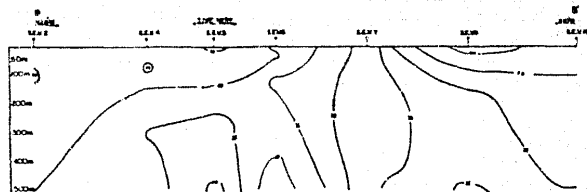
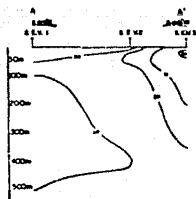
SIMBOLOGIA

- 20 SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- LINEA DE SONDEOS

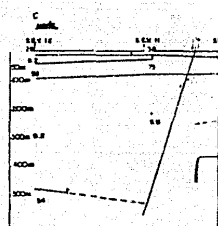
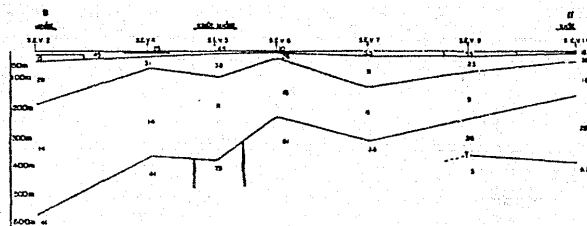
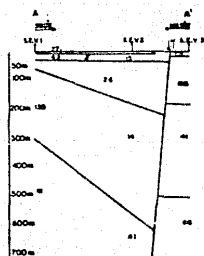


ESTUDIO GEOELECTRICO DE LA
ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE
AGUASCALIENTES.

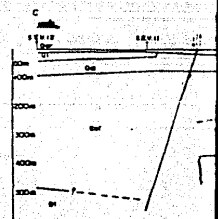
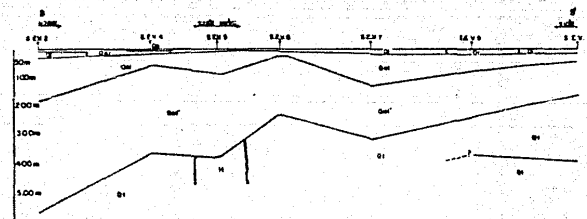
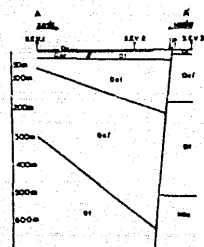
PLANO N° 3.1



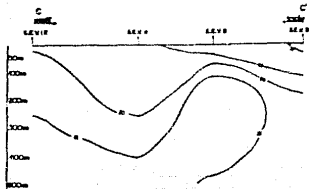
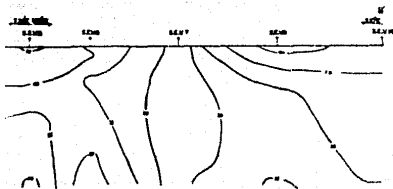
PSEUDO SECCIONES DE ISO-RESISTIVIDAD



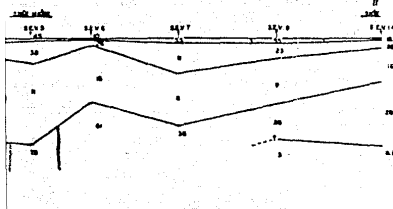
SECCIONES GEOELECTRICAS



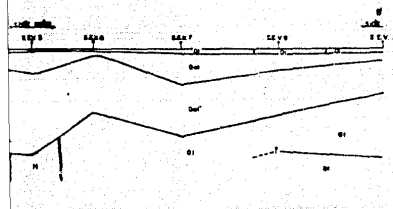
SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS



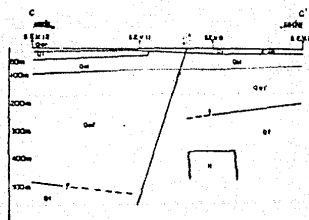
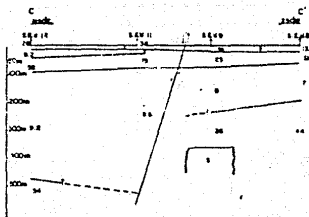
PSEUDO SECCIONES DE ISO-RESISTIVIDAD



