



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“ESTUDIO GEOFÍSICO PARA DETERMINAR LA POSIBLE EXISTENCIA DE
CAVIDADES EN UN PREDIO UBICADO EN CHILUCA, MUNICIPIO DE
ATIZAPÁN, ESTADO DE MÉXICO. DONDE SE PROYECTA CONSTRUIR
EL COLEGIO KIPLING”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA: MIGUEL VERA JESÚS ALFONSO

ASESOR: ING. GABRIEL RUIZ GONZÁLEZ



Cd. Netzahualcoyotl, a 22 de Noviembre de 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos y Dedicatorias

A ti **Papá**, por brindarme tu apoyo, por confiar y creer en mí en este ciclo que hoy concluyo, gracias por darme esa confianza y darme la oportunidad de lograr culminar hoy mis estudios, Gracias Papá. Además de los consejos que me otorgaste para cavilar y ordenar mis ideas.

Para ti **Mamá**, que hoy concluyo una etapa muy importante y que gracias a ti en compañía de mi papá, ha sido posible este gran logro, agradezco tu compañía y tu aliento que me ofreciste durante esta travesía, tus palabras, tus consejos pero sobre todo la gran confianza que tuviste siempre en mí.

Gracias **Mamá Eva**, por darme tu compañía, tus palabras, tus consejos y todo el tiempo que dedicaste a mi educación continua, que fueron las bases para lograr al profesionalista que hoy tienes ante ti, Gracias Evita

Doy gracias a **Dios**, por darme vida, tiempo y oportunidad de culminar todos y cada uno de mis estudios de una forma satisfactoria y es imperante para mí el darte gracias Dios.

Para mis **Hermanos Fabiola, Hugo, y Ana**, que siempre encontraron las palabras y los actos para alentarme a seguir adelante y lograr lo que ahora se ha concluido, gracias hermanos.

Ing. Gabriel Ruiz, te agradezco infinitamente tu paciencia, tu tiempo y sobre todo la dedicación que me otorgaste, para concluir este trabajo en el que se ve reflejado el ímpetu que pusiste para conmigo, no podre terminar de agradecerte esto que al momento juntos concluimos.

A Ustedes **Padrinos Roberto Silva y Guadalupe Vera**, que me brindaron un apoyo incondicional y que es gustoso para mí el compartir este logro tan relevante e importante en mi vida, agradezco todos y cada uno de los detalles que me

A Ustedes **Tíos, Héctor Vera, Mónica Vera, Anel Vera, José Luis Fdez. y Verónica C.**, agradezco sus consejos que me dieron voluntad y fortaleza para que culminara esta gran etapa de mi vida y que al momento pueden ver reflejada esa dedicación.

A la **Familia Vera** que compartió a mi lado el proceso que conllevo la realización de este gran proyecto, agradezco a todos y cada uno de los integrantes de esta valiosa y extensa familia todas y cada una de las palabras que me proveyeron para continuar adelante.

A la **Familia Sandoval**, que es para mí una complacencia el brindarles las gracias y hacerles mención a cada uno de los miembros de esta importante familia lo valiosas que fueron sus exhortaciones.

A la **Familia Miguel** que les dedico este trabajo que representa un arduo trabajo y sacrificio que ha ayudado a lograr una meta que siempre ha sido deseada por todos los miembros de esta honorable Familia y que al momento me es dichoso compartir esta felicidad que me embarga.

A todos y cada uno de mis **Primos**, les doy gracias por sus palabras, por las diversiones y todas y cada una de las cosas que ayudaron a finalizar este largo proceso y que en el estuvieron presentes.

En dedicación y memoria, a esas personas **Ezequiel Vera y Luis Sandoval**, que hoy no se encuentran físicamente ante mí, pero sé que su sabiduría y consejo siempre estuvo presente conmigo y me es hoy muy gustoso el dedicar este trabajo a la memoria de estas personas que fueron muy relevantes en mi carrera y sobre todo en mi persona, gracias Papá y gracias Tío por todos sus consejos que me brindaron durante su estancia en esta vida terrenal.

Doy gracias a mis amigos **Alberto, Roberto, Marcos, Raúl e Ivonne**, que tuvieron una gran participación en el transcurso de esta carrera y que juntos brincamos los obstáculos que en ella se encontraron.

Es imperante el agradecer a los revisores que hicieron posible la realización de esta Tesis, doy gracias a **Mtro. José Paulo Mejorada, Ing. Pascual García, Mtra. Ma. Eugenia Borrego e Ing. Gabriel Álvarez**, que gracias a su honorable y sobre todo respetuoso punto de vista aprobatorio es que este trabajo se ha concluido de una forma excelsa.

