



8
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESTUDIO GEOELECTRICO PARA LA PROSPECCION
DE AGUA SUBTERRANEA

TESIS CON
TITULO DE ORIGEN

I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO GEOFISICO

P R E S E N T A :

REBECA NAVARRO HERNANDEZ

Director: M.C. Andrés Tejero Andrade

MEXICO, D. F.

1990

TESIS CON
TITULO DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

I N D I C E

	PAG.
INTRODUCCION	1
GENERALIDADES	
-Localización y Extensión del Area	3
-Vías de Comunicación	3
CAPITULO I.- GEOLOGIA DEL AREA	
I.1 Introducción	7
I.2 Marco Geológico	7
I.3 Tectónica Regional	8
I.4 Marco Hidrogeológico	8
I.5 Fisiografía	10
I.5.1 Orografía	10
I.5.2 Geomorfología	10
I.6 Estratigrafía	11
CAPITULO II.- PROSPECCION GEOFISICA	
II.1 Introducción	18
II.2 Resistividad Eléctrica	18
II.3 Teoría del Sondeo Eléctrico Vertical para Medios Estratificados	21
II.3.1 Ecuaciones Fundamentales	21
II.3.2 Medio Estratificado	21
II.3.3 Fuente Puntual	22
II.3.4 Dispositivos	22
II 3.5 Curva de Resistividades Aparentes	24
II.4 Métodos de Interpretación	27
II.4.1 Método del Punto Auxiliar	27
II.4.2 Interpretación Iterativa por el Método de Gradiente	29
II.5 Obtención de Datos de Campo	32
II.6 Interpretación Cualitativa y Cuantitativa	33
CAPITULO III.- INTEGRACION GEOLOGICA - GEOFISICA	
III.1 Introducción	44
III.2 Litología	44
III.3 Integración Geológica - Geofísica	45
III.4 Correlación Tridimensional de los Sondeos y Perfiles Efectuados.	47
CONCLUSIONES	51
REFERENCIAS	53
APENDICE I	
APENDICE II	

INTRODUCCION

En México, muchas regiones no son igualmente favorecidas por las precipitaciones pluviales en cuanto a su abundancia y distribución anual, así como con la existencia de corrientes naturales derivadas de ellas que puedan aprovecharse. En consecuencia, el aprovechamiento de las aguas subterráneas es de suma importancia. El avance de los estudios geoelectrónicos en el campo de la investigación, encaminada a la localización de acuíferos factibles de explotarse, permiten tener de manera gráfica y representativa, modelos de distribución de espesores y resistividades del subsuelo, logrando con ello el conocimiento de la estructura, geometría y productividad de el (los) acuífero (s) presentes en el área de estudio; además de aumentar las posibilidades de perforar en los sitios más idóneos.

Por lo anterior, se llevó a cabo un estudio geoelectrónico para la prospección de agua subterránea en la Cuenca de Dr. Mora-San José Iturbide, precisamente en las áreas de Florencia y San Francisco, Gto. El propósito de éste fué el de determinar los sitios óptimos para la explotación de los acuíferos existentes en área.

Para tal efecto, se programaron 15 Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's) distribuidos en 5 perfiles para el área de Florencia y 7 SEV's para el área de San Francisco, distribuidos en 3 perfiles. Se eligió el Método de Resistividad Aparente por ser el que mejores resultados aporta para la prospección de agua subterránea. El dispositivo de medición empleado para tal fin, fué el Dispositivo Schlumberger, con una abertura máxima de electrodos de corriente de $AB/2 = 650$ m., con MN variable, dependiendo de la estructura y condiciones propias del subsuelo. Las distancias entre centros de sondeo, la distribución de los perfiles, así como los métodos de interpretación, se encuentran ampliamente detallados en el Capítulo II.

Aunque en las áreas de estudio existen pozos, no se cuenta con la historia geológica de cada uno de ellos, esto se debe a que cuando fueron perforados, no se contó con la supervisión adecuada para tal fin; por lo que la geología que se presenta en esta Tesis, es una recopilación de trabajos hechos con anterioridad. (referencias 1 y 2).

GENERALIDADES

Localización y Extensión del Área

El área de estudio se localiza en el extremo Noreste del Estado de Guanajuato, está comprendida entre los paralelos 21° y 21°12'56" latitud Norte y 100°12'41" y 100°30' longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. (figuras 1, 2 y 3).

Vías de Comunicación

El área de estudio se encuentra bien comunicada, existiendo caminos de primero, segundo y tercer orden, la mayoría de ellos transitables todo el año.

Dentro de los caminos de primer orden se tienen, la carretera Federal pavimentada No. 57, que va de Querétaro a San Luis Potosí, la desviación a San José Iturbide, la carretera que va de San Miguel Allende a Dr. Mora y la carretera que va de San José Iturbide a San Luis de La Paz.

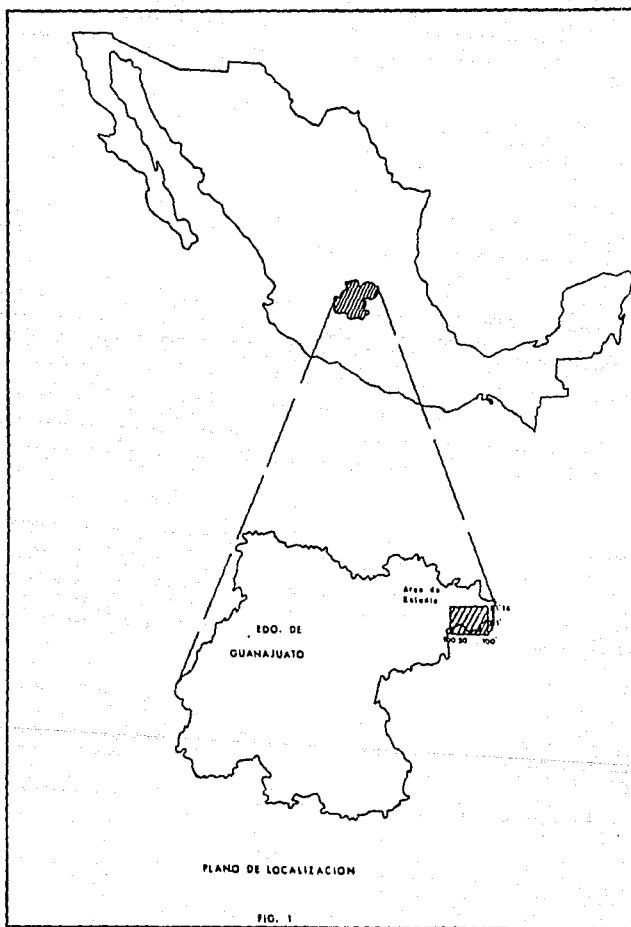
Correspondientes al segundo orden, se encuentra una red de caminos de terracería transitable en cualquier época del año, estos son de: San José Iturbide a Santa Catarina y de San José Iturbide a Dr. Mora.

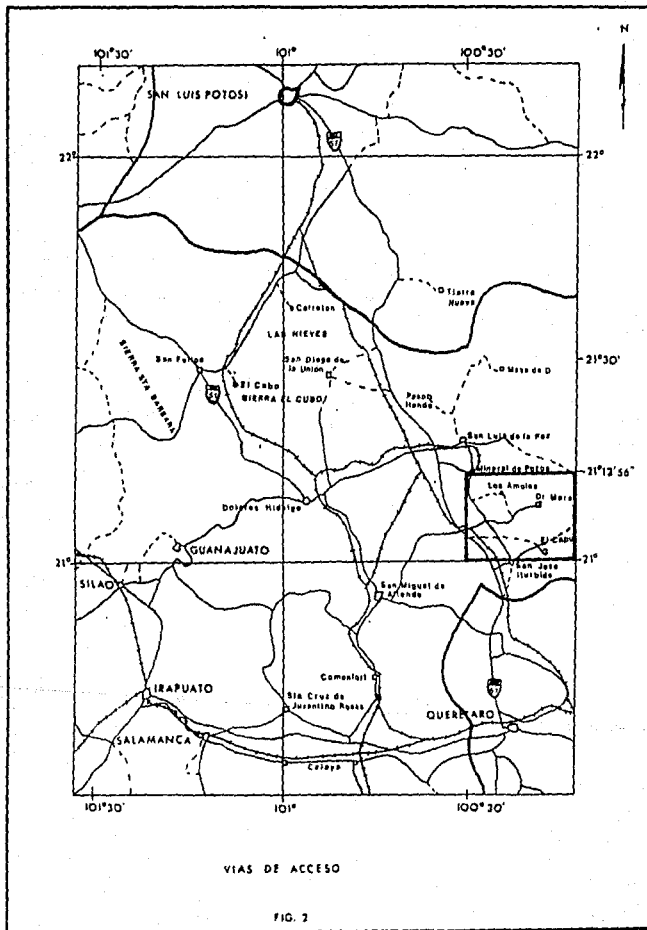
De las carreteras mencionadas anteriormente, parte una gran cantidad de caminos considerados como de tercer orden, principalmente brechas y veredas que unen a distintos poblados y fincas aisladas.

Por la parte Suroeste del área de estudio, cruza el ferrocarril que va de la Ciudad de México a San Luis Potosí.

En cuanto a la comunicación aérea, se cuenta con dos pistas de aterrizaje, situadas hacia el Suroeste de la Ciudad de San José Iturbide.

Por lo que a otros medios de comunicación respecta, sólo las principales poblaciones cuentan con servicios de energía eléctrica, teléfono y servicio postal.





CROQUIS DE LOCALIZACION

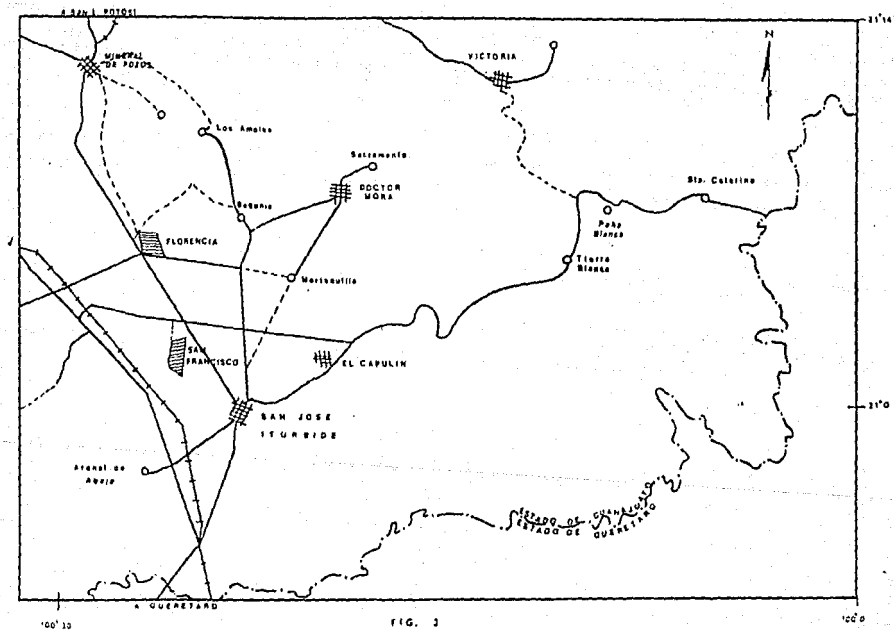


FIG. 3

CAPITULO I

GEOLOGIA DEL AREA

I.1 INTRODUCCION

La información geológica del área de estudio, Florencia-San Francisco, Gto., fué recopilada de trabajos previos (ver referencias 1, 2). La cual se tomó como base para la correlación geológica-geofísica del presente estudio. La descripción de ésta se presenta de manera regional y está comprendida entre los paralelos 21° y 21°30' latitud Norte y 100°30' y 101° de longitud Oeste del Meridiano de Greenwich. (fig. 2)

I.2 MARCO GEOLOGICO

La columna geológica (fig. 4) expuesta en el área de estudio, está integrada por rocas ígneas extrusivas e intrusivas del Terciario, siendo las primeras escasas en afloramientos y las segundas más abundantes y de variadas composiciones y texturas; también, se observan rocas sedimentarias del Cretácico y sedimentos aluviales del Cuaternario. Cada una de estas Unidades Litológicas presentan características texturales, genéticas e hidrogeológicas particulares, las cuales se han utilizado para la delimitación de las áreas susceptibles de contener aguas subterráneas.

I.3 TECTONICA REGIONAL

El área estudiada se encuentra situada entre las Provincias Fisiográficas la Meseta Central y de la Sierra Madre Oriental. Como se sabe, el origen de esta última proviene de la Orogenia Laramide que plegó a las rocas que constituyen a la gran Sierra. El antiguo concepto de Geosinclinal Mexicano considerado para la Sierra Madre Oriental, ha sido cambiado a últimas fechas; por los trabajos de exploración efectuados en esta gran cadena montañosa, nos indican que los sedimentos que la constituyen se depositaron sobre una gran unidad paleogeográfica de alcance regional y que hoy conocemos como Plataforma de Valles San Luis (Carrillo Bravo 1971, vol. XXIII, Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros).

Esta unidad paleogeográfica influyó notablemente tanto en el depósito de sus sedimentos como en los movimientos diastróficos que dieron lugar a la Sierra Madre Oriental. Los principales rasgos estructurales de la Sierra mencionada, los constituyen sus grandes plegamientos anticlinales y sinclinales, angostos y alargados, recumbentes, bifurcados y orientados regionalmente con un rumbo NNW - SSE, con sinuosidades y curvaturas notables.

En el área de estudio, son pocas las estructuras anticlinales que se pueden inferir, debido principalmente a los extensos derrames riolíticos que vinieron a cubrir grandes superficies de rocas sedimentarias Cretácicas.

I.4 MARCO HIDROGEOLOGICO

Las posibilidades acuíferas del área estudiada son en general favorables, debido a que los depósitos aluviales que

forman el relleno del amplio valle de San José Iturbide - Pr. Mora, tienen buena permeabilidad y espesor. En esta zona de explotación acuifera, como en la mayor parte de las que constituyen el área de estudio, se puede observar la presencia de dos acuíferos, uno frío, superior, contenido en aluviones recientes y en sedimentos granulares formados por gravas, arenas y arcillas, con algunas intercalaciones tobáceas riolíticas, las cuales se depositaron durante el periodo Terciario en condiciones aluviales y lacustres; y otro termal inferior, contenido en rocas riolíticas, los cuales se encuentran intercomunicados, debido a que no existe un medio confinante que los separe.

El acuífero superior tiene su mayor potencialidad hacia el Norte, en la zona de San Luis de La Paz, la cual se conoce también como Laguna Seca, donde el espesor de sedimentos granulares es considerable.

Hacia el Sur de este valle, en las cercanías de San José Iturbide, disminuye el espesor de sedimentos granulares encontrándose más somero el contacto con las rocas riolíticas subyacentes, en las cuales se encuentra alojado el acuífero inferior, que produce agua de buena calidad con temperaturas del orden de los 40 °C.

Se ha iniciado la exploración de las posibilidades acuíferas en rocas riolíticas mediante la perforación de pozos en la zona de la Alameda, al Poniente de San José Iturbide con buenos resultados, este acuífero puede producir volúmenes adicionales de aguas subterráneas en el propio valle de San José Iturbide - Dr. Mora, en donde ya se empiezan a observar signos de sobre explotación de el acuífero superior. En este valle, las rocas riolíticas forman el basamento sobre el que descansan los materiales aluviales, por lo que para su explotación se deberán atravesar los acarrees y profundizar en las tobas riolíticas fracturadas.

I.5 FISIOGRAFÍA

I.5.1 Orografía

Los principales conjuntos montañosos que se presentan en el área de estudio son los siguientes:

Hacia la parte Noreste del área existen las Sierras de El Cubo y Las Nieves, al Suroeste La Sierra de Guanajuato cuyas estribaciones se extienden al Poniente y Sur de la Ciudad de Dolores Hidalgo. Por último, hacia el extremo Oriental del área se presenta la estribación Poniente de la Sierra Madre Oriental constituida principalmente por las Sierras de Mesa de Jesús y Xichú al Noreste y Oeste de San Luis de La Paz; y la Sierra de El Zamorano al Este de San José Iturbide. El resto del área, como puede observarse en la figura 2, se encuentra ocupada por un amplio valle comprendido entre San Miguel de Allende, Dolores Hidalgo, San Diego de la Unión, San Luis de La Paz y San José Iturbide.

I.5.2 Geomorfología

Al Noroeste del área se presentan sierras altas con mesetas laterales, compuestas por rocas ígneas extrusivas ácidas. En la parte Norte y Oriente se encuentran mesetas lávicas, las cuales corresponden a rocas ígneas extrusivas ácidas (riolitas) del Terciario y sobreyaciéndolas, rocas ígneas extrusivas básicas del Cuaternario (basaltos). En la parte Central y al Poniente del área se encuentran amplios valles que son cuencas rellenas por materiales clásticos principalmente de tipo lacustre intercalados con depósitos volcánicos contemporáneos. Hacia el Sur y Suroeste del Área se tienen nuevamente sierras altas con mesetas laterales, compuestas principalmente por rocas ígneas extrusivas ácidas y por rocas sedimentarias (calizas). Una pequeña área al Noroeste está constituida por sierras pequeñas

escarpadas, compuestas por rocas sedimentarias, principalmente calizas y una alternancia de lutitas y areniscas.

I.6 ESTRATIGRAFIA

PRE-CRETACICO

Las rocas de edad Pre-Cretácico, están representadas por rocas metamórficas constituidas principalmente por esquistos. Sobreyaciendo a éstos, existen afloramientos de rocas marinas del Cretácico; el único afloramiento en el área se encuentra localizado al Oriente de San Miguel de Allende.

MESOZOICO

Cretácico Inferior

En esta área, se encuentra representado por la Formación El Doctor. Esta unidad litoestratigráfica fué definida por B. W. Wilson, J. P. Hernández y E. Meave en 1955 y tomaron como localidad tipo los afloramientos que se encuentran en el Distrito Minero El Doctor en Querétaro, al Poniente del poblado de Zimapán, Hgo. En esta Formación se distinguieron cuatro cuerpos litológicos con características diferentes y que denominaron Facies Cerro Ladrón, San Joaquín, La Negra y Socavón.

En el área de estudio afloran las facies la Negra y Socavón, la primera se caracteriza por presentarse en capas delgadas de caliza de color gris que intemperiza a gris claro con espesores

de 5 a 20 cm., y con lentes de pedernal negro de 5 cm. de grueso, de textura microcristalina con intercalación de lutita roja y violácea que intemperiza en rojo.

Facies La Negra, se encuentra aflorando al Norte de Carbonera Guadalupe, en la porción Noroccidental del área y al Norte del poblado de Dr. Mora, sobre el arroyo La Hervidora. No se pudo apreciar su espesor total por encontrarse cubierta con sedimentos más recientes.

Facies Socavón. Se caracteriza por estar constituida por calcarenitas de estratificación gruesa y por la presencia de horizontes conglomeráticos calcáreos de hasta 2 mts. de espesor. Aflora al Sur de la Chamacuera, en la porción Suroriental del área y al Poniente de la población El Guajolote en la parte Suroccidental de la misma.

A estas Facies se les observa gran porosidad secundaria y su escaso fracturamiento no está bien desarrollado, siendo este muy irregular.

Cretácico Superior

Con el término de Capas Cárdenas, E. Base (1906) identificó una sección de sedimentos arcillo-calcáreos y arenosos de origen volcánico, aflorantes en las cercanías de la Ciudad de Cárdenas, S.L.P., asignándoles una edad Senoniano. A. Heim (1925) las denominó Capas Cárdenas y las consideró de edad Senoniano Superior. Finalmente Imlay (1944) les da una edad Maestrichtiano con posibilidades de que sus capas superiores sean del Terciario.

En la zona de Mineral de Pozos, al Sur de San Luis de La Paz, se encuentran aflorando estas rocas, representadas por lutitas calcáreas y calizas arcillosas en capas delgadas; descansando sobre calizas de la Formación El Doctor y cubiertas parcialmente por depósitos andesíticos y riolíticos en cuyos contactos se presentan mineralizaciones de fluorita.

Al Sureste de San José Iturbide y al Norte de Juventino Rosas, existen afloramientos importantes de estas unidades, las

cuales se encuentran afectados por intrusivos ígneos, que han provocado metamorfismo de contacto, dando lugar a la formación de esquistos. En ambos lugares, las rocas arcillo-calcareas están cubiertas por rocas riolíticas y en sus contactos se han formado yacimientos de arena sílica y caolín.

CENOZOICO

Terciario (Eoceno - Oligoceno)

Grupo El Morro. Fue sugerido por primera vez por K. Segerstrom (1961) como Formación El Morro y tomó como localidad tipo las rocas que afloran en el Cerro El Morro que se localiza a 6 km. al Noroeste de Zimapán, Hgo. Posteriormente el mismo Segerstrom lo consideró Grupo el Morro.

Este Grupo está muy consolidado y es muy resistente a la erosión, motivos por los cuales forma laderas de fuertes pendientes y numerosos cantiles.

Las características de la roca son: de coloración rojiza, gris rojiza o gris púrpura, muy bien consolidada y compuesta en su totalidad por guijas y pedregones de caliza gris y menos comunes los de caliza parda, con formas que varían de angulosas a subangulosas, con tamaños que van de 2 a 50 cm.; la matriz está integrada principalmente por Carbonato de Calcio, arena y en menor proporción cuarzo, feldespatos y micas.

En el área de estudio, esta unidad se presenta con estratificación muy bien definida. Sobreyace discordantemente (discordancia angular) a la Formación Cárdenas, este Grupo se encuentra subyaciendo a derrames riolíticos.