SECCIONES GEOELECTRICAS



SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS



SIMBOLOGIA

- SEV _____ SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- CONTACTO INFERNO
- CONTACTO SUPERNO
- PLATO DE ATTRACCION DEL SONDEO
- Ω _____ RESISTIVIDAD EN OHM METRO
- INTERFASE GEOELECTRICA
- CURVA DE ISO-RESISTIVIDAD
- ||| _____ FALLA
- PUNTO PRINCIPAL DE LINEA

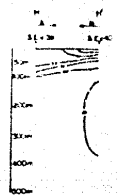
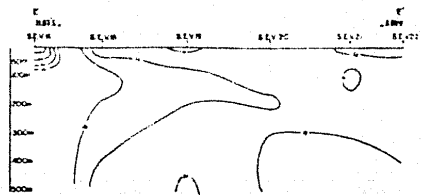
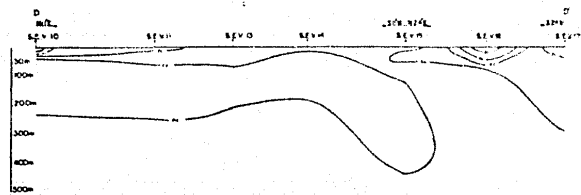
LITOLOGIA

- S1 _____ SUELOS
- D1 _____ PEDOLITA
- Al _____ ALUVION
- Cl _____ TORRA ALCALICAMENTE
- M1a _____ TORRA ZODIATALL
- M2 _____ PICOITA QUO-CALENTE
- Q1 _____ DEPÓSITOS LACUSTRES
- Q2 _____ ARENAS
- Q3 _____ ALUVION ANCIOLLO

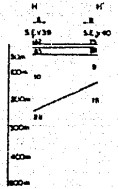
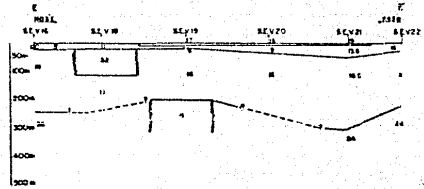
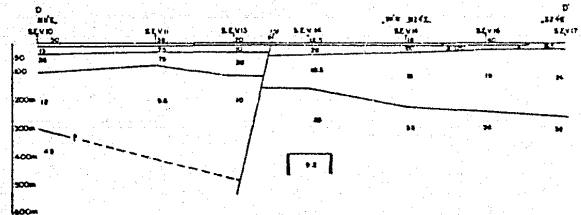
ESCALA 1:1000

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE AGUASCALIENTES.

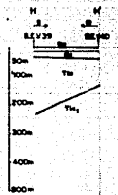
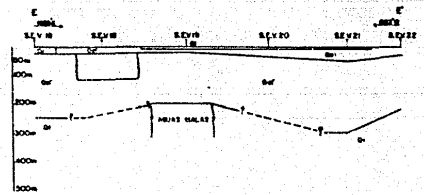
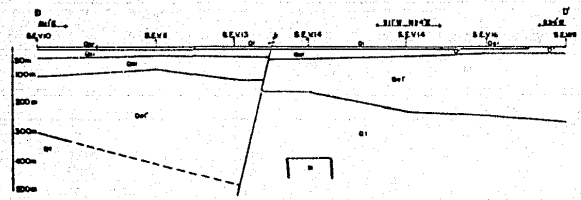
PLANO N. 12