A ti **Victoria Jiménez**, por ser una parte muy importante en esta etapa que hoy concluye de mi vida, te agradezco por todo el apoyo y palabras que me has brindado. Además de las grandes cosas que he compartido contigo.

MIGUEL VERA JESÚS ALFONSO

INDICE

TEMA	PAGINA
<i>INTRODUCCION</i>	9
<i>Capítulo I. Antecedentes</i>	12
<i>I.1. Antecedentes</i>	13
<i>I.2. Localización y Descripción Del Área De Estudio</i>	15
<i>I.3. Clima</i>	16
<i>I.4. Fisiografía</i>	16
<i>1.5. Hidrografía</i>	18
<i>I.6.Objetivos del Estudio</i>	19
<i>1.7. Recopilación Y Análisis De La Información-Método del Trabajo</i>	19
<i>I.8. Geología</i>	21
<i>I.9. Estratigrafía</i>	23
<i>Capítulo II. Geofísica</i>	26
<i>II.1. Geofísica</i>	27
<i>II.2. Recomendaciones</i>	53
<i>Capítulo III. Mecánica De Suelos</i>	56
<i>III.1. Investigación Del Suelo</i>	57
<i>III.2.Estratigrafia Del Subsuelo</i>	59
<i>III.3. Análisis De La Cimentación</i>	65
<i>III.4. Recomendaciones</i>	72

<i>Capítulo IV. Trabajos De Verificación</i>	<i>77</i>
<i>IV.1. Compendio</i>	<i>78</i>
<i>IV.2. Sondeos de Verificación</i>	<i>81</i>
<i>IV.3. Interpretación Cualitativa</i>	<i>82</i>
<i>IV.4. Recomendaciones</i>	<i>87</i>
<i>Capitulo V. Conclusiones</i>	<i>92</i>
<i>ANEXO I</i>	<i>98</i>
<i>ANEXO II</i>	<i>141</i>
<i>Bibliografía</i>	<i>151</i>

FIGURAS

No FIGURA	TEMA	PAGINA
1	LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DEL AREA DE ESTUDIO	ANEXO I
2	PROVINCIAS FISIOGRAFICAS	ANEXO I
3	GEOLOGIA	ANEXO I
4	ARREGLO INTERELECTRODICO	ANEXO I
5	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS SEV'S REALIZADOS	ANEXO I
6	SECCIÓN GEOELÉCTRICA A-A'	ANEXO I
7	SECCIÓN GEOELÉCTRICA B-B'	ANEXO I
8	SECCIÓN GEOELÉCTRICA C-C'	ANEXO I
9	SECCIÓN GEOELÉCTRICA D-D'	ANEXO I
10	LINEA 1, TENDIDOS 1 A 4	ANEXO I
11	LINEA 2, TENDIDO 1	ANEXO I
12	LINEA 3, TENDIDO 1	ANEXO I
13	LINEA 4, TENDIDO 1	ANEXO I
14	FIGURA AII.1. LOCALIZACION DE SONDEOS DE VERIFICACION	ANEXO II
15	FIGURA AII.2. SONDEO DE VERIFICACION SV-1	ANEXO II
16	FIGURA AII.3. SONDEO DE VERIFICACION SV-2	ANEXO II
17	FIGURA AII.4. SONDEO DE VERIFICACION SV-3	ANEXO II
18	FIGURA AII.5. SONDEO DE VERIFICACION SV-4	ANEXO II
19	SECCION DE ISORRESISTIVIDAD, LINEA 1	ANEXO II
20	SECCION DE ISORRESISTIVIDAD, LINEA 2	ANEXO II
21	SECCION DE ISORRESISTIVIDAD, LINEA 3	ANEXO II
22	SECCION DE ISORRESISTIVIDAD, LINEA 4	ANEXO II

INTRODUCCION

Si bien es sabido, actualmente ha surgido la necesidad de abocar e incluir estudios mucho más avanzados y más completos en lo que al estudio del suelo se refiere, pues de antemano conocemos que los cimientos en los que nos encontramos suelen ser un tanto inestables y esto es algo que nos ha llevado a la mejora continua de la Mecánica de Suelos en México; y es aquí donde esta compilación de información toma sentido.