Respecto a la sedimentología, este Grupo se depositó en un medio ambiente continental en cuencas de drenaje endorréico producidas por los movimientos orogénicos de la Revolución Laramide.

Terciario_(Oligoceno)

Descansando sobre rocas Cretácicas calcáreas de San José Iturbide y San Luis de La Paz, y constituyendo el 70% de los afloramientos del área, se observan grandes depósitos de rocas riolíticas, integrados por tobas, ignimbritas y depósitos vulcanoclásticos.

Estos depósitos representan la extensión del gran afloramiento que constituye la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, el cual es el de mayor extensión en el mundo.

Las rocas riolíticas son las de mayor superficie de afloramiento, localmente bordean la parte Sur y Este de la cuenca de Dr. Mora - San José Iturbide, topográficamente se presentan formando cerros de forma aguda o como pequeños remanentes aislados de pendiente suave. El color de las riolitas va de café rojizo a gris violáceo, su textura varía de afanítica a porfirítica, de matriz que va de vítrea a cristalina; su composición mineralógica tiene un alto porcentaje de cuarzo y feldespatos.

Las tobas riolíticas del área son de color rosado claro, y están formadas por cristales de cuarzo, feldespatos y micas, en una matriz constituida por los mismos materiales finamente triturados y vidrio, su compactación es media y su textura granular. Generalmente se observa una cierta estratificación la cual en ocasiones se distingue claramente debido a que su depósito se efectuó en zonas lacustres aluviales; por lo que es frecuente encontrar intercalados entre las capas de tobas, capas de grava, arenas y arcillas, siendo también frecuente encontrarlas mezcladas formando tobas híbridas, las cuales también se conocen como tobas compuestas o rocas vulcanoclásticas, pues están formadas por fragmentos redondeados por efecto del arrastre y la erosión de rocas ígneas, entre las que predominan fragmentos de vidrios riolíticos y sedimentarios entre los que se pueden observar fragmentos de calizas y areniscas calcáreas, todos empacados en material tobáceo riolítico, generalmente suave, aunque llegan en ocasiones a

adquirir gran dureza.

Estas tobas se encuentran aflorando aproximadamente a 13 km. al Oriente de Dr. Mora y al Poniente del poblado de Cerrito - El Arenal, en la porción Suroccidental del área.

Intercaladas con las tobas riolíticas se observan en el área, extensos y potentes depósitos de ignimbritas riolíticas, las cuales son de color café rojizo y están integradas por cristales de cuarzo, feldespatos y mica en una matriz formada por vidrio riolítico y fragmentos de pómez. Estas ignimbritas fueron depositadas mediante precipitación de nubes ardientes, por lo que este tipo de rocas llegan a alcanzar una gran compactación al soldarse y vitrificarse los materiales que la integran, debido a las altas temperaturas que conservan al momento de su depositación.

Este tipo de rocas debido a su dureza son frágiles, por lo que fueron grandemente afectadas por los movimientos tectónicos que las fracturaron con gran facilidad.

Los afloramientos riolíticos del área forman serranías, con alturas medias del orden de los 2,500 m.s.n.m., entre los que destacan la de Tierra Nueva al Sureste de la Ciudad de San Luis Potosí, la cual se inicia en las cercanías de la Ciudad citada y termina cerca de la Ciudad de San Luis de La Paz, al Noreste del área de estudio.

Terciario (Elioceno)

Los afloramientos de esta época están formados por basaltos y ocurren hacia la parte Norte y Noreste del área, localizándose a los alrededores del poblado de Dr. Mora, y yacen sobre calizas y riolitas.

Los basaltos van de color gris oscuro a negro, con cristales de color verde que megascópicamente están considerados como olivino; este material se encuentra diseminado y también en forma de bandas paralelas. Hacia la parte superior de las

coladas de lava, la roca presenta vesículas hasta de 3 cm. de diámetro, algunas de ellas se encuentran rellenas por zeolitas.

Estas rocas son las más recientes de la secuencia volcánica, ya que se les ha observado descansando sobre riolitas a las que cubren parcial o totalmente.

DEPOSITOS PIE DE MONTE

Se encuentran principalmente en la porción Oriental del área, formando lomeríos de mediana altura y alargados sin orientación preferente.

Los depósitos de Pie de Monte son de color que va de crema a café claro y amarillento, constituidos por arcillas, limos, arenas y grava; éstos se encuentran pobremente consolidados y son de composición calcárea y riolítica, se encuentran en las laderas de las sierras. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que sean remanentes de los conglomerados lacustres formados durante el Terciario Superior.

CUATERNARIO

Cubriendo la mayor parte de los sedimentos que constituyen las partes bajas, el Aluvión es de gran importancia para la explotación de aguas subterráneas; y es en éste, donde se encuentran la mayoría de las extracciones actualmente.

El aluvión está constituido por arcillas, limos, arenas, gravas y cantos rodados distribuidos de manera irregular dentro de la cuenca, pero predominando en toda ella las arenas y arcillas.

COLUMNA GEOLOGICA

ERA	PERIODO	EPOCA	FORMACION	
C E N O Z O I C O	CUATERNARIO	RECIENTE	DEPOSITOS ALUVIALES (Qa1) DEPOSITOS DE PIE DE MONTE	
		T E R C I A R I O	PLIOCENO	POCAS IGNEAS EXTRUSIVAS (E1)
	MIOCENO			
	OLIGOCENO		ROCAS IGNEAS EXTRUSIVAS (F - I)	
	EOCENO		GRUPO EL MOPO (G1)	
	PALEOCENO			
M E S O Z O I C O	C R E T A C I O	SUPERIOR	Fm. CADEZAS (Lu - M1)	
		INFERIOR	Fm. EL DOCTOR (C1) Fm. EL ARPA (C2)	
	J U R A S I C O	S U P E R I O R	SUPERIOR	
			MEDIO	
			INFERIOR	
	T R I A S I C O	T R I A S I C O	T R I A S I C O	
PALEOZOICO			ESQUISTOS (E1)	



NO AFLOJA

FIG. 4

CAPITULO II

PROSPECCION GEOFISICA

II.1 INTRODUCCION

La Prospección Geofísica es una rama de la ingeniería Geofísica, que se encarga del estudio de las estructuras ocultas en el 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 mediciones realizadas, en la mayoría de los casos, en la superficie de la Tierra (Orellana, 1982). Abarca distintos métodos de exploración entre los cuales destaca la Prospección Geoeléctrica. Así mismo, la Prospección Geoeléctrica se divide en una gran cantidad de métodos y técnicas, entre los cuales se encuentra el Método de Resistividad. Este método presenta dos técnicas de medición, que son las Cálcatas Eléctricas y los Sondeos Eléctricos Verticales; siendo estos últimos, a los que está enfocada la presente tesis.

II.2 RESISTIVIDAD ELECTRICA

Las propiedades físicas de las rocas y minerales que son importantes en la Prospección Geoeléctrica para determinar el comportamiento del campo electromagnético en un medio, son tres: la constante dieléctrica (ϵ), la permeabilidad magnética (μ) y la resistividad eléctrica (ρ). Esta última es la más importante

de la tres propiedades en la determinación del flujo de corriente eléctrica en un material. La resistividad de un material está definida como una forma de la expresión matemática de la Ley de Ohm, que establece que la intensidad del campo eléctrico (\vec{E}) en un punto dentro del material es proporcional a la densidad de corriente eléctrica (\vec{J}) pasando por dicho punto:

$$\vec{J} = \sigma \vec{E}$$

de donde:

$$\vec{E} = \rho \vec{J}$$

Fisicamente la resistividad es una medida de la dificultad de paso que la corriente eléctrica encuentra al atravesar un material determinado, si en cambio consideramos la facilidad de paso, aparece el concepto de conductividad eléctrica (σ):

$$\sigma = 1/\rho$$

Las unidades de medida en el Sistema M.K.S. para la resistividad y la conductividad eléctricas son respectivamente el ohm-metro ($\Omega\cdot m$) y el mho/metro (U/m).

La conductividad es una magnitud física cuyo rango de variación es grande, puesto que depende de diversos mecanismos físicos; así como también, de la estructura del cuerpo considerado. La conductividad de los cuerpos se debe a que permiten pasar a través de ellos a los portadores de las cargas eléctricas. Estos portadores pueden ser electrones o iones; en razón de esto, se puede decir que existen dos tipos de conductividad: electrónica e iónica.

Los materiales con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores; los de conductividad iónica por su parte, se clasifican en dieléctricos y electrolitos líquidos.

En la siguiente lista se pueden apreciar algunos márgenes de variación de la resistividad de las aguas naturales, basada en datos de diferentes autores.

Agua de lagos y arroyos de alta montaña	10^1 a 3.10^1	Ω -m
Aguas dulces superficiales	10 a 10^1	Ω -m
Aguas salobres superficiales	2 a 10	Ω -m
Aguas subterráneas	1 a 20	Ω -m
Agua de lagos salados	0.1 a 1	Ω -m
Aguas de impregnación de rocas	0.3 a 10	Ω -m
Aguas Marinas	0.2	Ω -m

Excepcionalmente se encuentran resistividades que exceden de los límites indicados.

Ahora bien, la resistividad de las rocas va a depender de la saturación y salinidad del agua, la porosidad y textura de la roca, así como de la interacción entre la matriz de la roca y el agua contenida en los poros de la misma. La figura (5) muestra rangos de variación de la resistividad de algunas rocas y minerales, dado que en la realidad no se puede asignar un valor específico de resistividad a cada roca o mineral.

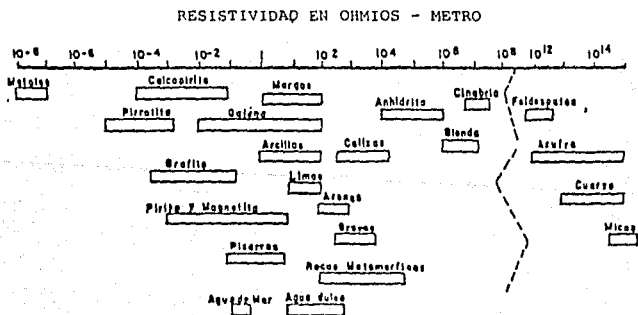


FIG. (5) MAPAS DE VARIACION EN ROCAS Y MINERALES.

(OPELLANA, 1972)

II.3 TEORIA DEL SONDEO ELECTRICO PARA MEDIOS ESTRATIFICADOS

II.3.1 ECUACIONES FUNDAMENTALES

El problema directo en la Prospección Geoeléctrica, consiste en determinar el potencial en la superficie limite aire-tierra de un medio estratificado. El problema ha sido estudiado por varios autores, para una fuente puntual de corriente, situada en dicha superficie y posteriormente, se puede extender por superposición al caso de varias fuentes puntuales.

II.3.2 MEDIO ESTRATIFICADO

Consideremos un medio estratificado de N capas Fig. (6), donde cada estrato es homogéneo e isótropo, por lo cual se cumple en cada uno ellos la ecuación de Laplace:

$$\nabla^2 U = 0 \quad \text{-----(1)}$$

A excepción de la primera capa, en donde por existir fuentes, se tiene que sumar una solución particular a la solución general.

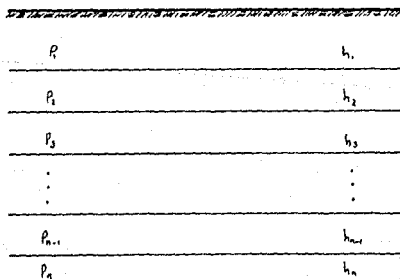


FIG. (6) MEDIO ESTRATIFICADO DE N CAPAS

11.3.3 FUENTE PUNTUAL

El potencial producido por una fuente puntual en la superficie de un medio estratificado ($Z = 0$) se expresa como:

$$U = (I\rho_1/2\pi) \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda \quad \text{----- (2)}$$

donde $K(\lambda)$ es la función Kernel o función característica y es una función de los espesores y resistividades del medio estratificado, que puede ser obtenido por la aplicación de la relación de recurrencia de Pekeris que se expresa de la siguiente manera (Koefoed 1979):

$$K_i = [K_{i+1} + \rho_i \tanh(\lambda E_i)] / [\rho_i + K_{i+1} \tanh(\lambda E_i)] \quad \text{----- (3)}$$

11.3.4 DISPOSITIVOS

Para obtener la resistividad aparente, se utilizan arreglos electródicos muy variados. Entre los dispositivos más utilizados y más difundidos en la prospección geoelectrónica, se encuentran el dispositivo Schlumberger y el dispositivo Wenner. Figuras (7) y (8) respectivamente.

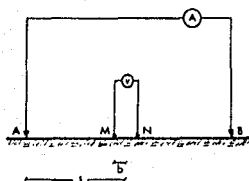


FIG. (7)
DISPOSITIVO TETRAELECTRÓNICO
SCHLUMBERGER

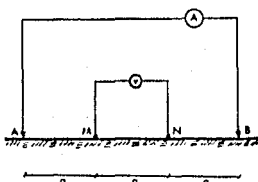


FIG. (8)
DISPOSITIVO TETRAELECTRÓNICO
WENNER

El dispositivo Schlumberger pertenece a un grupo de dispositivos conocidos como tetraelectrónicos, el cual consiste de dos electrodos de corriente (A y B) que se desplazan de manera equidistante al centro u origen "O" para cada abertura, de tal forma que siempre se conserve la relación $AO = OB = AB/2$; y de dos electrodos de potencial (M y N) que se mantendrán fijos a una distancia que conserve la siguiente relación:

$$MN = AB/5 \quad \text{además} \quad MO = ON = MN/2$$

La resistividad aparente para este dispositivo viene dada por Orellana (1981).

$$\rho_{a,s} = \pi r^2 |E| / I \quad \text{----- (4)}$$

donde $|E|$ es el módulo del campo eléctrico. En la práctica el módulo del campo eléctrico se expresa como:

$$|E| = \Delta U / MN \text{----- (5)}$$

El campo eléctrico se obtiene a partir de derivar la ecuación (2):

$$|E| = -\partial U / \partial r = - (I \rho_1 / 2\pi) \partial / \partial r \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda$$

$$|E| = (I \rho_1 / 2\pi) \int_0^{\infty} K(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad \text{---- (6)}$$

pues como es sabido:

$$\partial J_0(\lambda r) / \partial r = -\lambda J_1(\lambda r)$$

donde $J_1(\lambda r)$ es la función Bessel de primera especie y orden uno. Sustituyendo la ecuación (6) en la ecuación (4):

$$\rho_{a,s}(r) = \rho_1 r^2 \int_0^{\infty} K(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad \text{----- (7)}$$

donde:

$$r = AB/2 = OA$$

Expresión que calcula la resistividad aparente medida por un dispositivo tipo Schlumberger en un medio estratificado.

El dispositivo Wenner, también tetraelectrónico, consiste a su vez de dos electrodos de corriente (A y B) y de dos electrodos de potencial (M y N) que se irán abriendo de manera simétrica al origen "O", conservando la relación:

$$AM = MN = NB$$

y cuya resistividad aparente está dada por (Orellana, 1982):

$$\rho_{s,w} = 2\pi r \Delta U / I \text{ ----- (8)}$$

En este caso ΔU representa la diferencia de potencial entre dos puntos situados a las distancias r y $2r$ de los electrodos de corriente.

$$\Delta U = (I\rho_1/\pi) \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda - (I\rho_1/\pi) \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(2\lambda r) d\lambda \text{ --- (9)}$$

Sustituyendo la ecuación (9) en la ecuación (8):

$$\rho_{s,w}(r) = 2\rho_1 r \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(\lambda r) d\lambda - 2\rho_1 r \int_0^{\infty} K(\lambda) J_0(2\lambda r) d\lambda \text{ ---- (10)}$$

De esta forma se puede observar que la curva de resistividades aparentes no solo depende de los datos que especifica el corte considerado, sino del tipo de dispositivo electrónico con el que se hayan efectuado las mediciones.

II.3.5 CURVA DE RESISTIVIDADES APARENTES

Esta curva representa gráficamente en escala logarítmica, la solución del problema directo, esto es, dado un corte geoelectrónico, expresa la serie de valores de la resistividad aparente que se obtendrán con un dispositivo electrónico determinado.

Las propiedades más importantes de la curva de resistividades aparentes son las siguientes:

a) Continuidad: Esto es, que siempre que las resistividades del corte sean finitas, la función $\rho_a(r)$ es continua.

b) Asíntotas Horizontales: La función $\rho_a(r)$ tiende respectivamente para $r \rightarrow 0$ y $r \rightarrow \infty$ a los límites ρ_1 y ρ_n .

c) Fallo de la Ley de Simetría de cortes recíprocos: En las curvas de resistividad aparente no se cumple el principio de simetría con respecto al eje de las abscisas.

d) Asíntotas Oblicuas: En el caso límite $\rho_n \rightarrow \infty$ la curva de resistividades aparentes en su representación logarítmica posee una asíntota rectilínea, de pendiente +1. Esta asíntota no existe en el caso descendente.

En el presente estudio se hizo uso, para el cálculo de la curva de resistividad aparente teórica, del método de filtrado lineal, aplicando para ello un filtro de 20 coeficientes con 6 muestras por ciclo logarítmico (O'Neill 1975).

La posibilidad de aplicar la teoría de filtros lineales, radica en el hecho de que la siguiente ecuación:

$$\rho_{a,s} = r^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad \text{----- (11)}$$

donde:

$$T(\lambda) = \rho_1 K(\lambda)$$

se puede representar en una integral de convolución, para este propósito, es necesario sustituir las variables independientes de las funciones (ρ_a) y (T) por variables logarítmicas. Donde se debe tomar en cuenta que (λ) tiene la dimensión del recíproco de la distancia y que es conveniente que las variables

independientes en las funciones (ρ_s) y (T) sean dimensionalmente comparables, por lo que estas se definen como:

$$x = \ln r; \quad y = \ln(1/\lambda) = -\ln(\lambda)$$

con esta sustitución la ecuación (11) se transforma en :

$$\rho_{s,s}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(y) J_1(e^{x-y}) e^{-2|x-y|} dy \text{ -----(12)}$$

esta ecuación puede reescribirse como:

$$\rho_{s,s}(x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(y) h_s(x-y) dy = T(x) * h_s(x) \text{ -----(13)}$$

donde:

$$h_s(x) = J_1(e^x) e^{2x}$$

donde se puede observar que la función de resistividad aparente $\rho_s(x)$ es la convolución de la función transformada de resistividad $T(y)$ con la función $h(x)$, demostrándose así, la consecuencia más importante de la teoría de sistemas lineales.

La determinación de los valores muestreados o coeficientes de filtros lineales, ha sido tratado por distintos autores como Ghosh (1971), O'Neill (1975), Koefoed (1979), Seara (1977 y 1979), Johansen (1975) y Anderson (1979) quienes han publicado los filtros obtenidos para diferentes intervalos de muestreo. La técnica para la determinación de coeficientes de filtro de resistividad más ampliamente usada se basa en el análisis de Fourier de la ecuación (13). Donde $F(f)$, $G(f)$ y $H(f)$ representan las transformadas de Fourier de las funciones $\rho_s(x)$, $T(y)$ y $h(x)$ respectivamente, entonces en el dominio de las frecuencias la ecuación (13) se expresa como:

$$F_s(f) = G(f) H_s(f) \text{ -----(14)}$$

de la cual se puede obtener:

$$H_s(f) = F_s(f)/G(f) \text{ -----(15)}$$

Esta última ecuación establece que la transformada de Fourier de la función de filtro inverso $H_*(f)$, es el cociente de las transformadas de Fourier de las funciones de resistividad aparente y transformada de resistividad. Por lo tanto de la transformada inversa de Fourier de la expresión (15) es posible obtener la función de filtro inverso de resistividad.

De la literatura existente pueden recopilarse los siguientes filtros lineales inversos, para dispositivo Schlumberger

AUTOR	No. DE COEFICIENTES	INTERVALO DE MUESTREO
Ghosh (1971)	9	$\Delta x \ 1/3 \ln(10)$
Koefoed (1971)	19	$\Delta x \ 1/4 \ln(10)$
O'Neill (1975)	20	$\Delta x \ 1/6 \ln(10)$
Sears (1979)	128	$\Delta x \ 1/8 \ln(10)$
Johansen (1975)	139	$\Delta x \ 1/10 \ln(10)$
Anderson (1979)	283	$\Delta x \ 1/11.513 \ln(10)$

II.4 METODOS DE INTERPRETACION

II.4.1 Método del Punto Auxiliar

La resolución del problema inverso u obtención de los espesores y resistividades del medio estratificado, se llevó a cabo por medio del método gráfico del punto auxiliar.

El método del punto auxiliar ha sido tratado por varios autores, por lo que presenta distintas modalidades, en esta sección se describe el método en su forma original debida a Ebert, que está basada en el uso de diagramas auxiliares junto con una colección de curvas teóricas de dos capas.

Como paso previo a la aplicación del método, el interpretador debe decidir si la curva de campo es de tipo H, K, Q, A, QH, etc.

Para la aplicación del método de Ebert a la interpretación de curvas de campo de tres o más capas, se siguen las etapas descritas a continuación: (González V., 1983).

1) Se superpone el papel transparente que contiene la curva de campo a la lámina de las curvas teóricas de dos capas, y se desplaza manteniendo siempre los ejes coordenados paralelos hasta que se hace coincidir la parte izquierda de la curva de campo con una curva teórica de dos capas. Se calcan sobre el papel transparente la marca de resistividad y la cruz, a la cual se le denomina "primera cruz", de cuyas coordenadas se determinan $(t_1$ y $\rho_1)$. Se anota la relación (ρ_2/ρ_1) , de donde se obtiene el valor de ρ_2 .