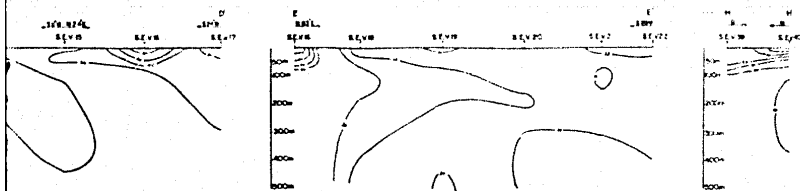
PSEUDO SECCIONES DE ISORESISTIVIDAD



SECCIONES GEODELECTRICAS



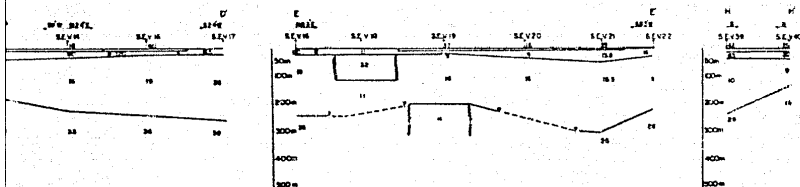
SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS



PSEUDO SECCIONES DE ISORESISTIVIDAD

SIMBOLOGIA

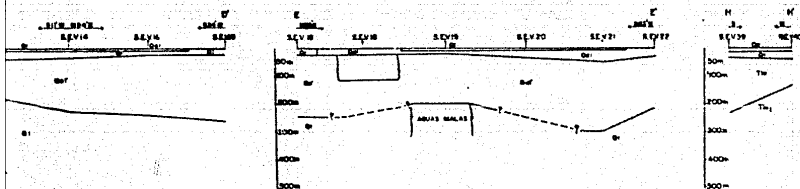
- SEV BONDOS ELECTRICOS VERTICALES
- CONTACTO IMPERFECTO
- CONTACTO GEOELECTRICO
- PLATO DE ATRACCION DEL BONDOS
- RESISTIVIDAD EN OHM-METRO
- INTENSIDAD GEOELECTRICA
- CLAVE DE RESISTIVIDAD
- FALLA
- MPE PLANO PRINCIPAL DE LINEA
- H HORIZONTALIDAD



LITOLOGIA

- G SUELOS
- Q DEPOSITOS LACUSTRES
- Q ARENITA
- Q ARENAS
- Q ALUVION
- Q ALUVION ANCIOSO
- Q TUBA ADQUASCALENTES
- MP TUBA AZOYAL
- T MOLITA OJO-CALIENTE

SECCIONES GEOELECTRICAS

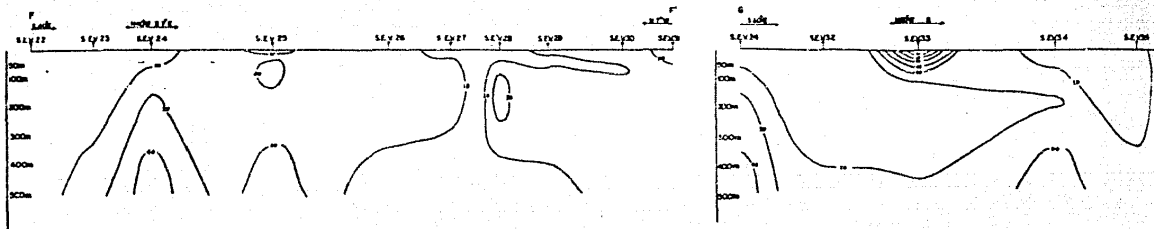


SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS

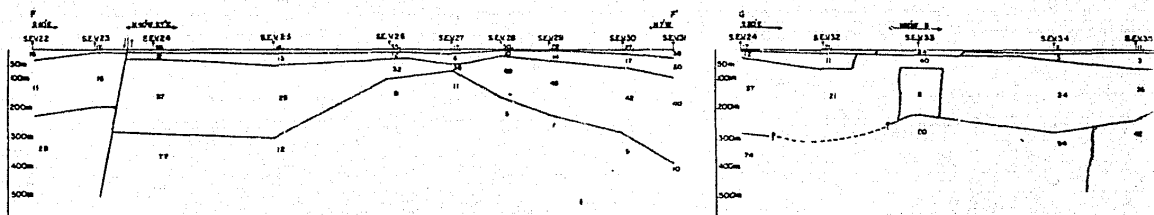
ESCALAS 1:25000 HORIZONTAL
1:2500 VERTICAL