Este trabajo se enfoca básicamente a la determinación de probables cavernas que se encuentren en un predio ubicado dentro del Estado De México, el cual es usado ya actualmente por un colegio perteneciente al Instituto Kipling; cabe mencionar que anteriormente a este estudio que se presenta hubo alguno más, que fue llevado a cabo por la empresa Research and Knowledge, S.A. de C.V., sin entrar en detenimiento a este, nos enfocaremos al que precisa este compendio de información.

Una de las instancias que precisan mayor detenimiento en los estudios geofísicos que ayudaran a determinar lo antes mencionado, es la explotación minera que ha sufrido el área en el transcurso del tiempo además de los asentamientos que esto ha generado y que requiere un análisis mucho más completo; cabe mencionar que para lograr dichos resultados seremos auxiliados por varios puntos que se trataran más adelante, tal

es el caso de que nos apoyaremos en los antecedentes que existen ante este predio, como lo es su localización precisa, la climatología que suele ser en ocasiones menos importante, así también recurriremos un poco a otros recursos que se irán desglosando en el avance de esta tesis.

Es preciso mencionar que algunos de los estudios que se emplearan en el auxilio de la determinación de las mencionadas cavidades y lo viable que puede ser el suelo, son estudios que por su certeza serán empleados en este caso práctico, como lo es el Sondeo Eléctrico Vertical por mencionar alguno; es importante mencionar que los métodos eléctricos que se emplearon para este caso, son de vital importancia por la razón de que es importante conocer también la respuesta que pueden tener los diferentes materiales ante una señal eléctrica y la exploración de agua subterránea que pueda estar presente lo cual sin lugar a dudas es de vital importancia el determinarlo.

Cabe destacar que a su vez se usaron otro tipo de sondeos, como lo son los Sondeos de Penetración Estándar (SPT), ayudando estos a nuestros trabajos de verificación y que son complementados con la Geofísica que requiere dicho análisis del terreno, ya que por sí solos estos no indican resultados de anomalías que requieren dichas verificaciones; ayudando también a que la finalidad de la exploración geofísica empleada en este proyecto, determinar las propiedades físico-químicas del suelo en cuestión, pues es indispensable conocer también

su resistividad, su densidad, su magnetismo entre otras tantas que en el desarrollo se mencionaran.

Se precisan datos también, de las formaciones estratigráficas que son de gran importancia, pues ello también nos dará una gran idea de sobre que estamos tratando de proyectar el colegio, pues estos datos serán de gran ayuda para determinar también cuan viable es nuestro terreno para llevar a cabo una obra de dicha índole; tal es el caso de algunas formaciones como lo son la Formación Otomí, y la Chichinautzin, que son las de mayor peso para este contexto.

Siendo a groso modo lo que incluye esta recopilación de información, daremos pie al minucioso estudio geofísico que como objetivo tiene la determinación de la existencia probable o nula de cavernas en un predio ubicado en el Estado de México, iniciando así con los antecedentes que se generaron en base a la investigación e inspección de campo realizados en dicho predio.

CAPITULO I.

Antecedentes.

I.1. ANTECEDENTES

Atizapán, Municipio ubicado en la porción centro-oriental del Estado de México, se encuentra actualmente conurbado con el D.F.; su densidad de población, basada en un censo realizado por el INEGI el año de 1995, arrojaba una cifra aproximada proyectada para el año 2000, de 498,109 habitantes. Esto ha generado el avance paulatino pero sistemático de los desarrollos habitacionales, mismos que conllevan en forma paralela la demanda de bienes y servicios requeridos para estos.

Uno de los problemas que ha enfrentado el municipio, es la explotación de minas de arenas, ya que parte del suelo y subsuelo de este está constituido por materiales volcánicos piroclásticos¹ con gravas, que han sido explotados en la industria de la construcción; sin embargo, la presencia de minas abandonadas que fueron excavadas en túneles, han sido con el tiempo afectadas por el intemperismo, que en apoyo de sobrecargas generadas por las construcciones de casas y edificios, han ocasionado asentamientos diferenciales de graves repercusiones. De esta forma, tanto el municipio como las empresas constructores, se han dado a la tarea de realizar evaluaciones de los terrenos en vías de asentamientos, para evitar los problemas ya mencionados. En el caso del Instituto

¹ Piroclástico: Rocas formadas por acumulación de productos fragmentados y sueltos de origen volcánicos.

Kipling, cuyas autoridades compraron un terreno al sur del aeropuerto de Atizapán, pretenden construir en la zona, un nuevo colegio, por lo que se dieron a la tarea de evaluar el sitio en busca de cavernas que pusieran en peligro el desarrollo.