2) En el diagrama auxiliar que corresponda a la parte de la curva de campo que se está interpretando, se superpone el papel transparente que contiene la curva de campo, conservando los ejes coordenados paralelos. Para curvas H y Q se coloca la "primera cruz" sobre el origen de coordenadas del diagrama auxiliar. Para curvas A y K se coloca la "primera cruz" sobre el eje vertical izquierdo del diagrama auxiliar, con una ordenada igual al valor (ρ_2/ρ_1) .

3) Se calca sobre el papel transparente la curva auxiliar que inicia en la "primera cruz" y que corresponde al valor (ρ_2/ρ_1) .

4) Nuevamente se superpone el papel transparente con la curva de campo a la lámina con las curvas teóricas de dos capas, y se desplaza uno sobre otro de tal manera que la cruz de las curvas patrón coincida siempre con la curva auxiliar trazada, hasta que la parte derecha de la curva de campo coincida con una de las curvas teóricas. Los ejes coordenados deben conservarse paralelos.

5) Se calca sobre el papel transparente la "segunda cruz", de coordenadas $(t_{11}$, $\rho_{11})$ y la marca de resistividad de la curva teórica, así también se anota el parámetro (ρ_2/ρ_{11}) que identifica a la curva teórica. Las coordenadas $(t_{11}$, $\rho_{11})$ sitúan adecuadamente el punto auxiliar y representan el espesor y la resistividad de la capa homogénea e isótropa que sustituye a

las dos capas superiores. El valor de ρ_3 se obtiene gráficamente de la ordenada de la marca de resistividad o numéricamente a partir del valor de ρ_{11} y de la relación ρ_3/ρ_{11} .

6) El papel transparente se superpone nuevamente al diagrama auxiliar en la misma posición que en el paso 2. La "segunda cruz" caerá sobre o cerca de una de las líneas punteadas, de donde se obtiene la relación t_2/t_1 , pudiendo calcularse el valor de t_2 .

La interpretación de una curva de campo de tres capas finalizaría en la etapa anterior, más sin embargo aunque el método del punto auxiliar fue originalmente concebido sólo para este propósito, es posible emplearlo para interpretar curvas de campo de más de tres capas. Las etapas adicionales requeridas consisten en la aplicación reiterada del procedimiento anteriormente descrito.

Una vez obtenido el modelo de capas correspondiente a la curva de campo interpretada, se procede a establecer la confiabilidad de la interpretación manual, para esto se empleó un método de interpretación iterativa (Método de Gradiente).

II.4.2 Interpretación Iterativa por el Método de Gradiente

En 1953, Householder describió el método del gradiente, como un procedimiento general para adaptar los valores de los parámetros en una relación no lineal con una serie de datos, de modo que se obtuviera un óptimo ajuste. La primera publicación de la aplicación de este método para la interpretación de datos de sondeos de resistividad es dada por Vozoff (1958). Sin embargo no fue exitosa debido a los problemas para calcular $T(A)$ a través de la curva de resistividad aparente. A partir de 1971 en que Ghosh da a conocer la teoría de filtrado lineal, el método de gradiente es nuevamente aplicado, debido a la facilidad para calcular ρ_a .

Siguiendo a Koefoed, el método de gradiente consiste en minimizar el criterio de error, el cual lo determina de la siguiente manera:

DETERMINACION DEL CRITERIO DE ERROR. En cualquier problema de optimización como primer paso se debe definir la función a optimizar; en este caso se trata de un criterio de error que mide la discrepancia entre los valores observados y los calculados, es decir, se determina la función de error para medir la calidad de ajuste entre $(\rho_a)_{obs}$ y $(\rho_a)_{cal}$, en el dominio de la función de resistividad aparente, ó $T(\lambda)_{obs}$ y $T(\lambda)_{cal}$, en el dominio de la función Kernel.

El criterio de error, en este caso, es una función que depende de los parámetros del corte, esto es,

$$E = E(p_1, p_2, \dots, p_n)$$

donde los p_n son los parámetros del corte geoelectrico (espesores y resistividades).

La forma como se ha determinado la función de error ha sido tratada en forma diferente por diversos autores: Vozoff (1958) y Meinardus (1970), Bichara y Lakshmanan (1976), Johansen (1977), etc.

El criterio de error empleado en este método, es el promedio sobre los valores muestreados del cuadrado de las diferencias relativas entre los valores muestreados de resistividad aparente obtenida de los datos de campo y de las resistividades aparentes calculadas a partir del modelo dado. De este modo:

$$E = (1/n) \sum_{j=1}^n [\rho_{a, cal}(p_j, \lambda_j) - \rho_{a, obs}(\lambda_j)]^2 / [\rho_{a, obs}(\lambda_j)]^2 \text{ ---- (16)}$$

El objetivo del método de Gradiente, es el variar los valores de los parámetros en la dirección de mayor descenso de la función de error, con la finalidad de encontrar el mínimo de ésta.

Para lograr lo anterior, el cambio que se aplique al valor de un parámetro debe ser proporcional a la derivada parcial del criterio de error, respecto a ese parámetro. Esto puede escribirse en forma vectorial como:

$$\Delta P = -C \nabla E \text{ ---- (17)}$$

donde $\vec{\Delta P}$ es el vector de incremento de los parámetros del corte geoelectrico y (C) es una constante positiva (factor de escala). En lo que se refiere al valor de la constante (C) de la ecuación (17), Vozoff propone en su trabajo:

$$C = 1/[\Sigma (\partial^2 E/\partial P_n^2) (\partial P_n/\partial U)] \text{ ----- (18)}$$

donde ∂U es el incremento a lo largo de gradiente de E.

En la misma publicación Vozoff propone una relación más sencilla, que es:

$$C = E/|\nabla E|^2 \text{ ----- (19)}$$

Para la aplicación de este método de interpretación de sondeos de resistividad, las derivadas parciales de la transformada de resistividad con respecto a los parámetros del corte son requeridas, puesto que éstas están involucradas en la determinación de los componentes del gradiente del criterio de error.

La relación de recurrencia para estas derivadas parciales ha sido publicada por Johansen (1975). Estas relaciones están basadas en la relación de recurrencia de Pekeris:

$$T_i = [T_{i+1} + \rho_i \tanh(\lambda t_i)]/[1 + T_{i+1} \tanh(\lambda t_i)/\rho_i] \text{ ---- (20)}$$

Debe notarse que los primeros parámetros del corte geoelectrico, t_k y ρ_k , no afectan a T_i si $i > k$. Si $k=i$, entonces, diferenciando la ecuación (20) se obtiene:

$$\partial T_i / \partial t_i = [(\rho_i - T_{i+1}^2/\rho_i) / (1 + T_{i+1} \tanh(\lambda t_i)/\rho_i)^2] [\lambda / \cosh^2(\lambda t_i)]$$

$$\partial T_i / \partial \rho_i = \tanh(\lambda t_i) [1 + T_{i+1}^2/\rho_i^2 + 2 \tanh(\lambda t_i) T_{i+1}/\rho_i] / [1 + T_{i+1} \tanh(\lambda t_i)/\rho_i]^2$$

Si $i < k$, entonces, t_i y ρ_k afectan a T_i únicamente en T_{i+1} . En consecuencia, para estos valores de i :

$$\partial T_i / \partial t_k = (\partial T_i / \partial T_{i+1}) (\partial T_{i+1} / \partial t_k)$$

$$\partial T_1 / \partial \rho_k = (\partial T_1 / \partial T_{1,1}) (\partial T_{1,1} / \partial \rho_k)$$

Los primeros factores del miembro derecho de estas últimas ecuaciones, pueden ser determinados por diferenciación de la ecuación (20) como:

$$\partial T_1 / \partial T_{1,1} = [1 - \tanh^2(\lambda t_1)] / [1 + T_{1,1} \tanh(\lambda t_1) / \rho_1]^2$$

11.5 OBTENCIÓN DE DATOS DE CAMPO

La finalidad del presente estudio radica en la prospección de agua subterránea, es decir, en la distribución y determinación de los espesores y profundidades de materiales permeables; así como de la localización de lugares óptimos para la explotación de agua subterránea.

De acuerdo al objetivo antes mencionado y a la estructura geológica del zona de trabajo, se programaron para el área de Florencia 15 SEV's distribuidos en 5 perfiles (A, B, C, D, H) y 7 SEV's distribuidos en 3 perfiles (E, F, G) para el área de San Francisco. Las medidas de resistividad eléctrica fueron obtenidas mediante el arreglo tetrapolar tipo Schlumberger, cuya semiapertura máxima de los electrodos de corriente quedó determinada como $AB/2 = 650$ mts. y la densidad de las mediciones, es decir, las distancias entre centros de Sondeos Eléctricos Verticales (SEV), están dentro de un rango de los 250 a 450 mts. para Florencia y un promedio de 650 mts. para San Francisco.

En el área de Florencia, los centros de los SEV están dispuestos de tal manera que forman una red de malla rectangular, donde los lados mayores están compuestos por los perfiles A y B respectivamente, con orientación N-S, conteniendo 4 SEV's cada uno y los lados menores por los perfiles C y D con 2 SEV's cada uno y con orientación E-W; estos cuatro perfiles están agrupados hacia el lado oriente del predio. Hacia el lado poniente de éste, se encuentra el perfil H con orientación E-W y compuesto

por 3 SEV's.

En el límite oriental del área de San Francisco, se tiene el perfil E con 3 SEV's; 250 mts. al poniente y paralelo a éste, se encuentra compuesto por 2 SEV's el perfil F ambos perfiles con orientación N-S. Hacia el límite Norte de este predio, se localiza con 2 SEV's el perfil G el cual tiene una orientación E-W.

La ubicación de los SEV's y de los perfiles antes mencionados se presentan en las figuras 9 y 10 respectivamente.

El equipo empleado para la adquisición de datos de campo fue:

- Un receptor marca SCINTREX mod. IPR-10.
- Un transmisor de corriente marca SCINTREX mod. IPC-7/2.5 Kw.
- Dos carretes con cable aislado calibre No. 16 y longitud de 1200 mts. cada uno.
- Barras de acero y cobre que se ocupan como electrodos de corriente y potencial respectivamente.
- Un generador de corriente BRIGGS and STRATTON de 8 H.P.
- Herramienta auxiliar (marros, pinzas, flexómetro, etc.).

II.6 INTERPRETACION CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

Una vez obtenida la curva de resistividad aparente de campo, se hacen las correcciones necesarias, previas a la interpretación: corrección por traslape y correlación de las curvas para efectuar el suavizado de las mismas; así como la clasificación de éstas, en este caso, las curvas fueron del tipo HK, KHK, KH y QH principalmente, lo cual nos indica de manera cualitativa medios estratificados de 3 y 4 capas. Posteriormente se lleva a cabo la interpretación manual por curvas patrón de dos capas y gráficos auxiliares, siguiendo el método del punto auxiliar, descrito en el inciso II.4.

De esta interpretación, se obtiene un modelo inicial de espesores y resistividades del subsuelo; el cual se corrobora y afina por medio de un programa de interpretación automática

iterativa usando el método del gradiente (Koefoed, 1979). Los resultados obtenidos de estas interpretaciones, se presentan en el apéndice I.

Los modelos obtenidos de la interpretación automática, se agrupan y correlacionan de acuerdo al número de SEV's contenidos en cada perfil. Esta correlación da como resultado un perfil eléctrico en el cual se pueden apreciar los espesores y resistividades de cada estrato.

Este perfil a su vez, se correlaciona con su sección de isorresistividades aparentes correspondiente, y no debe diferir en mucho, puesto que esta última, es el reflejo cualitativo de la distribución de los estratos resistivos del subsuelo.

Las secciones de isorresistividades aparentes y los perfiles geoelectricos, se presentan en el apéndice II, y la descripción detallada de cada uno ellos es la siguiente:

a) AREA FLORENCIA

PERFIL A

La Sección de Isorresistividades Aparentes, presenta dos conjuntos de líneas isorresistivas muy superficiales entre las aberturas de 1 a 3 m. El primero de ellos parte del SEV-4 y aflora hacia el SEV-2; el otro parte del SEV-1 y aflora hacia el SEV-2, ambos conjuntos tienen como límite inferior a la línea de isorresistividad aparente de 30 Ω -m, incrementando el valor de ésta hacia la superficie. Subyaciendo a éstos, se encuentra otro paquete isorresistivo, el cual se presenta en los 4 SEV's, éste llega a alcanzar la abertura de 15 m. en los SEV's 1, 2 y 4, en el SEV-3, apenas alcanza la abertura de 3 m. de profundidad; las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen su valor con la profundidad y van de 25 a 20 Ω -m. Un paquete de líneas isorresistivas muy potente se puede apreciar entre las aberturas de 20 y 400 m. en el SEV-4, el cual se acuña hacia el SEV-1 entre las aberturas de 15 y 65 m.; las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen de 15 a 11 Ω -m hacia la parte media de éste. El último paquete está representado por la línea isorresistiva,

de 20 Ω -m. Dentro de este paquete, se puede apreciar entre las aberturas de 80 y 650 m. del SEV-1, un conjunto de líneas elípticas, las cuales aumentan su valor de 25 a 30 Ω -m hacia la parte central de éste.

El Perfil Geoelectrico, presenta estratos muy superficiales, acuñándose entre sí, los cuales tienen un espesor promedio de 10 m y resistividades que van de los 12 a los 56 Ω -m.

Subyaciendo a esta serie de pequeños estratos, se presenta el estrato A, el cual se correlaciona en los 4 SEV's, con una resistividad de 10 Ω -m. Este estrato alcanza su mayor profundidad en el SEV-4 con 250 m. y la mínima en los SEV's 2 y 1 con 30 m. Inmediatamente a éste, se presenta el estrato B, el cual tiene un espesor infinito y resistividades que varían de 39 a 51 Ω -m. Dentro y de manera discordante con éste último, y a una profundidad de 125 m. en el SEV-1 y 75 m. en el SEV-2, se tiene el límite superior del estrato C, el cual varía su resistividad de 19 a 21 Ω -m.

PERFIL B

La Sección de Isorresistividades Aparentes de este perfil, presenta conjuntos isorresistivos muy superficiales entre las aberturas de 1 a 15 m. con líneas de isorresistividades aparentes que disminuyen de 80 a 25 Ω -m de norte a sur, a medida que se profundizan. A partir de la abertura de 15 m., se puede apreciar un paquete isorresistivo muy potente, el cual alcanza la abertura de 250 m. en el SEV-4 y la de 50 m. en el SEV-1, que es donde se acuña; las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen de 25 a 15 Ω -m. hacia la parte media de éste. Entre las líneas de 30 a 40 Ω -m de isorresistividades aparentes, se tiene el último paquete isorresistivo; en el cual, se observa aproximadamente entre las aberturas de 100 y 300, de los SEV's 1 y 2, un conjunto de líneas elípticas, con valores que aumentan de 45 a 50 Ω -m hacia la parte central de éste.

El Perfil Geoelectrico, presenta 3 estratos muy superficiales, los cuales se acuñan y afloran entre los SEV's 3 y 2, y tienen un espesor que varía de 1 a 14 m. y resistividades que van de los 22 a los 87 Ω -m. Subyaciendo a éstos, se encuentra un estrato A, el cual alcanza la profundidad de 430 m. en el SEV-4, disminuyéndola hacia el SEV-1 con 25 m.; su resistividad la aumenta hacia los extremos del perfil con 19 Ω -m. y la disminuye de 16 a 13 Ω -m. en los SEV's 2 y 3. Inmediatamente a éste, se encuentra el estrato B, con espesor infinito y resistividades que varían de 48 a 104 Ω -m. Dentro y de manera discordante a este último y a una profundidad de 110 m. en el SEV-1 y de 180 m. el SEV-2, se tiene el límite superior del estrato C, el cual varía su resistividad de 26 a 37 Ω -m.

PERFIL C

La Sección de Isorresistividades Aparentes, presenta un paquete isorresistivo muy superficial entre las aberturas de 1 y 2 m, que parte del SEV-2 y se acuña hacia el SEV-1, con líneas de isorresistividades aparentes de 45 a 55 Ω -m. En las aberturas de 3 a 5 m., se presenta un conjunto de líneas de isorresistividades aparentes que disminuyen de 40 a 30 Ω -m. con la profundidad. Entre las aberturas de 7 a 100 m., se presenta otro paquete de líneas isorresistivas que disminuyen su valor hacia la parte central de éste y van de 25 a 15 Ω -m. Por último, entre las aberturas de 65 y 500 m. del SEV-1, se aprecia otro conjunto isorresistivo que tiende a profundizarse hacia el SEV-2, con líneas de que aumentan de 25 a 35 Ω -m. hacia la parte media de éste.

El Perfil Geoelectrico, presenta un estrato muy superficial que parte del SEV-2 y se acuña hacia el SEV-1 con una resistividad de 56 Ω -m. Otro estrato también bastante superficial

alcanzando apenas los 5 m. se presenta en los dos SEV's, con resistividades de 29 a 32 Ω -m. Alcanzando una profundidad de 40 m. en el SEV-2 y 30 m. en el SEV-1, se tiene el estrato A, con resistividades que van de 11 a 16 Ω -m. Inmediatamente a éste y con un espesor de 95 m. se presenta el estrato B, con resistividades de 51 y 65 Ω -m. El estrato C, presenta resistividades que van de 10 a 27 Ω -m.

Todos los estratos comprendidos en este perfil son casi horizontales y las resistividades más altas se presentan en el SEV-1.

PERFIL D

La Sección de Isorresistividades Aparentes, presenta para las aberturas de 1 a 2 m, un paquete horizontal muy superficial, en el cual las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen con la profundidad y éstas van de 40 a 25 Ω -m. Entre las aberturas de 2 a 100 m. se observa otro paquete paralelo al anterior con líneas de isorresistividades aparentes que disminuyen muy suavemente con la profundidad, éstas van de 25 a 18 Ω -m. A partir de la abertura de 125 m. se presenta un paquete con líneas isorresistivas un tanto distorsionadas, las cuales aumentan su valor hacia el SEV-1 y van de 15 a 19 Ω -m, la distorsión de las líneas isorresistivas deja de manifestarse en la abertura de 500 m. aproximadamente. En seguida de este paquete, se puede apreciar el último con líneas isorresistivas horizontales, con una ligera tendencia a profundizarse hacia el SEV-2; los valores de las líneas de éste aumentan con la profundidad y van de 20 a 25 Ω -m.

El Perfil Geoelectrico, presenta dos estratos muy superficiales de apenas unos 5 m. de espesor y resistividades que van de los 18 a los 47 Ω -m. Alcanzando una profundidad de 240 m. en el SEV-2 y 168 m. en el SEV-1, se tiene el estrato A cuyas resistividades aumentan hacia el SEV-1, éstas van de 9 a 24 Ω -m. El estrato B,

presenta una resistividad bastante alta en comparación con los 2 estratos inmediatamente anteriores y son de 57 Ω -m. en el SEV-2 y de 30 Ω -m. en el SEV-1.

PERFIL H

La Sección de Isorresistividades Aparentes este perfil, presenta dos conjuntos de líneas paralelos y superficiales, los cuales afloran entre los SEV's 3 y 2 y se profundizan en el SEV-1 a las aberturas de 10 y 20 m. respectivamente; las líneas de isorresistividades aparentes que los comprenden disminuyen con la profundidad y van de 120 a 30 Ω -m. Un pequeño paquete isorresistivo de forma lenticular se manifiesta en el SEV-3 a las aberturas de 2 y 10 m. aproximadamente, las líneas de isorresistividades aparentes de éste aumentan hacia su núcleo de 30 a 40 Ω -m. Un conjunto isorresistivo de espesor considerable se presenta entre las aberturas de 20 a 400 m., las líneas de éste, siguen una forma cóncava, siendo en el SEV-2 donde alcanza su mayor profundidad a la abertura de 400 m; las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen en su valor hacia la parte central de éste y van de 20 a 11 Ω -m., donde ésta última línea isorresistiva está representada por un pequeño lente que se manifiesta entre las aberturas de 30 y 50 m. de los SEV's 2 y 3.

El Perfil Geoelectrico presenta estratos muy superficiales, 2 de ellos horizontales y paralelos entre sí, los cuales afloran entre los SEV's 3 y 2 con resistividades que van de los 28 a los 241 Ω -m., la profundidad máxima alcanzada por ellos es de 10 m. aproximadamente. Subyaciendo a estos se presenta el estrato A con resistividades que van de 8 a 9 Ω -m. y con un espesor aproximado de 40 m. Inmediatamente después y alcanzando una profundidad máxima de 170 m. en el SEV-2 y mínima en los extremos, o sea, en los SEV's 3 y 1 con 75 m, se tiene el estrato B con resistividades que van de los 17 a los 38 Ω -m. El estrato C presenta resistividades que van de los 18 a los 23 Ω -m.; dentro

de éste y justo en el SEV-2 se presenta un estrato de baja resistividad de 8 Ω -m. y espesor aproximado de 70 m.

b) AREA SAN FRANCISCO

PERFIL E

La Sección de Isorresistividades Aparentes de este perfil, presenta entre las aberturas de 1 a 5 m. un paquete cuyas líneas de isorresistividades aparentes, se empiezan a manifestar en el SEV-2 y se profundizan en el SEV-1, los valores de éstos van de 35 a 30 Ω -m. Entre las aberturas de 7 a 15 m., se puede observar otro conjunto de líneas isorresistivas las cuales son casi horizontales entre los SEV's 1 y 2, pero, a partir del SEV-2 hacia el SEV-3, éstas sufren una ligera distorsión; los valores de éstas disminuyen con la profundidad y van de 25 a 15 Ω -m. Un paquete isorresistivo casi horizontal se presenta entre las aberturas de 10 y 100 m. en el SEV-3, el cual se adelgaza hacia el SEV-1 entre las aberturas de 15 y 40 m.; las líneas de isorresistividades aparentes disminuyen en su valor hacia la parte central de éste, estos valores van de 12 a 7 Ω -m. A partir de la abertura de 40 m. en el SEV-1 y de 100 m. en el SEV-3 se determina el último paquete isorresistivo, dentro del cual se observa una línea de 9.5 Ω -m. de forma lenticular, ésta se presenta entre las aberturas de 125 y 500 m. en el SEV-2 y de 200 a 300 m. en el SEV-3.