ESTUDIO GEOELECTRICO DE LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE ADQUASCALENTES

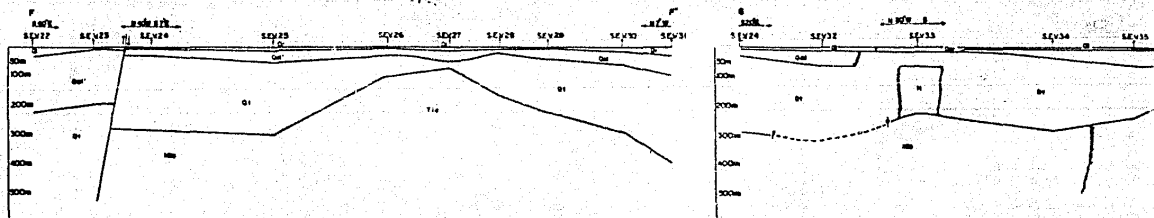
PLANO No.33



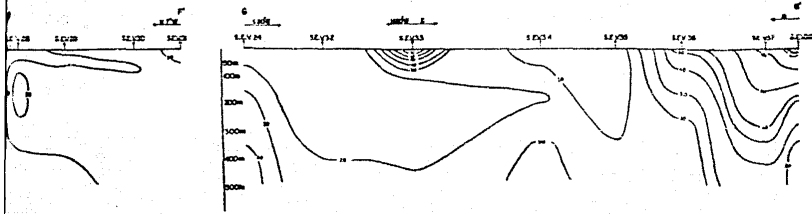
PSEUDO SECCIONES DE ISORESISTIVIDAD



SECCIONES GEOELECTRICAS

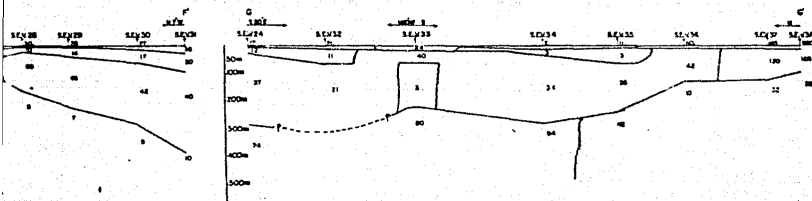


SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS



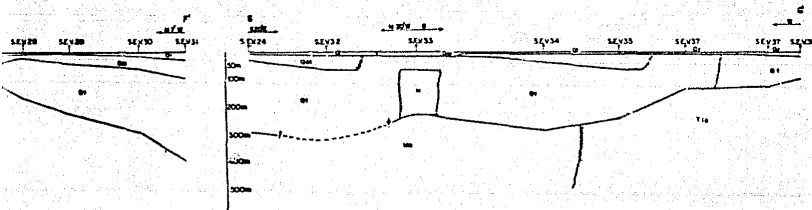
SECCIONES DE ISORESISTIVIDAD

- SIMBOLOGIA**
- SEY SONDO ELECTROD VERTICAL
 - CONTACTO INTERFED
 - CONTACTO SEELECTROD
 - PUNTO DE ATRIBUCION DEL SONDO
 - 30 RESISTIVIDAD EN OHM METRO
 - INTERFASE GEOELECTRICA
 - CURVA DE 50% RESISTIVIDAD
 - FALLA
 - NOE NUMERO PRINCIPAL DE LINEA
 - H HORIZONTALIZADO



SECCIONES GEOELECTRICAS

- LITOLOGIA**
- | | | | |
|----|----------------------|----|---------------------|
| Os | SUELOS | Oi | DEPOSITOS LACUSTRES |
| Ov | RODILITA | Op | ARENAS |
| Od | ALUVION | Of | ALUVION ANCLIZADO |
| Oj | TORBA AGUASCALIENTES | | |
| Mp | TORBA ZONATAL | | |
| Ti | PIOLTA OJO-CALIENTE | | |



SECCIONES GEOLOGICAS INTERPRETADAS

ESTUDIO SEELECTRICO DE LA
ZONA LIBRANA DE LA CIUDAD DE
AGUASCALIENTES.