Por otra parte, la empresa Research and Knowledge, S.A. de C.V. realizó durante el 2007 diversas actividades encaminadas a evaluar el terreno en donde se iba a construir el Colegio Kipling, para lo cual realizaron dos sondeos de penetración estándar a 10 metros de profundidad cada uno, una línea de calicatas según parece a cada 15 metros, 2 pozos a cielo abierto y dos sondeos eléctricos verticales. De las conclusiones obtenidas no se especifico la existencia o no de cavernas sin embargo, los materiales obtenidos en los sondeos al igual que en los pozos a cielo abierto, mostraron que existen intercalaciones de arcillas con limos y arenas finas.

En cuanto a las calicatas (no se especifican de que tipo), se incluye una grafica de resistividades contra distancia al origen, obteniéndose valores a cada 10 metros de distancia. Los valores máximos de resistividad alcanzaron hasta 74 ohm-m. Por último, se incluye también una sección geoelectrica en la cual se incluyen dos SEV's, en esta se presentan valores de entre 15 y 28 ohm-m, a lo cual se les dio una interpretación de materiales limo- arenosos.

I.2. LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

I.2.1. Localización Geográfica y Extensión.

La zona de estudio se encuentra dentro de la zona Esmeralda, al sur del aeropuerto de Atizapán. Los SEV's realizados quedaron distribuidos de acuerdo a la figura 5, cuyas coordenadas fueron tomadas en Datum WGS84²:

No SEV	Coordenadas UTM Datum WGS84	No SEV	Coordenadas UTM Datum WGS84
SEV 01	0469185, 2163762	SEV 11	0469121, 2163558
SEV 02	0469093, 2163703	SEV 12	0469158, 2163525
SEV 03	0469078, 2163724	SEV 13	0469179, 2163583
SEV 04	0469108, 2163727	SEV 14	0469247, 2163680
SEV 05	0469132, 2163723	SEV 15	0469236, 2163706
SEV 06	0469176, 2163702	SEV 16	0469319, 2163675
SEV 07	0469160, 2163685	SEV 17	0469299, 2163734
SEV 08	0469161, 2163646	SEV 18	0469377, 2163728
SEV 09	0469202, 2163665	SEV 19	0469403, 2163687
SEV 10	0469113, 2163611	SEV 20	0469394, 2163644

² World Geodetic System (Sistema Geodesico Mundial)

I.2.2. Vías de comunicación

La zona de estudio se encuentra bien comunicada, ya que cuenta con la vía Jiménez Cantú para llegar a esta; de esta forma, si se parte de Naucalpan, es necesario tomar la Av. Lomas Verdes o si se parte de Atizapán, por la Av. Ruíz Cortínez (ver figura 1).

I.3. CLIMA

El clima de la zona es Templado subhúmedo con lluvias de verano; la precipitación del mes más seco es menor a 60 mm y la lluvia invernal menor a 5%. La precipitación promedio anual es de hasta 838 mm, con una temperatura media anual de 18°C.

I.4. FISIOGRAFIA

El área de estudio se encuentra dentro de la subprovincia fisiográfica conocida como Cuenca de México, cuya importancia radica en que dentro de ella se encuentra la zona urbana más extensa y habitada de la República Mexicana, el Distrito Federal.

La Cuenca de México es una cuenca que inicialmente fue exorreica, formada desde finales del Pleistoceno³ hasta el Holoceno⁴, mediante la continua actividad volcánica que a efecto de posibles fallas tectónicas profundas, permitieron la

³ Pleistoceno: Primer periodo de la era cuaternaria.

⁴ Holoceno: Periodo más reciente del cuaternario.



Figura 1. Localización Geográfica del Área de Estudio

producción de grandes volúmenes de lava y cenizas. A partir del cierre de la cuenca, debido ello a la formación de la Sierra de Chichinautzin (Terciario

Superior y Cuaternario), la Cuenca de México al igual que otras cuencas vecinas como la de Puebla, Texcoco y Chalco, generaron lagos someros y por ende, gran cantidad de materiales finos lacustres que se intercalaron con los productos emitidos por los volcanes en derredor. De esta manera, la CD de México se encuentra sobre antiguos depósitos lacustres intercalados con productos volcánicos del Terciario y Cuaternario, lo que explica la existencia de un sistema acuifero con materiales granulares de permeabilidad muy heterogénea.