El Perfil Geoeléctrico presenta 3 estratos muy superficiales acunándose entre si con resistividades que van de los 12 a los 52 Ω -m. y espesores de 5 a 10 m. En seguida de esta serie de estratos superficiales, se presenta horizontal el estrato A', de aproximadamente 25 m. de espesor y resistividades de 5 a 9 Ω -m. Paralelo y subyaciendo al estrato A', se presenta el estrato B' con un espesor promedio de 40 m. y resistividades de 15 a 19 Ω -m.

Alcanzando una profundidad de 350 m. en los SEV's 1 y 3, y de 240 m. en el SEV-2, se encuentra el estrato C' muy potente con espesores de 160 a 28 m. y resistividades de 5 a 10 Ω -m. El estrato D', presenta resistividades de 62 a 64 Ω -m.; dentro de éste último, se encuentra una irregularidad de forma lenticular de baja resistividad 19 Ω -m., la cual yace bajo el SEV-2 y se presenta discordantemente con el estrato D'.

PERFIL F

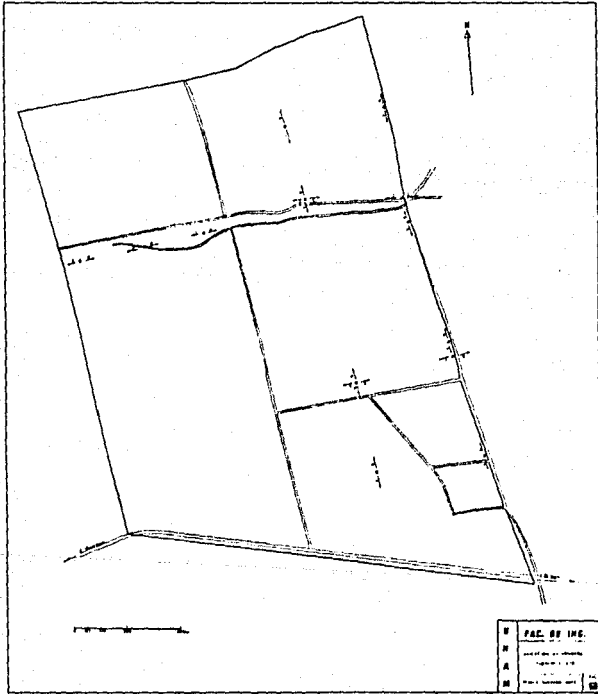
La Sección de Isorresistividades Aparentes, presenta paquetes isorresistivos muy superficiales, entre las aberturas de de 1 a 2 m., con líneas de isorresistividades aparentes que van de los 40 a los 25 Ω -m. Entre las aberturas de 2 a 20 m. se presenta otro paquete representado por líneas de isorresistividades aparentes que disminuyen su valor de 40 a 15 Ω -m con la profundidad. A partir de la abertura de 25 m. hasta la de 250 m. se presenta un paquete de líneas isorresistivas del mismo valor: 13 Ω -m., estas líneas son horizontales, aunque tienden a acuñarse hacia el SEV-1. El último conjunto de líneas isorresistivas se presenta a partir de la abertura de 250 m. en el SEV-1 y de 200 m. en el SEV-2, los valores de estas líneas aumentan su valor con la profundidad y van de 15 a 18 Ω -m.

El Perfil Geoelectrico presenta 3 estratos muy superficiales acuñándose entre sí, con resistividades que van de los 10 a los 108 Ω -m. y un espesor promedio de 5 m. En seguida, los estratos A' y B', se presentan horizontales, muy homogéneos en su resistividad y paralelos entre sí; el primero de ellos con un espesor de 40 m. y resistividad de 11 Ω -m. y el segundo con un espesor de 30 m. aproximadamente y resistividad de 19 Ω -m. Alcanzando una profundidad de 225 m. en el SEV-1 y de 270 m. en el SEV-2, se encuentra el estrato C', paralelo a los anteriores y con un espesor de 170 m. y resistividad de 10 Ω -m. El estrato D', presenta resistividades que van de 23 a 43 Ω -m.

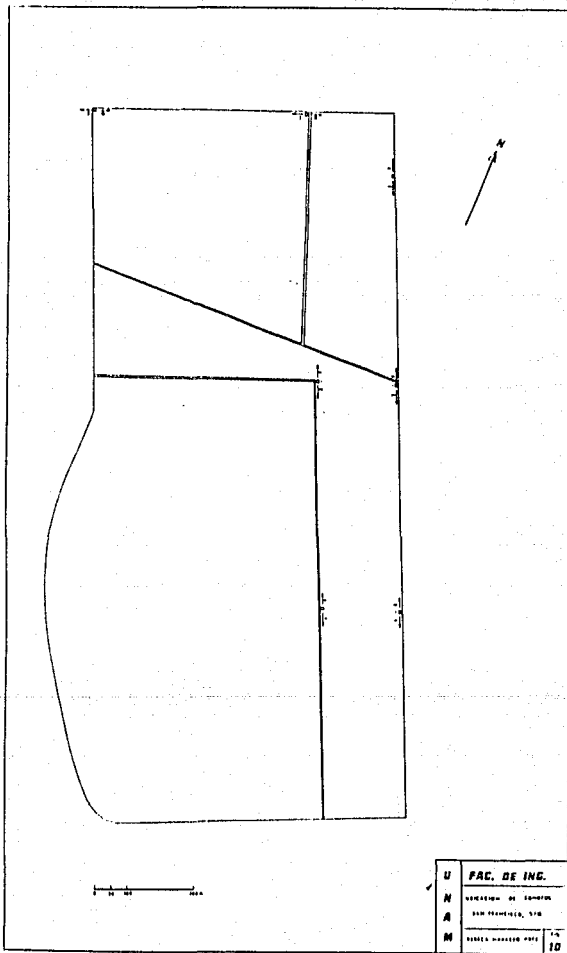
PERFIL G

La Sección de Isorresistividades Aparentes, presenta entre las aberturas de 1 a 5 m. líneas isorresistivas que aumentan su valor con la profundidad y van de 25 a 100 Ω -m., estas líneas representan un paquete isorresistivo que parte del SEV-1 y se acuña hacia el SEV-2. De la abertura de 5 a la de 15 m., se presenta otro paquete con líneas de isorresistividades aparentes casi horizontales y con valores de 15 a 12 Ω -m. A partir de la abertura de 20 a la de 40 m. en el SEV-2 y de la 20 a la de 80 m. en el SEV-1, las líneas de isorresistividades aparentes tienden a hacerse concéntricas tomando una forma elíptica, los valores de éstas van de 10.5 a 10 Ω -m. Un último paquete isorresistivo se puede observar a partir de la abertura de 50 m. hasta la de 400 m., las líneas de isorresistividades aparentes que lo representan tienden a profundizarse en el SEV-1, los valores de éstas aumentan con la profundidad y van de 12 a 15 Ω -m.

El Perfil Geoeléctrico presenta un estrato muy superficial y homogéneo en su resistividad, la cual va de 25 a 27 Ω -m. y con un espesor de 5 m. En seguida de éste, se presenta el estrato A', horizontal y con resistividades de 9 y 10 Ω -m. y espesor de 40 m. Alcanzando una profundidad de 70 m. en los 2 SEV's, se encuentra el estrato B' con 25 m. de espesor y resistividades de 16 a 18 Ω -m. El estrato C', presenta resistividades de 8 y 14 Ω -m.; dentro de éste y a una profundidad de 225 m. en el SEV-1, se encuentra discordantemente el estrato D', cuya resistividad es de 43 Ω -m.



P	PAC. OF INC.
A	...
A	...
M	...



U	FAC. DE ING.
N	SECCION DE INGENIERIA
A	SAN FRANCISCO, D.F.
M	SECTOR DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
	10

CAPITULO III

INTEGRACION GEOLOGICA - GEOFISICA

III.1 INTRODUCCION

Los resultados del método eléctrico, generaron un modelo del subsuelo muy bien definido y marcado por 3 estratos geoelectricos (A, B, C,), para los perfiles del área de Florencia. Por lo que respecta al área de San Francisco, la estructura del subsuelo estuvo definida por 4 estratos geoelectricos (A', B', C', D'); donde por las resistividades y espesores obtenidos, los estratos A', B' Y C' corresponden en conjunto al estrato A de Florencia y el estrato D' corresponde al estrato B de Florencia. En San Francisco, el estrato C correspondiente a Florencia, no se presenta. La finalidad de diferenciar los estratos A', B' Y C' es con el objeto de indicar que el estrato B' es un tanto mas resistivo que A' y C', aunque los 3 correspondan a una misma unidad geológica y geoelectrica.

III.2 LITOLOGIA

Debido a que en las áreas de estudio los pozos existentes no cuentan con un corte estratigráfico de ellos, la litología que se empleó para llevar a cabo la correlación geológica-geofísica fué determinada de acuerdo a las resistividades y profundidades calculadas y por la interpretación geológica del área del Ing. Geólogo Héctor L. Macías González, quien amablemente accedió de forma desinteresada a apoyar la integración del presente trabajo.

Basado en lo anterior, la litología atravesada y medida por el dispositivo eléctrico, fué la siguiente: suelo y depósitos recientes; arenas y cenizas volcánicas; arenas y piroclásticos gruesos; arenas, cenizas y piroclásticos gruesos.

III.3 INTEGRACION GEOLOGICA - GEOFISICA

La correlación, se hizo de acuerdo a las unidades geoelectricas determinadas y siguiendo el mismo esquema que se empleo para describir los perfiles geoelectricos en el capitulo II. Los perfiles geológicos, también se presentan en el apéndice II.

a) AREA FLORENCIA

PERFIL A

Los estratos superficiales de este perfil corresponden a suelo y depósitos recientes. Las características geoelectricas el estrato A corresponden a arenas y cenizas volcánicas. La litología correspondiente al estrato B son arenas y piroclásticos gruesos, esto es debido a un aumento en la resistividad de éste. De acuerdo a la discordancia que presenta el estrato C con respecto al estrato B y a la disminución de su resistividad, indican la presencia de cenizas en éste, por lo que su litología correspondiente son: arenas, cenizas y piroclásticos gruesos.

PERFIL B

Este perfil es paralelo y presenta la misma distribución que el perfil A, por lo que la descripción es la misma. Los estratos superficiales quedan determinados por suelo y depósitos recientes. El estrato A por arenas y cenizas volcánicas, el estrato B por arenas y piroclásticos gruesos y el estrato C por arenas, cenizas y piroclásticos gruesos.

PERFIL C

Este perfil es perpendicular al los dos anteriores y por su posición presenta también a los estratos A, B, C; a diferencia de la distribución de los perfiles A y B, estos se presentan paralelos entre sí. Debido a esto su descripción es la siguiente: los estratos superficiales representan al suelo y

depósitos recientes, el estrato A corresponde a arenas y cenizas volcánicas, el estrato B a arenas y piroclásticos gruesos y el estrato C a arenas, cenizas y piroclásticos gruesos.

PERFIL D

Este perfil es paralelo al perfil C, pero debido a que éste se encuentra en el extremo sur de los perfiles A y B, donde el estrato C desaparece, los únicos estratos que presenta este perfil D son los estratos superficiales que corresponden al suelo y depósitos recientes, el estrato A que corresponde a arenas y cenizas volcánicas y el estrato B correspondiente a arenas y piroclásticos gruesos.

PERFIL H

Ubicado en el extremo occidental de Florencia, este perfil presenta estratos superficiales correspondientes a suelo y depósitos recientes. El estrato A representado por arenas y cenizas volcánicas; el estrato B por arenas y piroclásticos gruesos y el estrato C al cual corresponden arenas, cenizas y piroclásticos gruesos; dentro del cual se encuentra un pequeño lente de baja resistividad en el que existe mayor concentración de cenizas volcánicas. Cabe destacar que las resistividades de los estratos B y C de este perfil son más bajas con respecto a las resistividades de los perfiles anteriormente descritos.

b) AREA SAN FRANCISCO

PERFIL E

Este perfil presenta estratos superficiales correspondientes a suelo y depósitos recientes. Los estratos geoelectrónicos A', B', C', corresponden a arenas y cenizas volcánicas; mientras que el estrato D' corresponde a arenas y piroclásticos gruesos. Dentro de este estrato, se encuentra un lente de baja resistividad, el cual indica una mayor concentración de arenas.

PERFIL F

Los estratos geoelectricos de este perfil se presentan paralelos entre sí, y están distribuidos de la siguiente manera: los estratos superficiales corresponden a suelo y depósitos recientes, los estratos A', B', C', están definidos por arenas y cenizas volcánicas, el estrato D' está representado por arenas y piroclásticos gruesos.

PERFIL G

Los estratos geoelectricos superficiales de este perfil corresponden a suelo y depósitos recientes; los estratos A', B', C', a arenas y cenizas volcánicas. El estrato D' se presenta dentro y de manera discordante con el estrato C', lo que representa un cambio lateral de litología, dando lugar a que este estrato esté formado por arenas y piroclásticos gruesos.

En los perfiles geoelectricos y geológicos, se puede observar que las resistividades atribuidas a las diferentes litologías es un tanto menor que las esperadas, esto es debido a que los estratos se encuentran saturados parcial o totalmente por agua. Por las características geoelectricas y la litología, el estrato con mayores posibilidades acuíferas es el estrato B y su correspondiente D' en San Francisco, el cual está formado por arenas y piroclásticos gruesos.

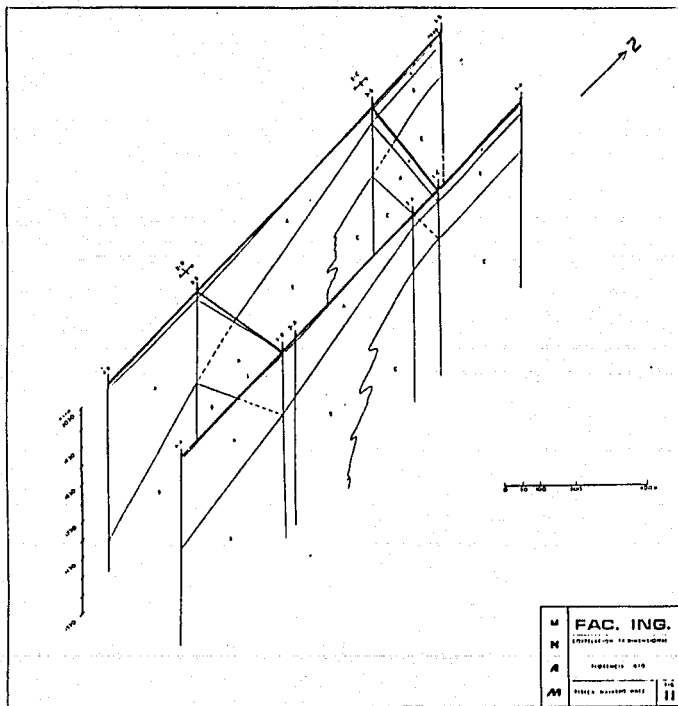
III.4 CORRELACION TRIDIMENSIONAL DE LOS SONDEOS Y PERFILES EFECTUADOS

En las figuras 11 y 12 se presentan las correlaciones tridimensionales para cada área. En las cuales, se puede observar el modelo tridimensional de los resultados obtenidos mediante la interpretación de los SEV's; esto permite tener una idea general de la distribución de las capas en el subsuelo, lo

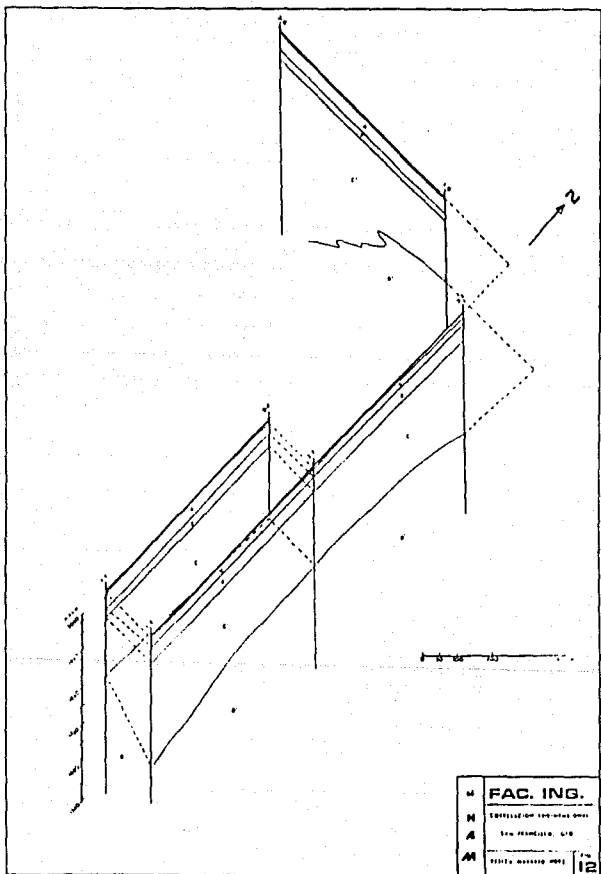
cual contribuye de gran manera a la evaluación cuantitativa de las áreas de estudio, así como a la integración geológica-geofísica.

Debido a que en este trabajo la correlación tridimensional produjo resultados satisfactorios, se sugiere que en todo trabajo en el que se efectúen SEV's se haga esta correlación, siempre y cuando sea posible. Lo anteriormente expuesto es con la finalidad de dar una interpretación lo más general posible, y no caer en el error de presentar perfiles aislados que no tengan correlación alguna. Esto último es muy común, y no porque se haya hecho una mala interpretación, si no porque como es bien sabido una curva de resistividad aparente de campo puede corresponder a más de un modelo geoelectrico.

Tomando en cuenta todo lo anteriormente descrito, se propuso la perforación de dos pozos en el área de Florencia. El primero de ellos, se ubicó a 50 m, del SEV-2 de la línea H. De acuerdo a las necesidades propias de los interesados y a las condiciones propias del subsuelo, el segundo pozo se propuso en la línea B justo en el SEV-1. Por situaciones imprevistas, los datos técnicos de estos pozos no se obtuvieron a la menor brevedad, por lo que no fueron incluidos en el presente trabajo.



M	FAC. ING.	
N	ENGINEER	
A	ARCHITECT	
M	MECHANICAL ENGINEER	
		11



F	FAC. ING.
E	ENGINEERING AND ARCHITECTURE
A	SAN FRANCISCO, CALIF.
A	ESTABLISHED 1901
	12

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se ennumeran a continuación las siguientes conclusiones:

- 1.- Las curvas de resistividad aparente obtenidas en las áreas de estudio son de tipo HK, KHK, KH y QH principalmente.
- 2.- El método eléctrico en su modalidad de sondeos eléctricos verticales, para la prospección de agua subterránea es resolutivo y su bondad puede observarse en la reconstrucción tridimensional que se hizo del subsuelo figuras (11 y 12).
- 3.- Se recomienda, siempre y cuando sea posible, hacer la correlación tridimensional en todo trabajo en el que se realicen SEV's.
- 4.- La cuenca de Dr. Mora - San José Iturbide está constituida principalmente por depósitos volcánicos: arenas volcánicas, cenizas volcánicas y piroclásticos gruesos; debido a esto y al contraste geoelectrico entre las unidades obtenidas, se logró hacer una buena integración geológica-geofísica
- 5.- El estrato con mayores posibilidades acuíferas es el estrato B en Florencia y su correspondiente D' en San Francisco, el cual está formado por arenas y piroclásticos gruesos. Este estrato está contenido dentro del acuífero frío superior existente en la cuenca.
- 6.- El área de Florencia presenta buenas posibilidades acuíferas entre los 100 y 150 m. hacia la parte norte del predio que es donde el estrato productor es más somero,

hacia la parte sur de éste, el estrato se profundiza alcanzando su lecho superior los 250 m.

- 7.- Para el área de San Francisco, las posibilidades acuíferas son también bastante favorables, únicamente que el estrato productor se encuentra a mayor profundidad con respecto a Florencia. Para lograr un pozo productor en esta área, se necesitará perforar hasta los 300 m. en la línea F entre los SEV's 1 y 2, ó a 300 m de profundidad en el SEV1-G, debido a que en la línea E dicho estrato se encuentra a 400 m. de profundidad aproximadamente.

REFERENCIAS

- 1.- ESTUDIOS GEOTECNICOS, S. A. - SARH, (1979). Origen del termalismo en el sector suroeste del Edo. de San Luis Potosí y norte de Guanajuato, asociado a depósitos lacustres y actividad volcánica riolitica del Terciario. SARH. Subdirección de Geohidrología y de Zonas Aridas. GZA-79-6-ED.
- 2.- I.P.N. - SARH, (1982). Estudio Fotogeológico del área de San José Iturbide, Edo. de Guanajuato. Instituto Politécnico Nacional. Ciencias de la Tierra.
- 3.- ORELLANA, ERNESTO, (1982). Prospección Geoelectrica en Corriente Continua. Paraninfo, Madrid.
- 4.- KOEFOED, OTTO, (1979). Geosounding Principles, I. Resistivity Sounding Measurements. Elsevier Scientific Publishing Company.
- 5.- GONZALEZ VILLALVASO, PEDRO, (1983). Interpretación Automática de Sondeos Eléctricos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- 6.- ORELLANA, E. Y MOONEY, H.M., (1966). Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures. Interciencia, Madrid.
- 7.- O'NEILL, D. J., (1975). Improved linear filter coefficients for application in apparent resistivity computations. Bulletin of Australian Society of Exploration Geophysicists, 6: 104-109.
- 8.- VOZOFF, K., (1958). Numerical resistivity analysis: horizontal beds. Geophysics, 23: 536-556.

APENDICE I

FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : A

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

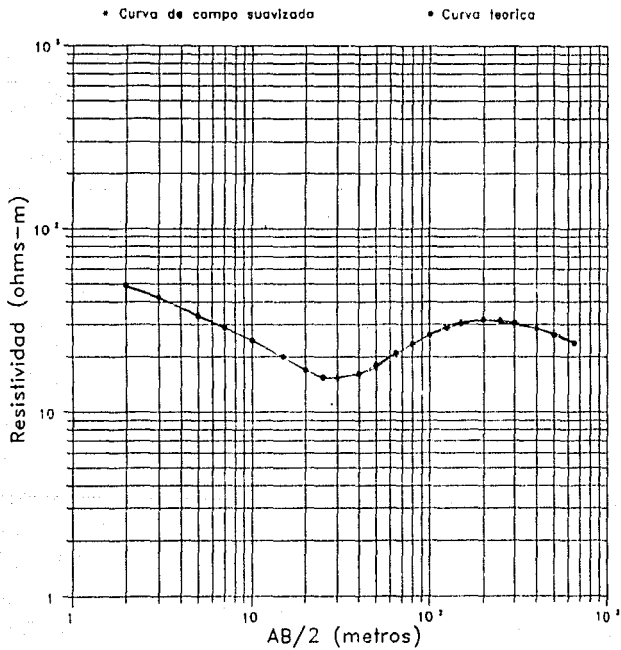
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad	1 =	55.90	Espesor	1 =	1.42
Resistividad	2 =	27.46	Espesor	2 =	6.38
Resistividad	3 =	10.01	Espesor	3 =	18.15
Resistividad	4 =	50.75	Espesor	4 =	95.73
Resistividad	5 =	19.37	Espesor	5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	48.0000	49.0371
3.0000	42.0000	42.3414
5.0000	34.0000	33.3151
7.0000	29.0000	28.7927
10.0000	24.5000	24.6979
15.0000	19.9000	19.9074
20.0000	17.0000	16.9592
25.0000	15.2000	15.5748
30.0000	15.6000	15.2565
40.0000	16.0000	16.2694
50.0000	17.4000	18.1010
65.0000	21.0000	20.9832
80.0000	23.5000	23.5218
100.0000	26.5000	26.2430
125.0000	29.5000	28.7062
150.0000	31.0000	30.3304
200.0000	32.0000	31.7791
250.0000	31.0000	31.7193
300.0000	29.8000	30.8814
400.0000	28.5000	28.4553
500.0000	27.0000	26.1617
650.0000	24.0000	23.6850

Error = 1.954

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 1 REALIZO: R. N. H. FECHA: 14-ENERO-1980
LINEA : A ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : A

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

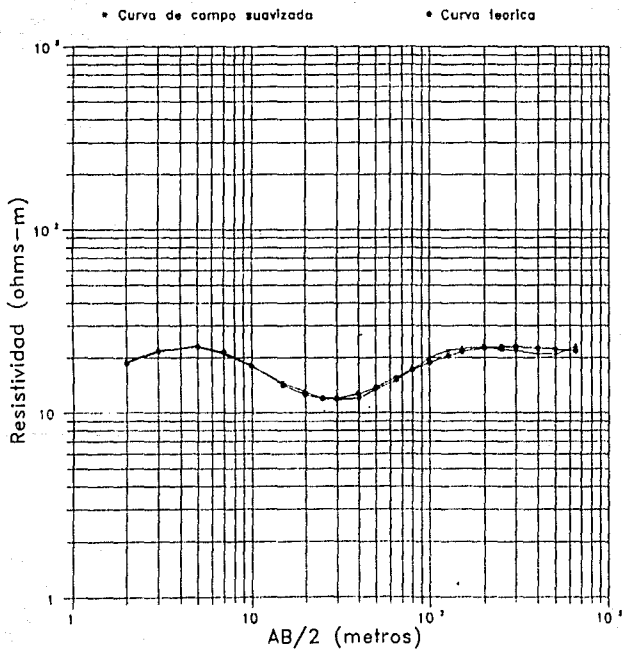
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	11.83	Espesor 1 =	0.78
Resistividad 2 =	37.46	Espesor 2 =	2.33
Resistividad 3 =	10.23	Espesor 3 =	29.26
Resistividad 4 =	40.25	Espesor 4 =	44.65
Resistividad 5 =	20.93	Espesor 5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	19.0000	18.6372
3.0000	22.0000	21.7056
5.0000	23.0000	23.1322
7.0000	21.0000	21.5336
10.0000	18.0000	18.0825
15.0000	14.5000	14.1457
20.0000	13.0000	12.4871
25.0000	12.0000	11.9689
30.0000	11.8000	11.9759
40.0000	12.0000	12.6691
50.0000	13.4000	13.7377
65.0000	15.0000	15.4951
80.0000	17.2000	17.1256
100.0000	20.0000	18.9117
125.0000	21.9000	20.5283
150.0000	22.5000	21.6022
200.0000	23.0000	22.6976
250.0000	22.2000	23.0218
300.0000	22.0000	22.9989
400.0000	21.0000	22.6273
500.0000	21.0000	22.2290
650.0000	23.0000	21.7963

Error = 3.86%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 SONDEO: SEV 2
 LINEA : A
 REALIZO: R. N. H.
 ARREGLO: SCHLUMBERGER
 FECHA: 11-FEBRERO-1986
 LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 3
 LINEA : A

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

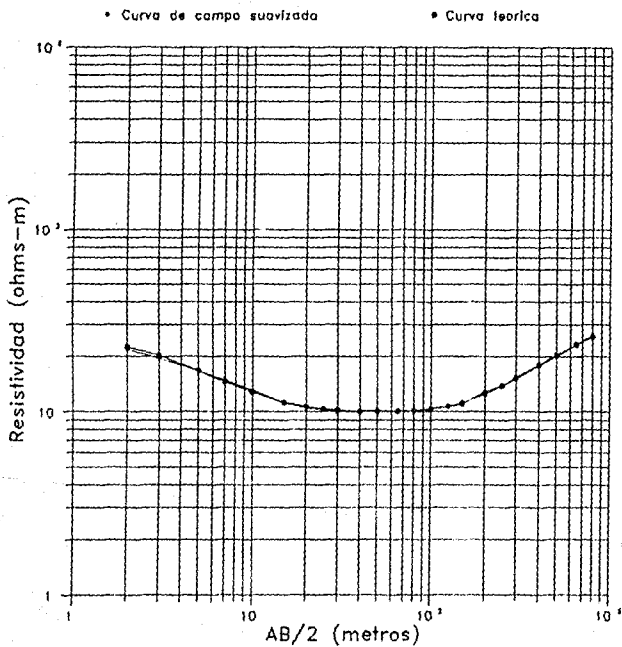
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	24.73	Espesor 1 =	1.57
Resistividad 2 =	14.13	Espesor 2 =	3.11
Resistividad 3 =	9.83	Espesor 3 =	139.03
Resistividad 4 =	39.15	Espesor 4 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	22.0000	22.6753
3.0000	19.5000	20.3734
5.0000	16.7000	16.6870
7.0000	14.9000	14.5258
10.0000	13.0000	12.7070
15.0000	11.2000	11.2630
20.0000	10.5000	10.6421
25.0000	10.3000	10.3461
30.0000	10.1000	10.1909
40.0000	10.1000	10.0547
50.0000	10.1000	10.0169
65.0000	10.1000	10.0434
80.0000	10.1000	10.1341
100.0000	10.4000	10.3361
125.0000	10.7000	10.7060
150.0000	11.0000	11.1903
200.0000	12.8000	12.4142
250.0000	13.8000	13.8260
300.0000	15.0000	15.2814
400.0000	17.9000	18.0282
500.0000	19.9000	20.4097
650.0000	23.5000	23.3312
800.0000	26.0000	25.6393

Error = 1.76%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 3
LINEA : A
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 14-ENERO-1989
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 4
 LINEA : A

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	34.17	Espeor 1 =	0.96
Resistividad 2 =	22.91	Espeor 2 =	8.09
Resistividad 3 =	11.28	Espeor 3 =	244.79
Resistividad 4 =	43.59	Espeor 4 =	INFINITO

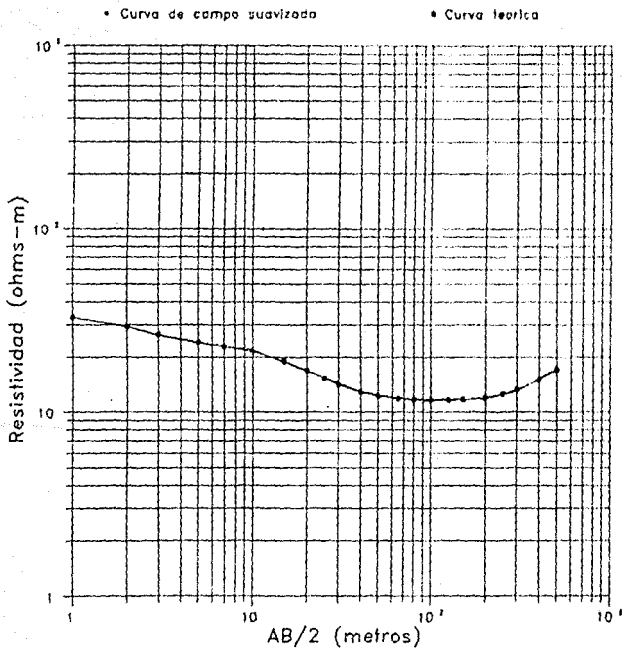
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	33.0000	32.8776
2.0000	29.3000	29.3338
3.0000	26.5000	26.6194
5.0000	23.9000	24.0938
7.0000	22.9000	22.9070
10.0000	22.0000	21.4820
15.0000	18.8000	19.0809
20.0000	16.8000	16.9442
25.0000	15.4000	15.3219
30.0000	14.5000	14.1825
40.0000	13.0000	12.0762
50.0000	12.4000	12.2582
65.0000	12.0000	11.8482
80.0000	11.8000	11.6813
100.0000	11.8000	11.6074
125.0000	11.8000	11.6288
150.0000	11.8000	11.7277
200.0000	11.9000	12.0975
250.0000	12.5000	12.6565
300.0000	13.0000	13.3655
400.0000	15.3000	15.0700
500.0000	17.4000	16.9239

Error = 1.45%

SONDEO: SEV 4
LINEA : A

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER

FECHA: 18-FEBRERO-1981
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : B

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

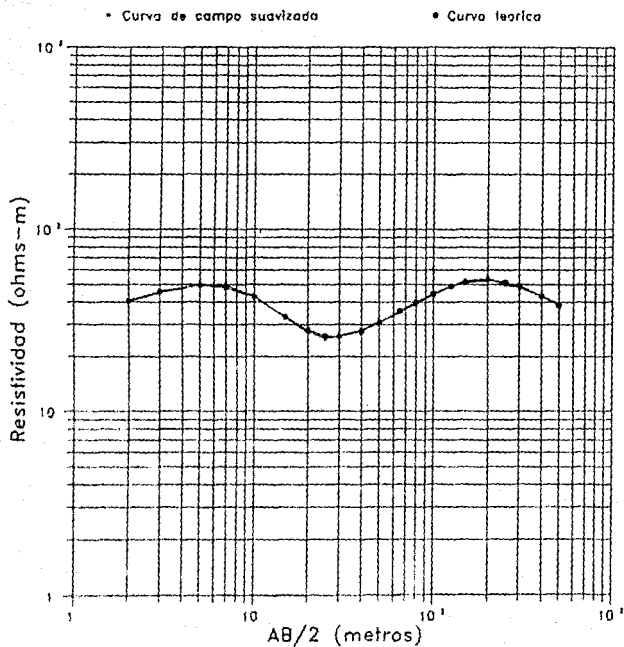
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	30.53	Esesor 1 =	0.86
Resistividad 2 =	63.25	Esesor 2 =	4.08
Resistividad 3 =	19.15	Esesor 3 =	22.89
Resistividad 4 =	97.46	Esesor 4 =	82.58
Resistividad 5 =	25.63	Esesor 5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	40.3000	40.5425
3.0000	45.0000	45.8316
5.0000	49.5000	49.5652
7.0000	49.5000	48.1259
10.0000	43.0000	42.4272
15.0000	33.0000	33.2535
20.0000	27.5000	28.0719
25.0000	25.2000	25.9953
30.0000	25.9000	25.7074
40.0000	28.0000	27.5939
50.0000	31.0000	30.6762
65.0000	34.9000	35.5520
80.0000	39.0000	39.9068
100.0000	43.9000	44.5696
125.0000	49.0000	48.6759
150.0000	52.5000	51.1971
200.0000	54.0000	52.8256
250.0000	50.1000	51.6604
300.0000	48.0000	49.1602
400.0000	43.0000	43.2428
500.0000	39.0000	38.1644

Error = 1.89%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 1
LINEA : B
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 18-FEBRERO-1981
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : B

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

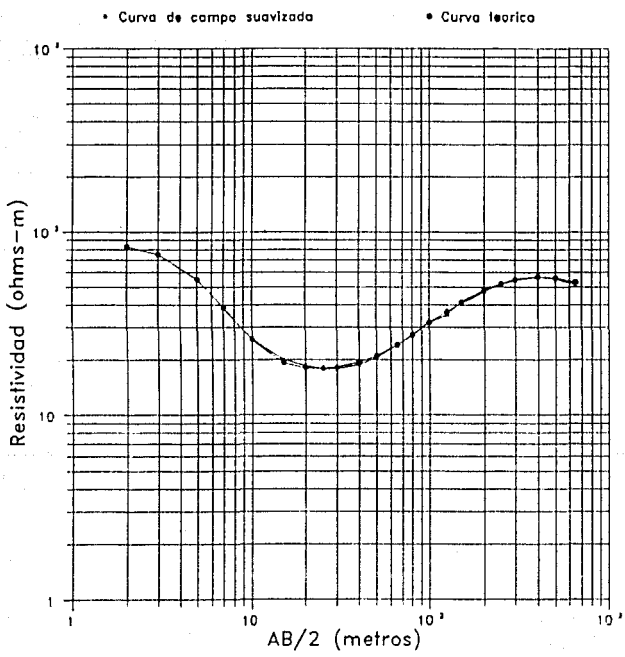
Resistividad 1 =	87.77	Espesor 1 =	2.69
Resistividad 2 =	16.52	Espesor 2 =	38.41
Resistividad 3 =	103.74	Espesor 3 =	140.00
Resistividad 4 =	36.90	Espesor 4 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	83.0000	83.1220
3.0000	75.0000	75.2477
5.0000	55.0000	54.9618
7.0000	38.4000	38.6186
10.0000	26.0000	25.6827
15.0000	20.0000	19.2906
20.0000	18.5000	18.0544
25.0000	17.9000	17.9313
30.0000	17.8000	18.1998
40.0000	18.9000	19.3556
50.0000	20.5000	21.0427
65.0000	24.0000	24.1281
80.0000	27.2000	27.4580
100.0000	32.0000	31.8015
125.0000	35.2000	36.7074
150.0000	41.8000	40.9212
200.0000	47.9000	47.4179
250.0000	52.0000	51.7747
300.0000	55.0000	54.4831
400.0000	57.0000	56.5315
500.0000	55.0000	55.9724
650.0000	52.0000	53.1911

Error = 1.83%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

SONDEO: SEV 2 REALIZO: R. N. H. FECHA: 17-FEBRERO-1981
 LINEA : B ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 3
 LINEA : B

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

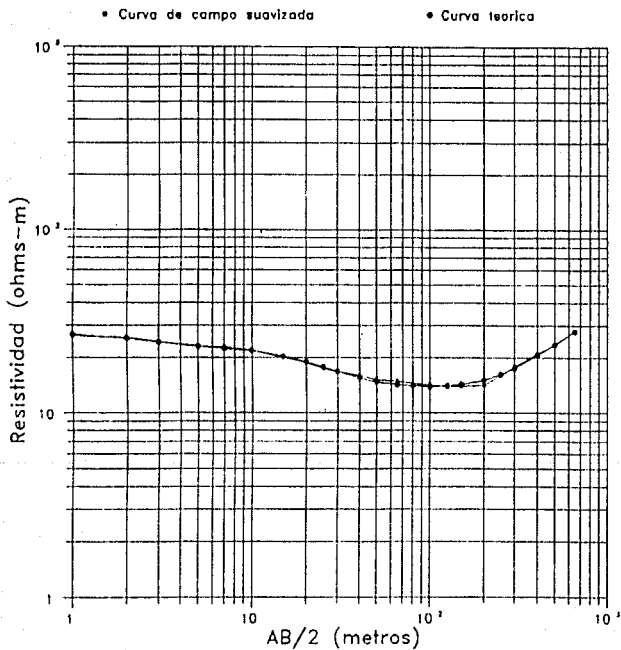
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	27.12	Espesor 1 =	1.12
Resistividad 2 =	22.26	Espesor 2 =	9.85
Resistividad 3 =	13.38	Espesor 3 =	198.94
Resistividad 4 =	63.75	Espesor 4 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	26.5000	26.7666
2.0000	25.8000	25.5777
3.0000	24.4000	24.4423
5.0000	23.0000	23.1527
7.0000	22.9000	22.4941
10.0000	22.0000	21.7418
15.0000	20.0000	20.4141
20.0000	18.9000	19.0368
25.0000	17.5000	17.8133
30.0000	16.8000	16.8274
40.0000	16.0000	15.5065
50.0000	15.2000	14.7746
65.0000	14.9000	14.2385
80.0000	14.5000	14.0188
100.0000	14.2000	13.9499
125.0000	14.0000	14.0553
150.0000	14.0000	14.3011
200.0000	14.2000	15.1082
250.0000	16.0000	16.2385
300.0000	17.9000	17.5885
400.0000	20.9000	20.5958
500.0000	23.6000	23.6294
650.0000	28.0000	27.8036

Error = 2.28%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 REALIZO: R. N. H. PECHA: 17-FEBRERO-1981
 LINEA : B ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 4
 LINEA : B

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

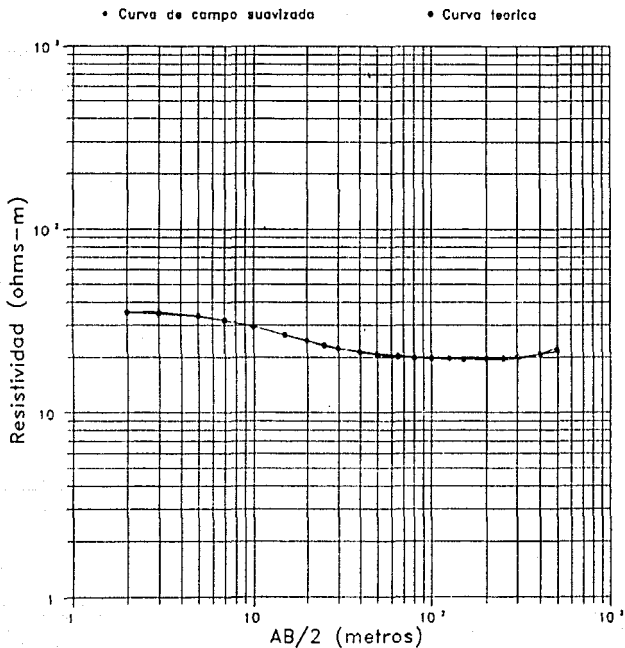
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	35.33	Espesor 1 =	4.11
Resistividad 2 =	24.81	Espesor 2 =	8.06
Resistividad 3 =	19.38	Espesor 3 =	416.56
Resistividad 4 =	47.67	Espesor 4 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	35.5000	35.1713
3.0000	35.7000	34.8360
5.0000	33.9000	33.5931
7.0000	32.0000	31.9387
10.0000	29.5000	29.5320
15.0000	26.6000	26.6058
20.0000	24.8000	24.7231
25.0000	23.0000	23.4317
30.0000	22.3000	22.5074
40.0000	21.6000	21.3350
50.0000	21.0000	20.6815
65.0000	20.6000	20.1661
80.0000	20.0000	19.9075
100.0000	20.0000	19.7345
125.0000	19.9000	19.6414
150.0000	19.5000	19.6148
200.0000	19.4000	19.6689
250.0000	19.4000	19.8218
300.0000	19.5000	20.0582
400.0000	20.8000	20.7551
500.0000	22.7000	21.7001

Error = 1.67%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 4
LINEA : B
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 19-FEBRERO-1986
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : C

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

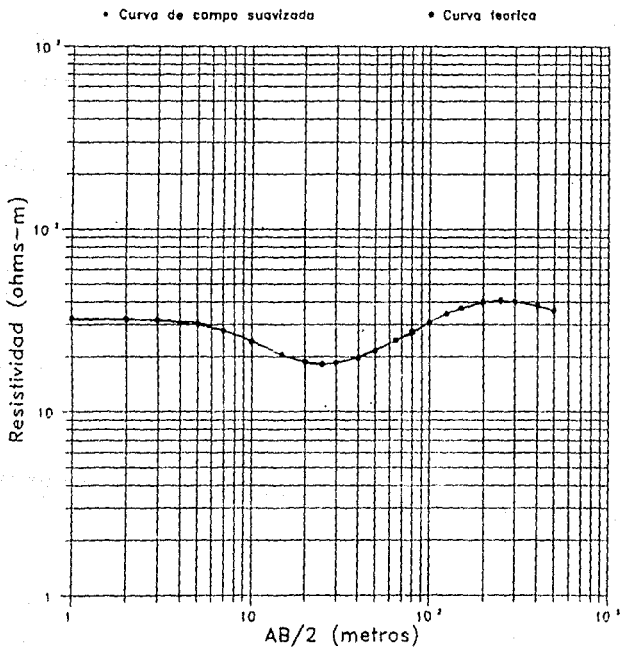
Resistividad 1 =	32.44	Espeor 1 =	4.63
Resistividad 2 =	15.64	Espeor 2 =	27.87
Resistividad 3 =	65.23	Espeor 3 =	100.80
Resistividad 4 =	26.58	Espeor 4 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
----------------	-------------------------------	--------------------------------