Forma parte a su vez de una gran provincia volcánica desarrollada a partir del Mioceno⁵, la cual representa uno gran misterio en cuanto a su origen. Denominada Cordillera Volcánica Transmexicana (C.V.T.), se inicia en la porción centro-oeste de la República Mexicana con gran actividad volcánica; en esta se encuentran mesetas de basalto, tobas y conos de composición media a básica, aflorando solo pequeños manchones de rocas sedimentarias dentro de la masa ígnea. El gran número de aparatos volcánicos formados generaron diversas sierras y cadenas montañosas, entre las cuales se encuentran valles intermontanos, llanuras y cuencas (como la de México), constituidos en gran parte por rellenos aluviales o lacustres que contienen gran variedad de rocas mezcladas con cenizas volcánicas (ver Figura 2).

I.5. HIDROGRAFÍA

Los tipos de drenaje principales en la zona son el subdendrítico⁶ y radial, debido ello a la homogeneidad litológica de los materiales y a que en muchas ocasiones, las estructuras volcánicas permiten el desarrollo de un patrón de escurrimientos a partir de un centro común. La densidad y profundidad de disección del drenaje es intensa, debido ello a

⁵ Mioceno: Cuarto periodo de la era terciaria.

⁶ Drenaje dendrítico.- Este patrón está formado por una corriente principal con sus afluentes primarios y secundarios uniéndose libremente en todas direcciones. Entonces esto indica que la pendiente inicial del área era más bien plana y compuesta de materiales uniformes.

*las pendientes y a la poca permeabilidad que presentan los materiales piroclásticos **aflorescentes**. Esto se comprueba a su vez, con la presa construida al Sur-oriente del área cartografiada, denominada Presa Madín. Todos los escurrimientos son de régimen intermitente*

I.6. OBJETIVOS DEL ESTUDIO.

El estudio de Prospección Geofísico-geológico tiene los siguientes objetivos:

- a) Conocer la geología de la zona en y alrededor del terreno en estudio*
- b) Determinar la geología del subsuelo, así como de cavernas, a través de métodos indirectos como es la geofísica eléctrica.*

I.7. RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACION-METODO DE TRABAJO.

Para alcanzar los objetivos antes señalados el proyecto se programó de la siguiente manera:

- a) Primeramente se recopiló información geológica en la CNA del Estado de México, UNAM y SGM. Así también se consiguió la cartografía topográfica y geológica de la zona escala 1:50,000 y se consultaron estudios*

geológicos previos realizados por el Instituto de Geología de la UNAM.

- b) Durante la segunda etapa se realizó un recorrido de campo con el fin de conocer la geología e hidrología de la zona, así como la presencia de túneles antiguos para la explotación de arenas.*
- c) La tercer etapa consistió en realizar 20 sondeos eléctricos verticales con aberturas máximas de $AB/2=100m$.*
- d) La cuarta etapa fue la de realizar 7 tendidos dipolares polo-dipolo*
- e) La quinta y última etapa fue la de procesar y analizar toda la información recopilada, definir la geología del subsuelo y con ello establecer la presencia o no de cavernas.*



Figura 2. Provincias Fisiográficas

I.8. GEOLOGÍA

La historia geológica de la Cuenca de México contempla la generación de diversos procesos tectónicos, que permitieron la formación de grandes océanos y etapas de volcanismo de varios millones de antigüedad. En estudios geológicos de investigación, se han realizado perforaciones de hasta 3000 metros de profundidad, detectándose a través de estas la secuencia estratigráfica de la zona, en donde las rocas calcáreas han sido encontradas a profundidades variables, de

entre 1,300 y más de 2000 metros; los materiales restantes corresponden a conglomerados, calizas lacustres y materiales volcánicos de diferentes composiciones (ver figura 3). Considerando la secuencia litológica definida en estudios preexistentes, se considera que el volcanismo comenzó desde el Mioceno y continuó hasta el Holoceno. Durante dicha actividad se generaron una gran diversidad de productos volcánicos de composición desde ácida hasta básica, siendo los primeros de constitución riolítica⁷ y dacítica⁸ y los últimos, de composición basáltica. De esta forma, las formaciones volcánicas más antiguas son representadas por la Riolita Tilzapotla y las más recientes, por la Fm Chichinautzin.