1.0000	32.0000	32.4174
2.0000	32.0000	32.2414
3.0000	31.9500	31.8141
5.0000	31.0000	30.1538
7.0000	28.0000	27.8219
10.0000	24.6000	24.3361
15.0000	20.4000	20.4819
20.0000	18.5000	18.7993
25.0000	18.0000	18.3200
30.0000	18.5000	18.4777
40.0000	20.0000	19.7477
50.0000	21.9000	21.6125
65.0000	24.5000	24.7106
80.0000	26.9000	27.6751
100.0000	31.0000	31.0892
125.0000	34.5000	34.4224
150.0000	37.0000	36.8412
200.0000	40.0000	39.5864
250.0000	41.0000	40.4352
300.0000	40.0000	40.1721
400.0000	37.8000	38.1842
500.0000	36.0000	35.7960

Error = 1.25%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 1
LINEA : C
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 11-FEBRERO-1986
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : C

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	55.52	Espesor 1 =	1.33
Resistividad 2 =	28.69	Espesor 2 =	2.81
Resistividad 3 =	11.29	Espesor 3 =	36.84
Resistividad 4 =	51.34	Espesor 4 =	91.93
Resistividad 5 =	10.13	Espesor 5 =	INFINITO

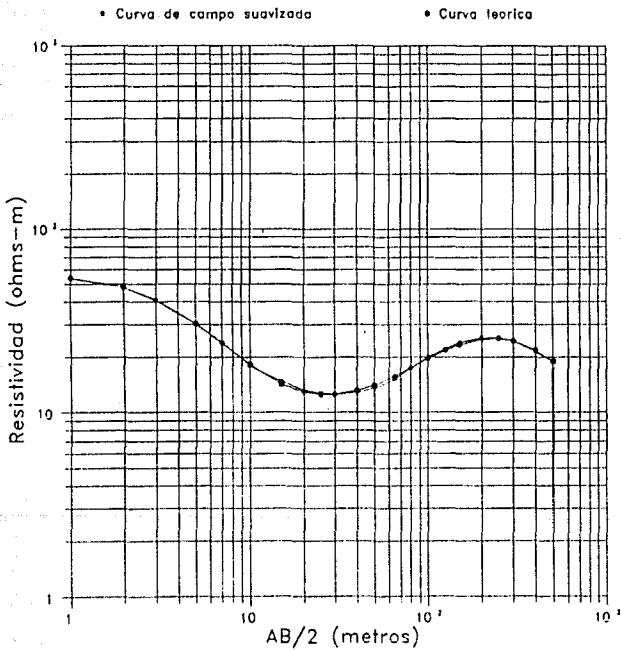
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	54.0000	54.0030
2.0000	47.9000	47.9236
3.0000	40.9000	40.7312
5.0000	30.5000	30.2993
7.0000	24.0000	23.9663
10.0000	18.0000	18.3142
15.0000	14.7000	14.2103
20.0000	13.2000	12.8928
25.0000	12.7000	12.5281
30.0000	12.5000	12.5457
40.0000	12.8000	13.1035
50.0000	13.5000	14.0294
65.0000	15.2000	15.7289
80.0000	17.5000	17.5017
100.0000	20.0000	19.6703
125.0000	22.1000	21.8549
150.0000	24.0000	23.4271
200.0000	25.5000	25.0297
250.0000	25.4000	25.1624
300.0000	24.5000	24.4121
400.0000	21.5000	21.7910
500.0000	19.0000	19.0088

Error = 1.80%

SONDEO: SEV 2
LINEA : C

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER

FECHA: 12-FEBRERO-1986
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : D

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

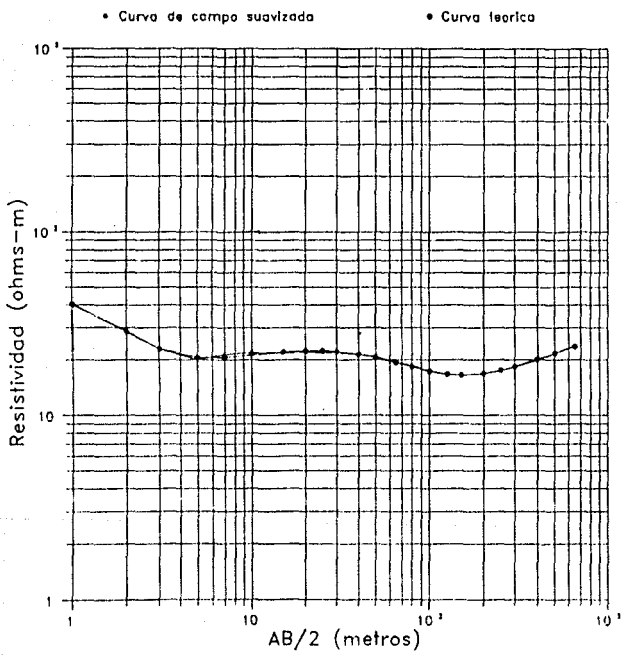
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	46.80	Espesor 1 =	0.74
Resistividad 2 =	18.42	Espesor 2 =	3.20
Resistividad 3 =	23.82	Espesor 3 =	24.63
Resistividad 4 =	14.51	Espesor 4 =	140.60
resistividad 5 =	30.34	Espesor 5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	40.0000	40.2653
2.0000	29.0000	28.5151
3.0000	23.0000	23.0555
5.0000	20.0000	20.5982
7.0000	21.4000	20.6823
10.0000	22.0000	21.3463
15.0000	22.0000	22.1310
20.0000	22.2000	22.4339
25.0000	22.0000	22.4312
30.0000	22.0000	22.2341
40.0000	21.5000	21.5100
50.0000	20.8000	20.6062
65.0000	19.5000	19.2946
80.0000	18.5000	18.2431
100.0000	17.4000	17.2944
125.0000	16.7000	16.6786
150.0000	16.5000	16.4802
200.0000	16.9000	16.7681
250.0000	17.5000	17.4972
300.0000	18.2000	18.3908
400.0000	19.9000	20.2037
500.0000	21.8000	21.7792
650.0000	24.0000	23.6142

Error = 1.47%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 REALIZO: R. N. H. FECHA: 18-FEBRERO-1986
 LINEA : D ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : D

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	22.88	Espesor 1 =	1.29
Resistividad 2 =	34.12	Espesor 2 =	3.38
Resistividad 3 =	17.46	Espesor 3 =	92.06
Resistividad 4 =	9.37	Espesor 4 =	142.84
resistividad 5 =	56.54	Espesor 5 =	INFINITO

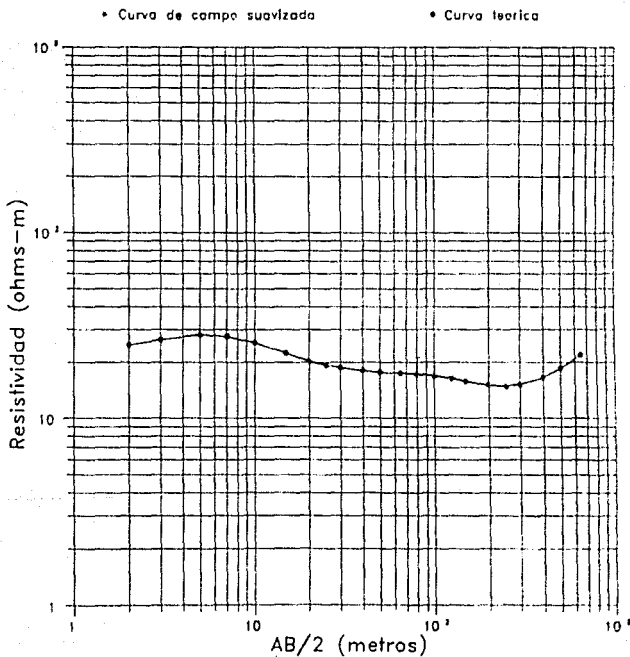
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
2.0000	24.8000	24.8771
3.0000	26.4000	26.5550
5.0000	28.5000	28.0591
7.0000	27.5000	27.6285
10.0000	25.5000	25.6334
15.0000	22.7000	22.4080
20.0000	20.0000	20.4261
25.0000	19.3000	19.3253
30.0000	18.9000	18.6981
40.0000	18.0000	18.0635
50.0000	17.6000	17.7398
65.0000	17.6000	17.4150
80.0000	17.5000	17.1281
100.0000	17.0000	16.7319
125.0000	16.5000	16.2146
150.0000	15.9000	15.7213
200.0000	15.1000	15.0029
250.0000	15.0000	14.7874
300.0000	15.3000	15.0532
400.0000	16.5000	16.5577
500.0000	18.4000	18.6566
650.0000	22.0000	21.9426

Error = 1.19%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER

SONDEO: SEV 2
LINEA : D

FECHA: 17-FEBRERO-1989
LUGAR: FLORENCIA, GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : H

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

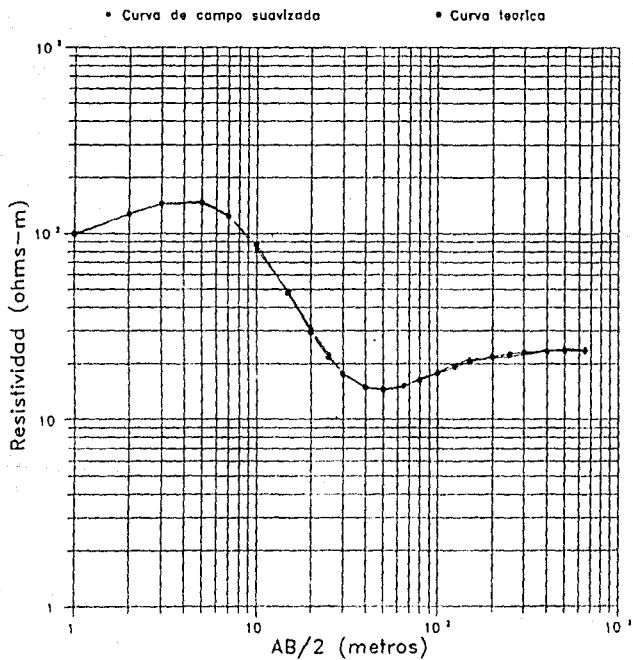
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	88.24	Espesor 1 =	0.84
Resistividad 2 =	241.06	Espesor 2 =	2.49
Resistividad 3 =	30.77	Espesor 3 =	7.12
Resistividad 4 =	11.36	Espesor 4 =	36.63
Resistividad 5 =	37.72	Espesor 5 =	38.63
Resistividad 6 =	23.17	Espesor 6 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	97.5000	99.6984
2.0000	128.0000	126.9381
3.0000	144.0000	143.9083
5.0000	148.0000	144.6300
7.0000	125.0000	123.8416
10.0000	82.5000	87.5236
15.0000	49.0000	47.7020
20.0000	31.0000	29.6144
25.0000	22.4000	21.5375
30.0000	17.4000	17.7159
40.0000	14.8000	14.9372
50.0000	14.4000	14.5031
65.0000	15.0000	15.1534
80.0000	16.5000	16.2392
100.0000	18.0000	17.7160
125.0000	20.0000	19.2711
150.0000	21.2000	20.4485
200.0000	21.5000	21.9399
250.0000	22.0000	22.7228
300.0000	22.5000	23.1292
400.0000	23.5000	23.4332
500.0000	24.0000	23.4830
650.0000	23.9000	23.4437

Error = 2.62%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 REALIZO: R. N. H. FECHA: 7-ENERO-1989
 LINEA : H ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : H

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

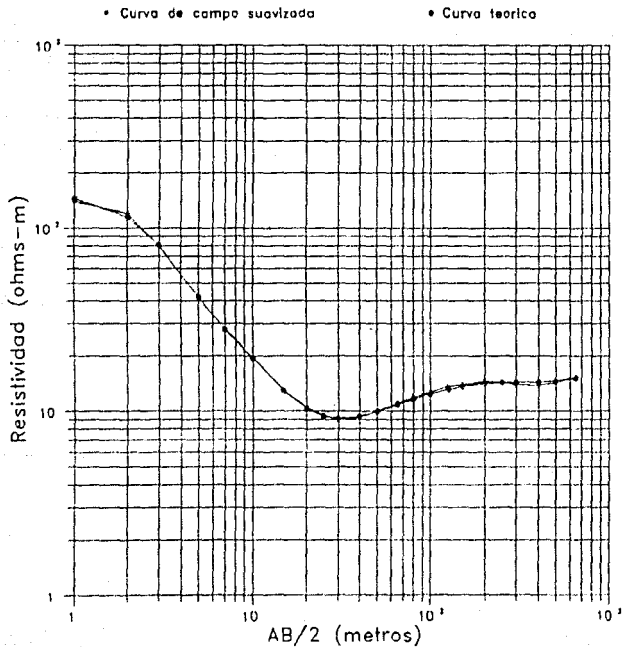
Resistividad 1 =	152.82	Espesor 1 =	1.38
Resistividad 2 =	27.57	Espesor 2 =	4.45
Resistividad 3 =	7.53	Espesor 3 =	23.64
Resistividad 4 =	16.51	Espesor 4 =	138.78
Resistividad 5 =	7.81	Espesor 5 =	69.12
Resistividad 6 =	18.53	Espesor 6 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)

1.0000	140.0000	145.0628
2.0000	120.0000	114.3428
3.0000	80.0000	80.2590
5.0000	42.0000	41.7404
7.0000	28.0000	27.9370
10.0000	19.5000	19.4473
15.0000	13.0000	12.9460
20.0000	10.5000	10.3134
25.0000	9.5000	9.3664
30.0000	9.0000	9.1219
40.0000	9.2500	9.3796
50.0000	10.0000	9.9400
65.0000	11.0000	10.8355
80.0000	11.9000	11.6181
100.0000	12.7000	12.4367
125.0000	13.6000	13.1587
150.0000	14.0000	13.6373
200.0000	14.5000	14.1383
250.0000	14.4000	14.3124
300.0000	14.0000	14.3561
400.0000	13.9000	14.4059
500.0000	14.3000	14.5785
650.0000	15.4000	15.0241

Error = 2.20%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 2
LINEA: H
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 8-ENERO-1980
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)

CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 3
 LINEA : H

LUGAR : FLORENCIA, GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	11.21	Espesor 1 =	0.39
Resistividad 2 =	74.55	Espesor 2 =	3.04
Resistividad 3 =	9.26	Espesor 3 =	38.51
Resistividad 4 =	22.13	Espesor 4 =	22.05
Resistividad 5 =	18.10	Espesor 5 =	INFINITO

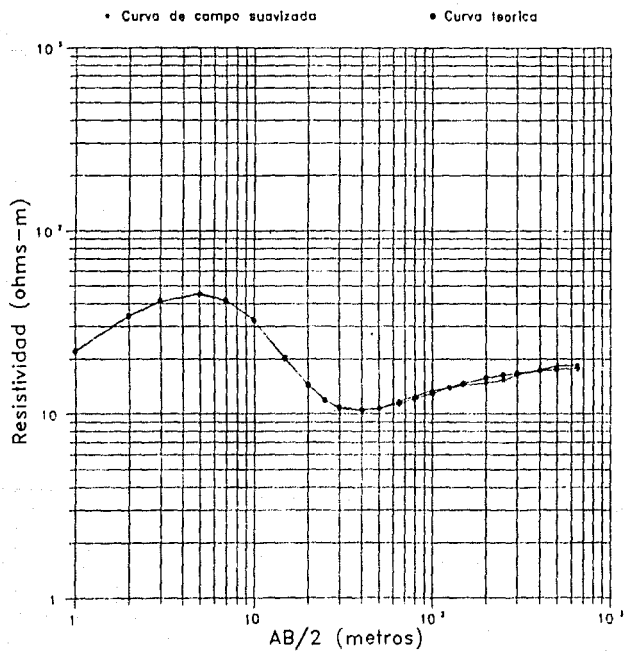
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	22.0000	22.1233
2.0000	34.0000	34.3041
3.0000	41.0000	41.1869
5.0000	45.5000	44.9195
7.0000	42.0000	41.4724
10.0000	32.5000	32.4494
15.0000	20.0000	20.3640
20.0000	14.5000	14.3803
25.0000	12.0000	11.8723
30.0000	10.7000	10.8930
40.0000	10.5000	10.4935
50.0000	10.7000	10.7203
65.0000	11.7000	11.3755
80.0000	12.5000	12.1198
100.0000	13.5000	13.0514
125.0000	14.0000	14.0143
150.0000	14.4000	14.7594
200.0000	14.9000	15.7793
250.0000	15.4000	16.4120
300.0000	16.4000	16.8258
400.0000	17.5000	17.3099
500.0000	18.4000	17.5679
650.0000	18.5000	17.7730

Error = 2.71%

SONDEO: SEV 3
LINEA : H

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER

FECHA: 8-ENERO-1989
LUGAR: FLORENCIA, GTO



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : E

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	31.93	Espesor 1 =	0.86
Resistividad 2 =	52.36	Espesor 2 =	1.67
Resistividad 3 =	8.47	Espesor 3 =	25.55
Resistividad 4 =	19.28	Espesor 4 =	42.07
Resistividad 5 =	9.62	Espesor 5 =	284.09
Resistividad 6 =	63.47	Espesor 6 =	INFINITO

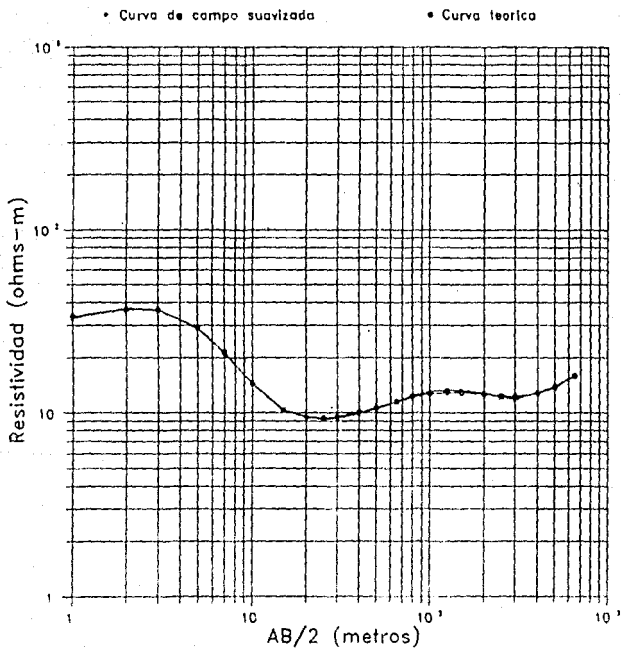
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	33.0000	33.5937
2.0000	37.0000	36.6178
3.0000	36.5000	36.3413
5.0000	28.9000	29.2381
7.0000	20.9000	21.4585
10.0000	14.5000	14.3275
15.0000	10.4000	10.3068
20.0000	9.5000	9.4712
25.0000	9.2500	9.3832
30.0000	9.4000	9.5279
40.0000	9.9000	10.0692
50.0000	10.5000	10.7015
65.0000	11.5000	11.5565
80.0000	12.4000	12.1872
100.0000	13.0000	12.6870
125.0000	13.3000	12.9163
150.0000	13.2000	12.8930
200.0000	12.8000	12.5879
250.0000	12.2000	12.3252
300.0000	11.9000	12.2588
400.0000	12.9000	12.7249
500.0000	14.0000	13.7636
650.0000	16.0000	15.8589

Error = 1.71%

SONDEO: SEV 1
LINEA: E

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER

FECHA: 28-DIC.-1988
LUGAR: SAN FCO., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : E

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

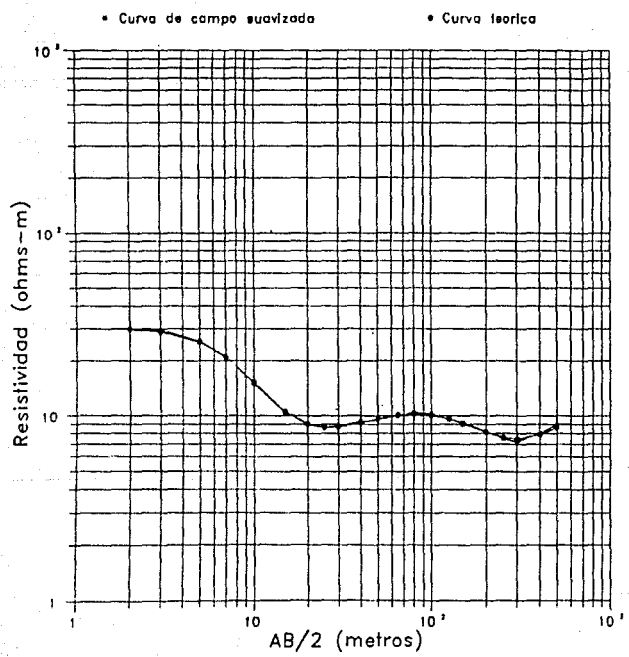
Resistividad 1 =	30.47	Espesor 1 =	3.96
Resistividad 2 =	7.25	Espesor 2 =	19.13
Resistividad 3 =	15.22	Espesor 3 =	40.92
Resistividad 4 =	4.90	Espesor 4 =	167.32
Resistividad 5 =	18.81	Espesor 5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)