En la zona de estudio se encuentran flujos de ceniza que contienen bloques de andesita⁹ y dacita, cubiertos o ínter estratificados con lavas y brechas de la misma composición. Esto es visible en los taludes existentes a pie de la carretera que va a Villa Nicolás Romero, así como en la autopista de cuota que se dirige a Toluca. De acuerdo a Vázquez Sánchez (1989), a esta unidad se le conoce como Formación Otomí. Las andesitas y dacitas encontradas en contacto directo con los flujos de ceniza se les conocen como Andesita Jalpan. Por la

⁷ Riolita: Roca volcánica ácida, compuesta esencialmente por cuarzo y feldespato alcalino.

⁸ Dacita: Es una roca ígnea volcánica con alto contenido de hierro. Su composición se encuentra entre las composiciones de la andesita y la de la riolita

⁹ Andesita: Roca volcánica negra o gris, vacuolar, constituida principalmente de plagioclasas y piroxeno.

posición estratigráfica que guarda, se piensa subyace a la Formación Otomí.

I.9. ESTRATIGRAFÍA

Depósitos volcánicos del Plioceno Temprano (Tpv)

Se le denominó con este nombre a las rocas extrusivas que representan sensu stricto, un segundo período magmático de la CVT. Engloba a la Andesita Jalpan, misma que está constituida por coladas de lava de composición andesítica y dacítica interdigitada con depósitos piroclásticos y clásticos del Plioceno.

Las secuencias piroclásticas generalmente no están consolidadas, constituyendo tobas cristalinas, vítreas, líticas y pumíticas, las cuales se encuentran cubiertas por intercalaciones de derrames lávicos, algunos autobrechados, con brechas de flujo. Aflora en la porción norte del área cartografiada.

Formación Otomí (Tpo)

Esta unidad se encuentra caracterizada por estar formada en su mayor parte por depósitos piroclásticos, que se presentan como flujos lobulados que, en comparación con los que se encuentran en otras unidades de la cuenca, son los que más se extienden.

De acuerdo a lo observado, existen varias secuencias volcánicas dentro de esta unidad, en la que predominan los flujos piroclásticos, principalmente los de ceniza. Las lavas de esta unidad se originó en un estratovolcán que se encuentra bastante erosionado, posiblemente por los períodos glaciáricos del Pleistoceno. Su permeabilidad cualitativa se puede considerar como media.

Formación Chichinautzin (Qch y Qchc)

Consiste de una intercalación de material volcánico lávico y piroclástico, de composición primordialmente basáltica y en menor grado, andesítica.

En ella se encuentran interdigitados tanto coladas de lava vesicular y/o masiva, intercaladas con escoria,

lapilli¹⁰ y piroclastos todos ellos de composición basáltica principalmente. Su permeabilidad

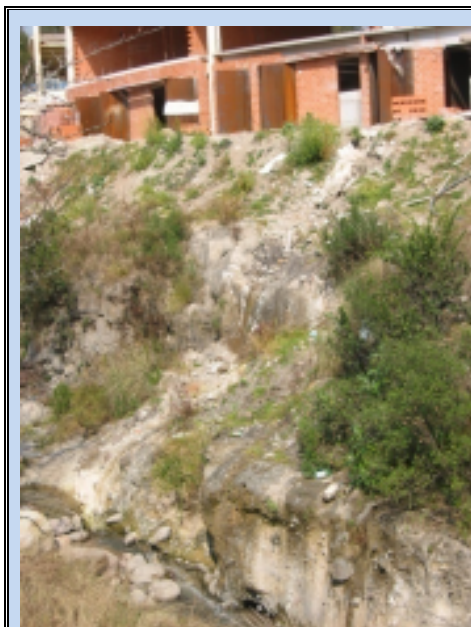


Figura 4. Imagen de la Pared del arroyo, en el cual se identifican fragmentos lávicos mezclados con los piroclastos limo-arenoso

¹⁰ Lapilli: Proyecciones volcánicas de pequeñas dimensiones comprendidas entre las cenizas y las bombas.

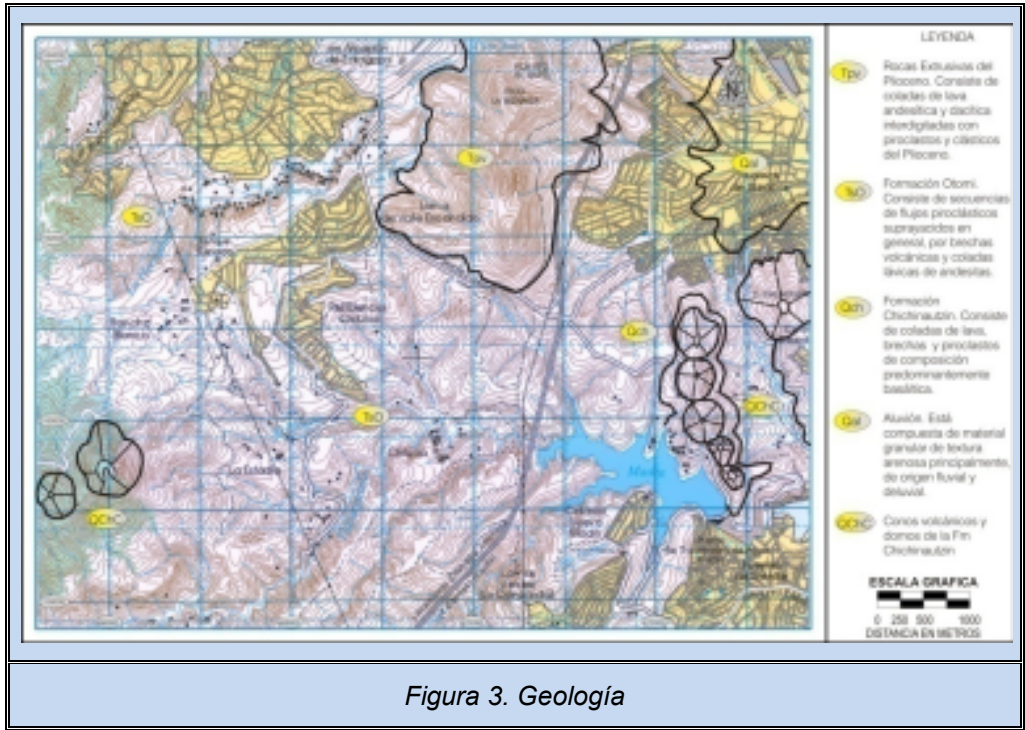


Figura 3. Geología

encuentra en la porción Noreste del área cartografiada.

cualitativa se considera como alta. Se le encuentra aflorando en las porciones altas de los lomeríos y cerros.

Aluvión (Qal)

Consiste de material granular de origen fluvial y deluvial, de textura principalmente arenosa; su compactación es baja y su permeabilidad, de media a alta. Se le

CAPITULO II.

GEOFISICA

II.1. GEOFISICA

II.1.1. Introducción

En general, la finalidad de la prospección geofísica, es la detección de estructuras a través del análisis de sus propiedades físico-químicas como son resistividad, densidad y magnetismo entre muchas más; si bien el número de estas pueden ser muy variadas, los métodos desarrollados para estudiarlas son igualmente variados. De esta manera existen métodos eléctricos, gravimétricos, sísmicos, etc.

En la prospección hidrogeológica el método más comúnmente utilizado ha sido el eléctrico, el cual ha probado sus bondades en la prospección de medios estratificados, especialmente horizontales. Este método ha sido ampliamente desarrollado, de tal manera que a partir de la emisión de corrientes eléctricas pueden evaluarse una o varias características de los materiales terrestres a través de distintas formas: Sondeos eléctricos verticales (SEV), Sondeos con polarización inducida (PI), Sondeos magnetotélúricos (SMT), Sondeos por frecuencia (SF), Sondeos por transitorio electromagnético (TEM), Seudosondeos electromagnéticos aéreos (PSEA), Calicatas electromagnéticas, aéreas y terrestres (CEMA) y Registros geofísicos de pozos (REV).

La pretensión del método eléctrico es la valoración de respuesta de los materiales al paso de una corriente eléctrica, misma que

puede ser manipulada en el tiempo y ritmo de frecuencia de la onda. De esta forma, es posible encontrar arreglos usados dentro del método eléctrico que varían exclusivamente el ritmo de frecuencia (polarización inducida) y otros mas, el tiempo del mismo (Sondeos eléctricos verticales, sondeos Wenner, calicatas y dipolos), cuya diferencia dista en la forma del arreglo de los electrodos y por ende, del objetivo del estudio.

Todos los métodos eléctricos funcionan a raíz de la emisión de una corriente eléctrica a través de dos o más electrodos puntiformes y de su recepción a través de otros dos electrodos adyacentes receptores del potencial inducido. Su arreglo es lo que marca la diferencia entre ellos, utilizándose para la prospección de agua subterránea los sondeos eléctricos verticales y los de polarización inducida, para la determinación de cavernas y contaminación de las calicatas y los arreglos dipolares, para la prospección de tierras físicas el arreglo Wenner o el Lee, para la prospección minera los sondeos de polarización inducida o de bloques etc.