2.0000	30.0000	29.9659
3.0000	29.5000	28.9420
5.0000	25.7000	25.3215
7.0000	21.2000	20.8916
10.0000	15.0000	15.3486
15.0000	10.5000	10.5980
20.0000	9.0000	9.0509
25.0000	8.7000	8.6828
30.0000	8.8000	8.7287
40.0000	9.3000	9.1651
50.0000	9.5000	9.6290
65.0000	10.0000	10.0900
80.0000	10.4000	10.2448
100.0000	10.3000	10.1055
125.0000	9.6000	9.6366
150.0000	9.2000	9.0725
200.0000	8.2000	8.1243
250.0000	7.5000	7.6165
300.0000	7.2000	7.4921
400.0000	8.0000	7.9100
500.0000	9.0000	8.6781

Error = 1.71%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 SONDEO: SEV 2 REALIZO: R. N. H. FECHA: 28-DIC.-1988
 LINEA : E ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: SAN FC0., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 3
 LINEA : E

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

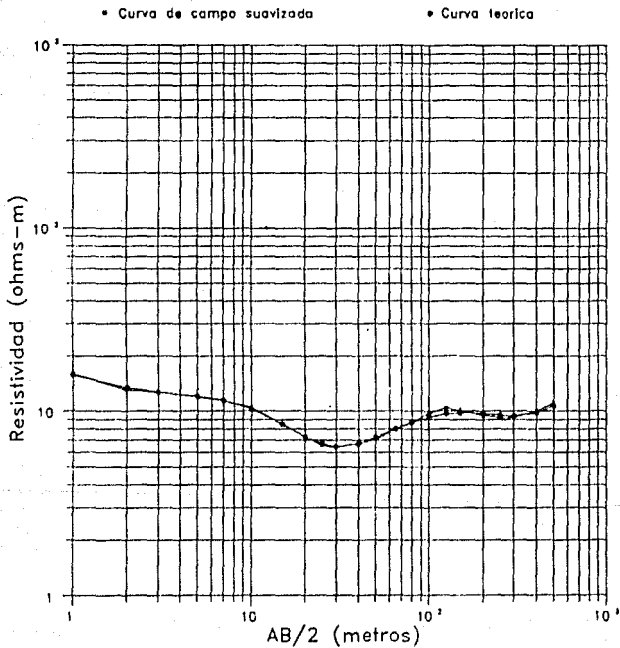
Resistividad 1 =	18.36	Espesor 1 =	0.48
Resistividad 2 =	12.23	Espesor 2 =	6.68
Resistividad 3 =	4.54	Espesor 3 =	19.32
Resistividad 4 =	16.71	Espesor 4 =	45.75
Resistividad 5 =	6.78	Espesor 5 =	259.92
Resistividad 6 =	61.71	Espesor 6 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de Campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	16.0000	15.7359
2.0000	13.0000	13.4494
3.0000	12.7000	12.6954
5.0000	12.0000	12.0364
7.0000	11.4000	11.4174
10.0000	10.5000	10.3096
15.0000	8.5000	8.5072
20.0000	7.2500	7.2850
25.0000	6.5500	6.6614
30.0000	6.4000	6.4527
40.0000	6.7500	6.6743
50.0000	7.0000	7.2060
65.0000	8.0000	8.0309
80.0000	8.7500	8.6896
100.0000	9.7500	9.2785
125.0000	10.4000	9.6574
150.0000	10.1000	9.7828
200.0000	9.5000	9.6913
250.0000	9.2500	9.5178
300.0000	9.2500	9.4531
400.0000	10.0000	9.7909
500.0000	11.0000	10.6310

Error = 2.61%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

SONDEO: SEV 3 REALIZO: R. N. H. FECHA: 29-DIC.-1988
 LINEA : Z ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: SAN FCO., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : F

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

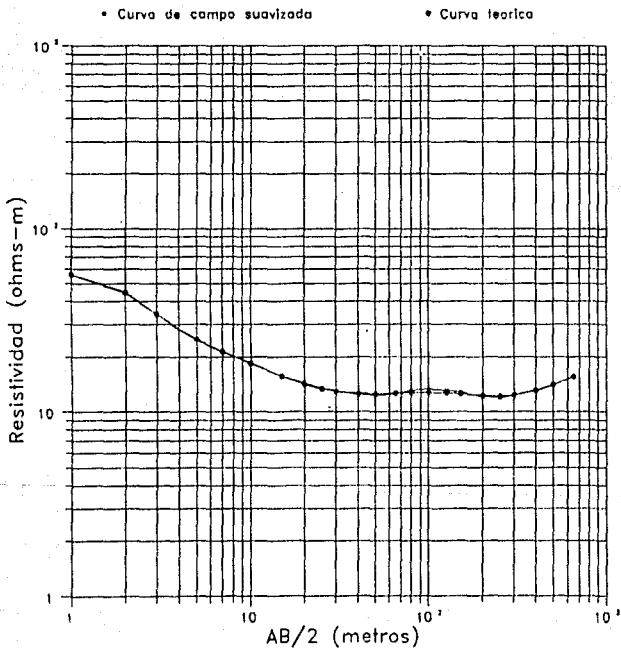
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	59.77	Epesor 1 =	1.11
Resistividad 2 =	21.39	Epesor 2 =	4.85
Resistividad 3 =	11.85	Epesor 3 =	40.65
Resistividad 4 =	19.25	Epesor 4 =	23.59
Resistividad 5 =	9.48	Epesor 5 =	158.19
Resistividad 6 =	23.26	Epesor 6 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	56.0000	56.0818
2.0000	45.0000	44.3170
3.0000	34.0000	34.1255
5.0000	25.0000	24.7248
7.0000	21.5000	21.2939
10.0000	18.4000	18.4942
15.0000	15.7000	15.6437
20.0000	14.4000	14.1118
25.0000	13.4000	13.3179
30.0000	13.0000	12.9048
40.0000	12.4000	12.5851
50.0000	12.2000	12.5372
65.0000	12.5000	12.6176
80.0000	13.1000	12.7156
100.0000	13.3000	12.7686
125.0000	13.1000	12.6989
150.0000	12.8000	12.5466
200.0000	12.1000	12.2503
250.0000	12.0000	12.1864
300.0000	12.3000	12.3419
400.0000	13.0000	13.0935
500.0000	14.0000	14.0699
650.0000	15.7000	15.4891

Error = 1.69%

FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 1
LINEA : F
REALIZO: R. N. H.
ARREGLO: SCHLUMBERGER
FECHA: 30-DIC.-1988
LUGAR: SAN FCO., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 2
 LINEA : F

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

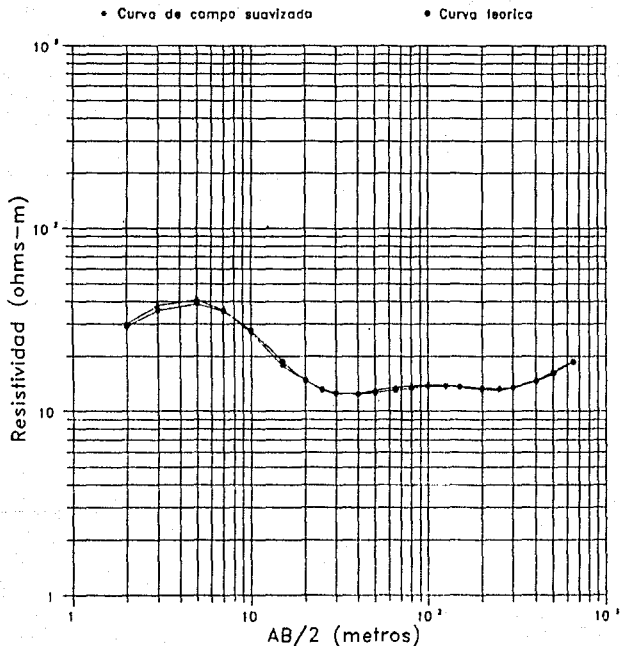
Resistividad 1 =	10.33	Espesor 1 =	0.50
Resistividad 2 =	107.63	Espesor 2 =	1.54
Resistividad 3 =	11.27	Espesor 3 =	32.04
Resistividad 4 =	19.69	Espesor 4 =	35.21
Resistividad 5 =	10.21	Espesor 5 =	196.08
Resistividad 6 =	43.22	Espesor 6 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
----------------	-------------------------------	--------------------------------

2.0000	30.0000	29.0354
3.0000	38.0000	35.5877
5.0000	41.0000	38.1946
7.0000	36.0000	35.4605
10.0000	27.0000	27.8563
15.0000	17.9000	18.7954
20.0000	14.9000	14.7634
25.0000	13.0000	13.1941
30.0000	12.5000	12.6195
40.0000	12.5000	12.4481
50.0000	13.0000	12.6596
65.0000	13.5000	13.0976
80.0000	13.9000	13.4601
100.0000	14.0000	13.7311
125.0000	13.9500	13.7923
150.0000	13.5000	13.6883
200.0000	13.2000	13.4114
250.0000	13.0000	13.3445
300.0000	13.5000	13.5602
400.0000	14.9000	14.6369
500.0000	16.5000	16.1643
650.0000	18.8000	18.6308

Error = 2.79%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 REALIZO: R. N. H. FECHA: 30-DIC.-1988
 LINEA : F ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: SAN FCO., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SEV 1
 LINEA : G

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	116.63	Espesor 1 =	1.14
Resistividad 2 =	24.56	Espesor 2 =	3.31
Resistividad 3 =	8.94	Espesor 3 =	40.60
Resistividad 4 =	15.56	Espesor 4 =	22.11
Resistividad 5 =	8.05	Espesor 5 =	161.04
Resistividad 6 =	43.17	Espesor 6 =	INFINITO

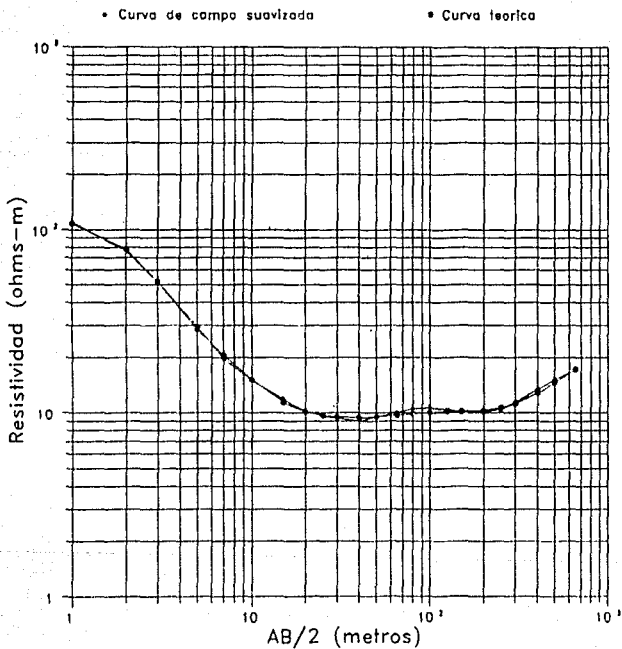
AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	110.0000	107.5005
2.0000	76.0000	77.8209
3.0000	52.0000	51.8953
5.0000	29.5000	28.5285
7.0000	19.8000	20.5946
10.0000	15.0000	15.1453
15.0000	11.9000	11.3993
20.0000	10.3000	10.1454
25.0000	9.6000	9.6858
30.0000	9.4000	9.5045
40.0000	9.0000	9.4336
50.0000	9.5000	9.5067
65.0000	10.0000	9.6931
80.0000	10.5000	9.8748
100.0000	10.7000	10.0462
125.0000	10.4000	10.1524
150.0000	10.1000	10.2008
200.0000	10.1000	10.3417
250.0000	10.5000	10.6897
300.0000	11.4000	11.2544
400.0000	13.4000	12.8081
500.0000	15.2000	14.5834
650.0000	17.0000	17.1895

Error = 3.10%

FACULTAD DE INGENIERIA
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 REALIZO: R. N. H.
 ARREGLO: SCHLUMBERGER

SONDEO: SEV 1
 LINEA : G

FECHA: 30-DIC.-1988
 LUGAR: SAN FCO., GTO.



FILTRO DE O'NEILL (20 coeficientes)
 CALCULO DE CURVAS DE RESISTIVIDAD APARENTE

SONDEO : SSV 2
 LINEA : C

LUGAR : SAN FCO., GTO.
 CALCULISTA : R. N. H.

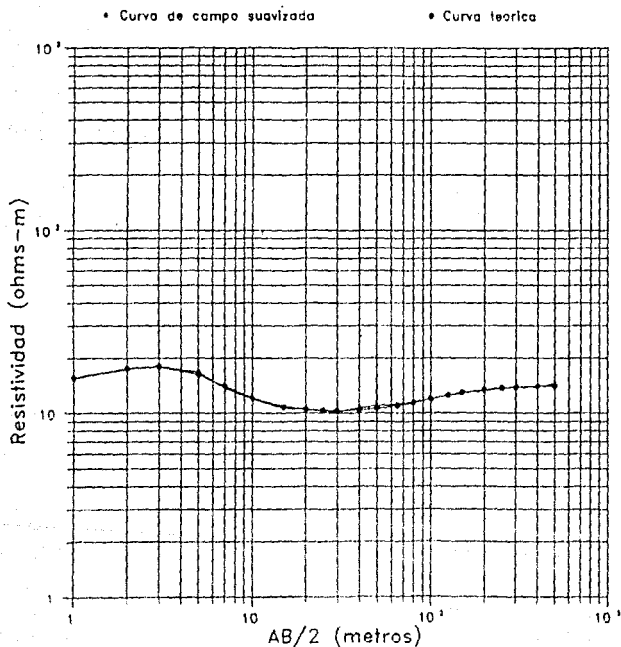
MODELO GEOELECTRICO

Resistividad 1 =	14.60	Espeor 1 =	0.85
Resistividad 2 =	27.12	Espeor 2 =	1.72
Resistividad 3 =	10.03	Espeor 3 =	46.23
Resistividad 4 =	18.09	Espeor 4 =	28.28
Resistividad 5 =	14.10	Espeor 5 =	INFINITO

AB/2 (mts.)	Curva de campo (ohms-m)	Curva calculada (ohms-m)
1.0000	15.5000	15.6077
2.0000	17.5000	17.5825
3.0000	18.0000	18.0397
5.0000	16.8000	16.2129
7.0000	13.7000	14.0700
10.0000	12.0000	12.1094
15.0000	10.7000	10.8755
20.0000	10.5000	10.5013
25.0000	10.3000	10.3765
30.0000	10.2000	10.3498
40.0000	10.7000	10.4348
50.0000	11.0000	10.6221
65.0000	11.2000	11.0033
80.0000	11.5000	11.4284
100.0000	12.0000	11.9708
125.0000	12.5000	12.5331
150.0000	13.0000	12.9535
200.0000	13.2000	13.4740
250.0000	13.7000	13.7427
300.0000	13.8000	13.8863
400.0000	14.0000	14.0134
500.0000	14.5000	14.0593

Error = 1.68%

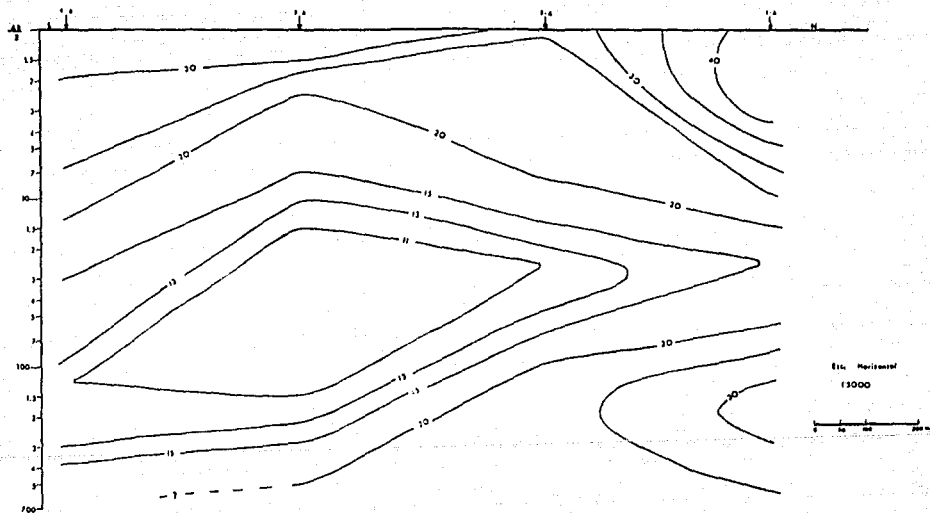
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
SONDEO: SEV 2 REALIZO: R. N. H. FECHA: 20-DIC.-1988
LINEA : G ARREGLO: SCHLUMBERGER LUGAR: SAN FCO., GTO.



APENDICE II

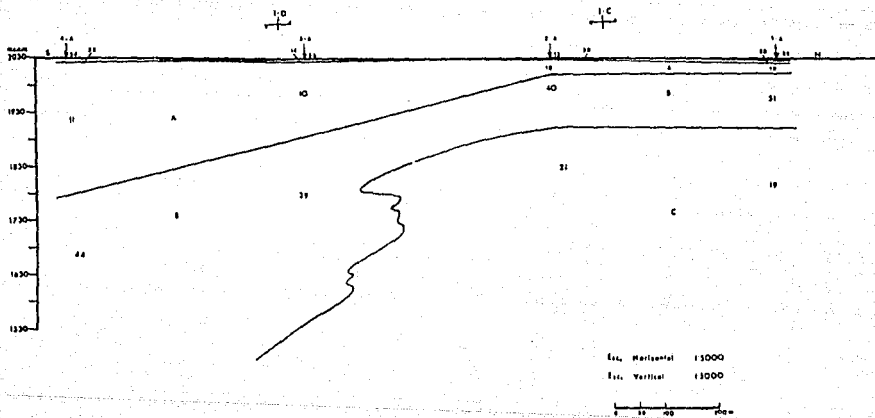
SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

PERFIL A



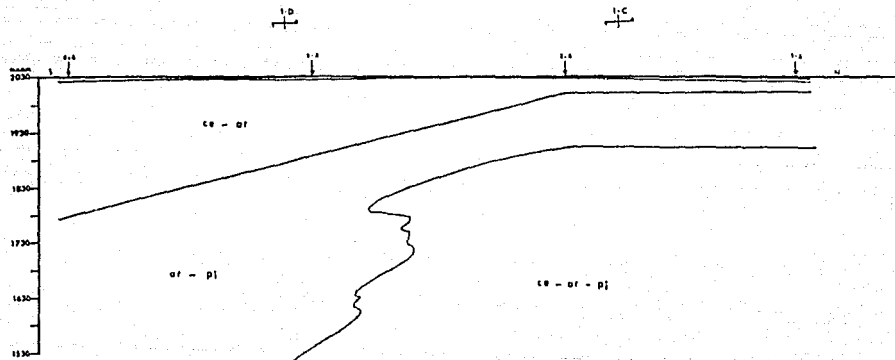
SECCION GEOELECTRICA

PERFIL A

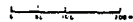


SECCION GEOLOGICA

PERFIL A



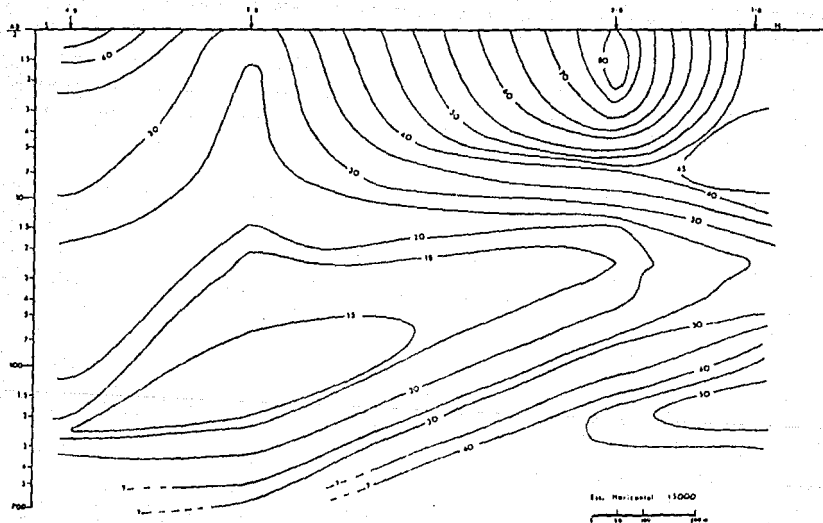
Esc. Horizontal 1:5000
Esc. Vertical 1:1000



- ce cenizas volcánicas
- ar arenas volcánicas
- pl Piróclastos puros

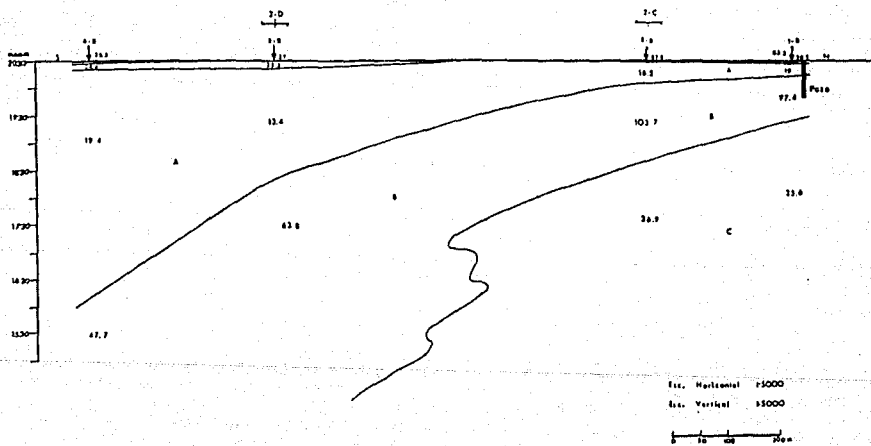
SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

PERFIL B



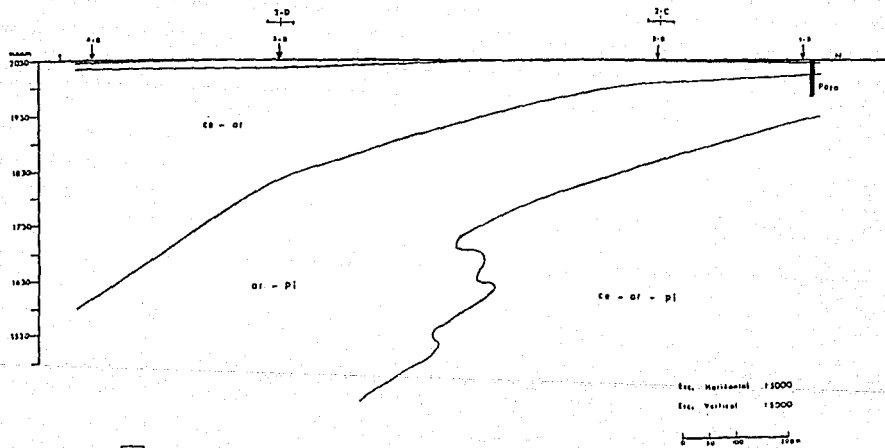
SECCION GEOELECTRICA

PERFIL B



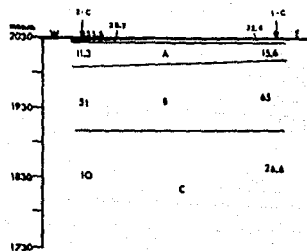
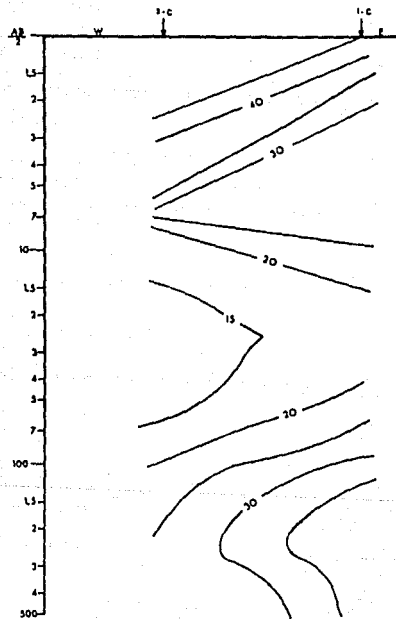
SECCION GEOLOGICA

PERFIL B



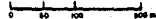
- ca cenizas volcanicas
- af arenas volcanicas
- pi Piroclasticos gruesos

SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES Y GEOELECTRICA
PERFIL C

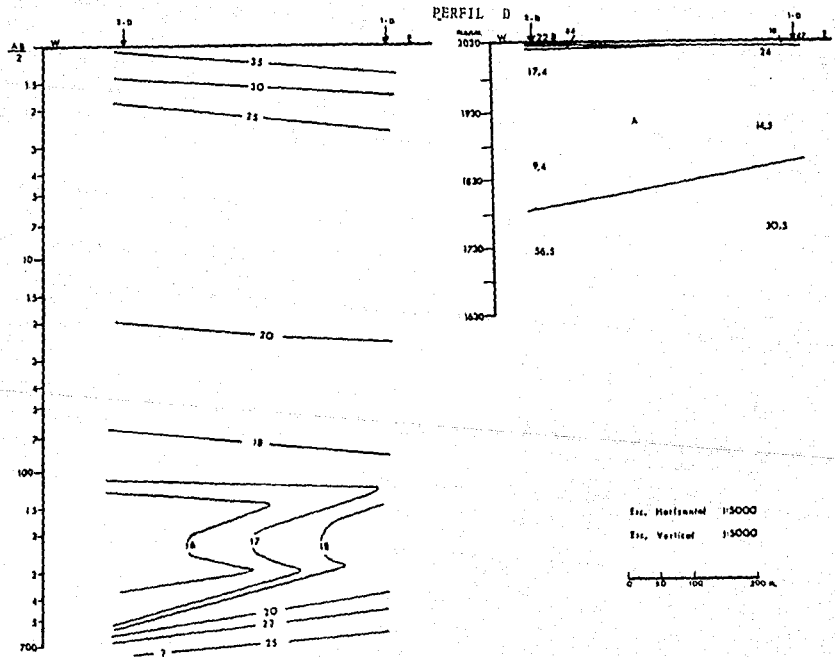


Esc. Horizontal 1:5000

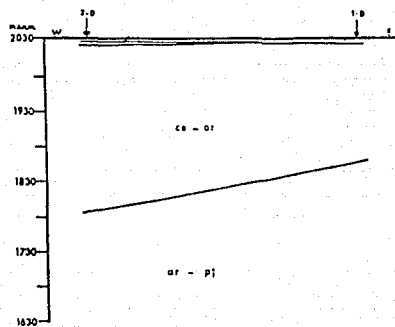
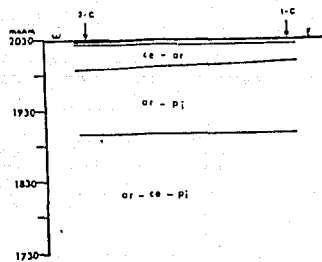
Esc. Vertical 1:5000



SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES Y GEOELECTRICA



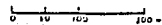
SECCION GEOLOGICA
PERFILES C Y D



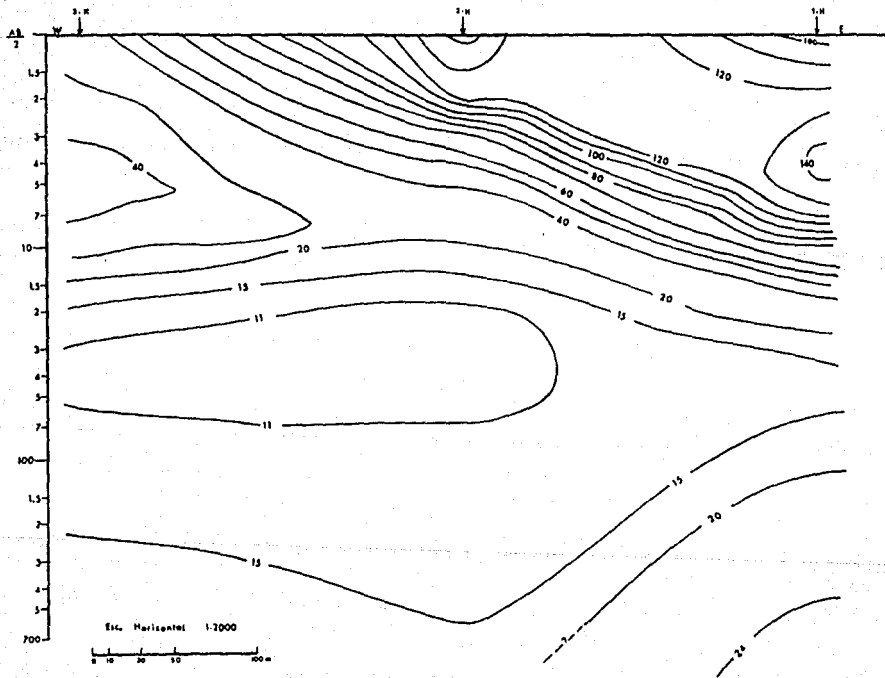
- ce cenizas volcanicas
- ar arenas volcanicas
- pi Piroclasticos gruesos

Etc. Horizontal: 1:5000

Etc. Vertical: 1:5000

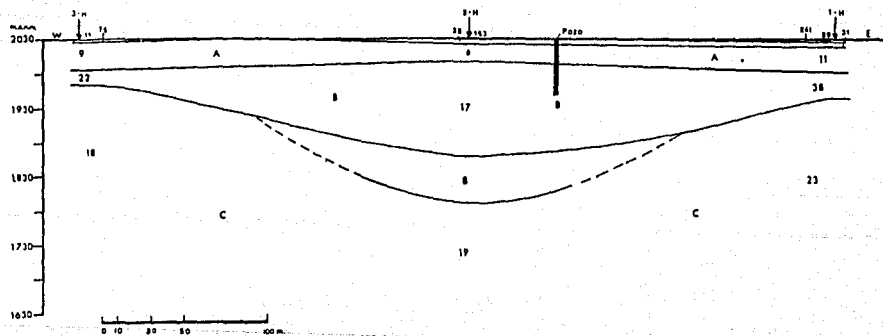


SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES



SECCION GEOELECTRICA

PERFIL H

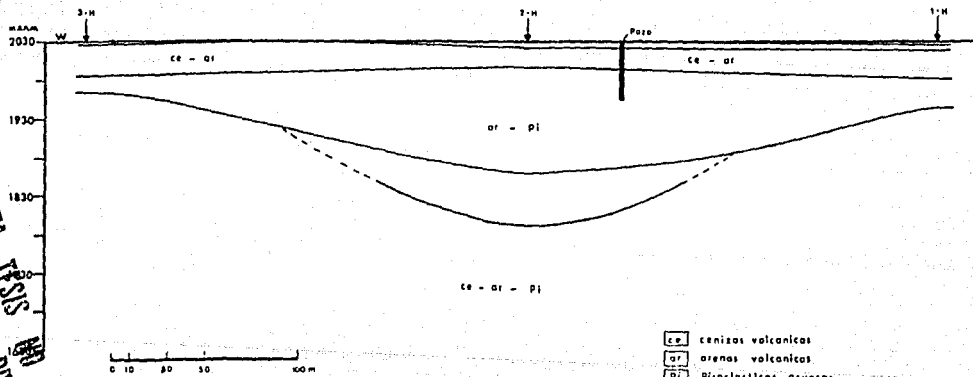


Esc. Horizontal 1:2000

Esc. Vertical 1:5000

SECCION GEOLOGICA

PERFIL H



- ce cenizas volcanicas
- ar arenas volcanicas
- pl Piroclasticos gruesos

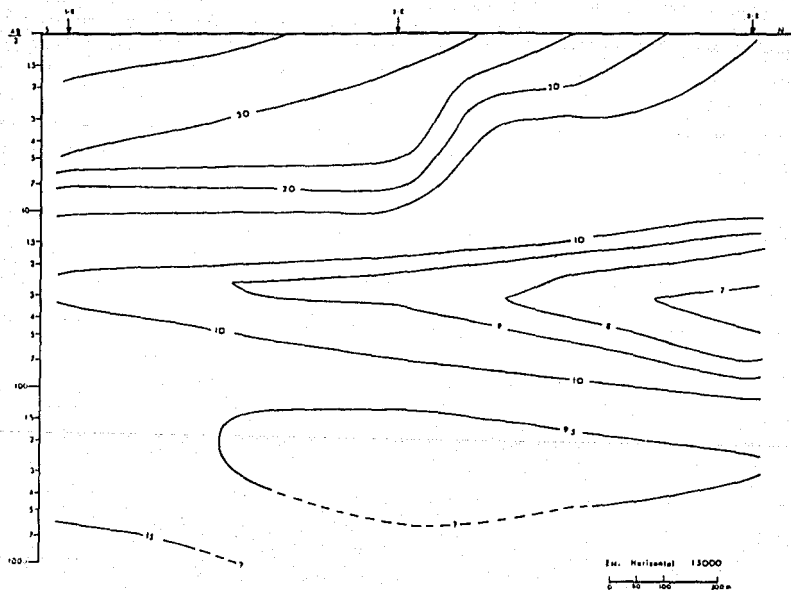
Esc. Horizontal 1:2000

Esc. Vertical 1:5000

SALIR DE LA BIBLIOTECA
 ESTA TESIS YA TIENE
 SALIDA

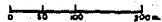
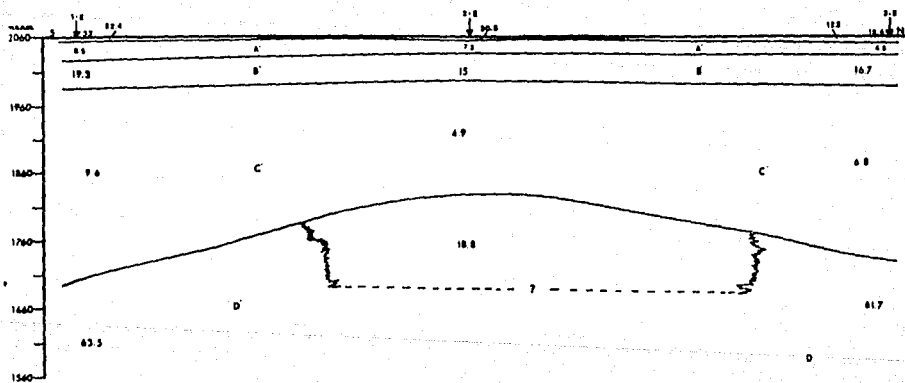
SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

PERFIL E



SECCION GEOELECTRICA

PERFIL B

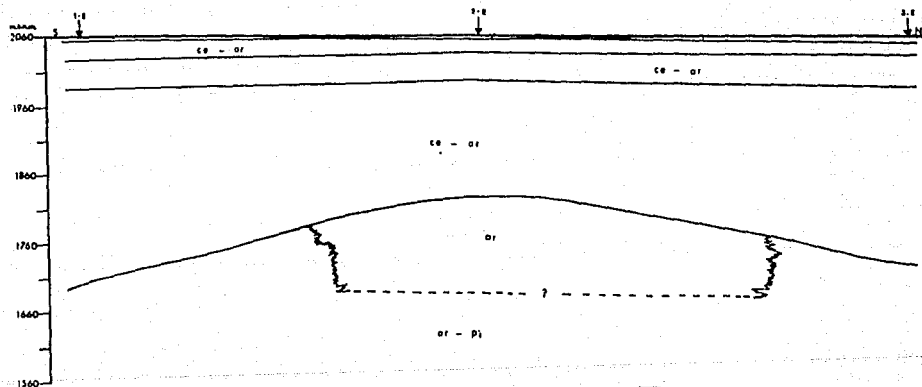


Esc. Horizontal 1:5000

Esc. Vertical 1:5000

SECCION GEOLOGICA

PERFIL E

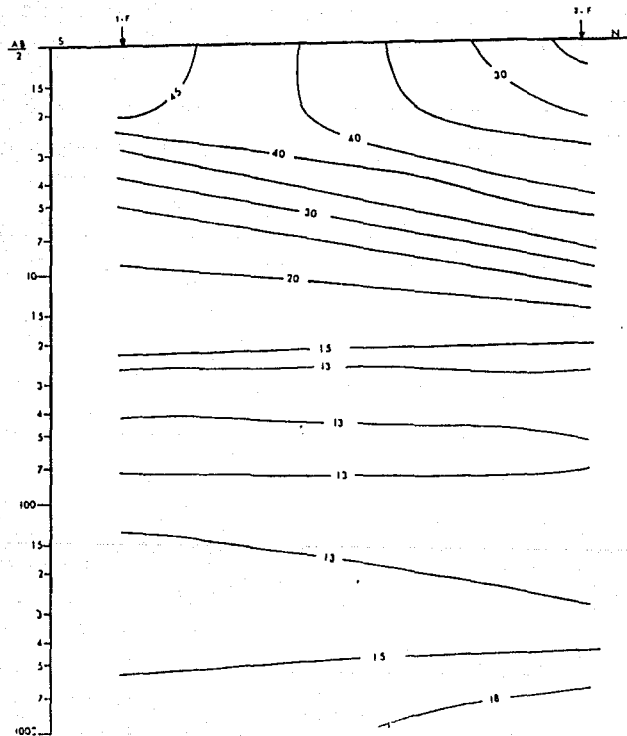


- ce cenizas volcanicas
- ar arenas volcanicas
- pi Piroclasticos gruesos

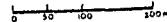
Esc. Horizontal 1:5000

Esc. Vertical 1:5000

SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

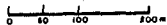
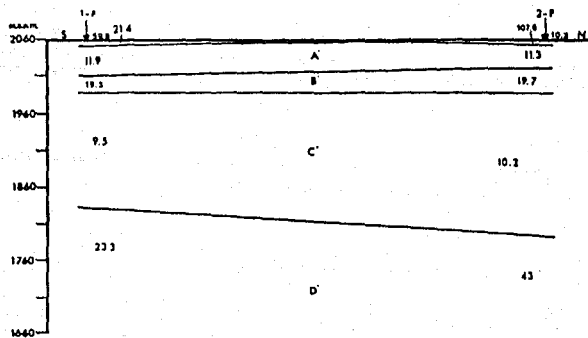


Esc. Horizontal 1:5000



SECCION GEOELECTRICA

PERFIL F

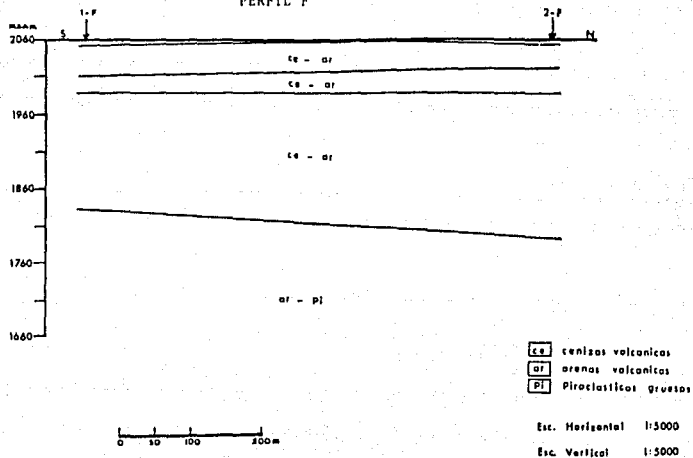


Escala Horizontal 1:5000

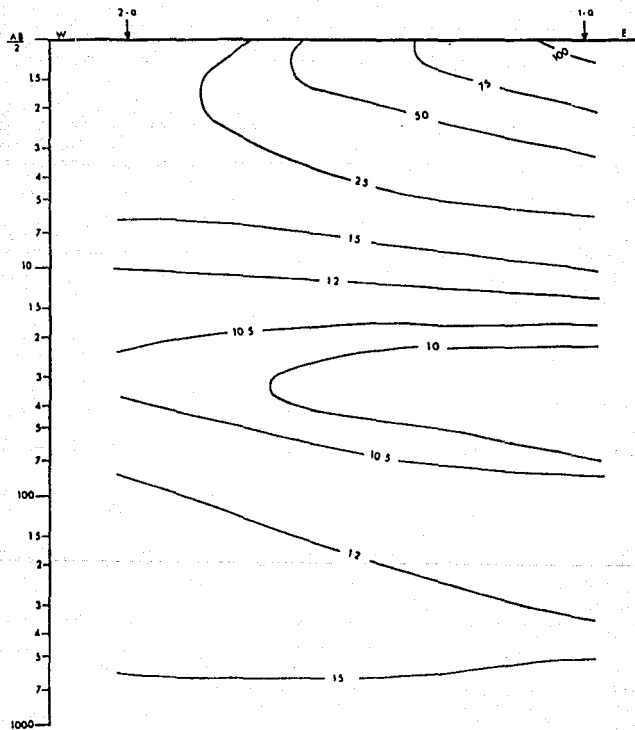
Escala Vertical 1:5000

SECCION GEOLOGICA

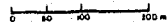
PERFIL F



SECCION DE ISORRESISTIVIDADES APARENTES

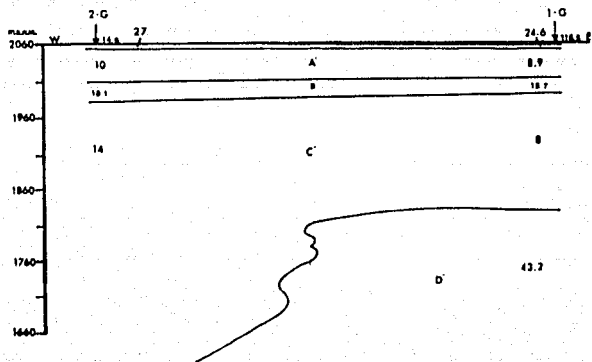


Esc. Horizontal 1:5000



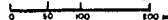
SECCION GEOELECTRICA

PERFIL G



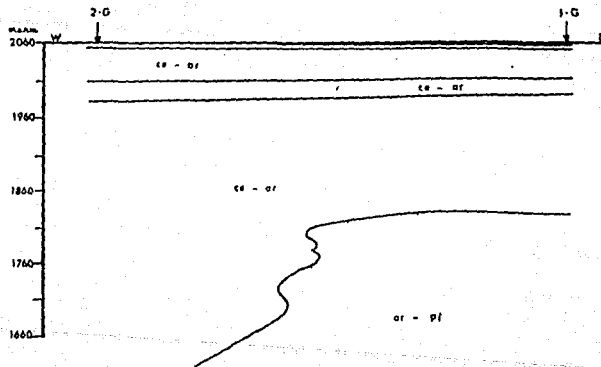
Esc. Horizontal 1:5000

Esc. Vertical 1:5000



SECCION GEOLOGICA

PERFIL G



- ce cenizas volcanicas
- or arenas volcanicas
- pl Piroclasticos gruesos

Esc. Horizontal 1:5000

Esc. Vertical 1:5000