De entre los métodos mencionados se encuentra el sondeo eléctrico vertical, el cual ha probado su certidumbre en la prospección de agua subterránea. De entre estos se encuentran los arreglos denominados Schlumberger, Wenner y Lee, de los cuales el primero, es el que ha sido mayormente utilizado. El método parte del principio de que el agua es por naturaleza conductora de la electricidad, por lo que la humedad contenida

en los materiales alterará la respuesta al paso de una corriente eléctrica. Por supuesto, la conductividad y por ende, la resistencia de los materiales al paso de la corriente no solo dependerá de la humedad existente, sino de la compacidad, cementación, mineralogía, granulometría y fracturamiento que presenten estos. Por ello es de vital importancia la correlación hidrogeológica de los resultados, para con ello definir con una mayor certidumbre a los mismos. De esta manera y de acuerdo con los objetivos del estudio, se empleó un método geoelectrico de resistividad en la modalidad de sondeo eléctrico vertical (S.E.V.), utilizando un dispositivo tetraelectrónico tipo "Schlumberger". El número de sondeos se limitó a veinte, con aberturas interelectrónicas máximas de $AB/2 = 100$ m; su distribución espacial se presenta en la figura 5.

Métodos geofísicos

Se tratan ahora métodos geofísicos de exploración de suelo, desarrollados principalmente con el propósito de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del subsuelo o los contornos de la roca basal que subyace a depósitos sedimentarios. Los métodos se han aplicado sobre todo a cuestiones de Geología y Minería y en mucha menor escala a Mecánica de Suelos, para realizar investigaciones preliminares de lugares para localizar presas de tierra o para determinar, como se indicó, perfiles de roca basal. Los métodos son rápidos y expeditos y permiten tratar grandes

áreas, pero nunca proporcionan suficiente información para fundar criterios definitivos de proyecto, en lo que a Mecánica de Suelos se refiere. En el caso de estudios para fines de cimentación no se puede considerar que los métodos geofísicos sean adecuados, pues no rinden una información de detalle comparable con la que puede adquirirse de un buen programa de exploración convencional.

A continuación se describen brevemente los principales métodos que se han desarrollado hasta hoy; de ellos los dos primeros han resultado, con mucho los más importantes.

a) Método sísmico

Este procedimiento se funda en la diferente velocidad de propagación de las ondas vibratorias de tipo sísmico a traves de diferentes medios materiales. Las mediciones realizadas sobre diversos medios permiten establecer que esa velocidad de propagación varía entre 150 y 2,500 m/ser. en suelos, correspondiendo los valores mayores a mantos de grava muy compactos y las menores a arenas sueltas; los suelos arcillosos tiene valores medios, mayores para las arcillas duras y menores para las suaves. En roca sana los valores fluctúan entre 2,000 y 8,000 m/ser. Como término de comparación se menciona el hecho de que en el agua la velocidad de propagación de este tipo de onda es del orden de 1,400 m/ser. Esencialmente el método consiste en provocar una explosión en un punto

determinado del área a explorar usando una pequeña carga de explosivo, usualmente nitroamonio. Por la zona a explorar se sitúan registradores de ondas (geófonos), separados entre sí de 15 a 30 m. la función de los geófonos es captar la vibración, que se transmite amplificada a un oscilógrafo central que marca varias líneas, una para cada geófono. Suponiendo una masa de suelo homogénea que yazca sobre la roca basal, unas ondas llegan a los geófonos viajando a través del suelo a una velocidad v_1 ; otras ondas llegan después de cruzar oblicuamente dicho suelo. Hay un ángulo crítico de incidencia respecto a la frontera con la roca basal que hace que las ondas ni se reflejen un se refracten hacia adentro de la roca basal que hace que las ondas ni se reflejen ni se refracten hacia adentro de la roca, sino que las hace viajar paralelamente a dicha frontera, dentro de la roca, con una velocidad v_2 , hasta ser recogidas por los geófonos, después de sufrir nuevas refracciones, para transmitir las al oscilógrafo. El tiempo de recorrido de una onda refractada está determinado por su ángulo crítico, que depende de la naturaleza del suelo y de la roca. Un esquema del dispositivo aparece en la figura 5.

Puede construirse una grafica que relacione la distancia del geófono al punto donde se origino la perturbación, con el tiempo que tardo en registrarse la onda en ese geófono.

Como las ondas directas y refractadas comienzan a llegar al geófono en tiempos diferentes bien determinados, pueden calcularse de la grafica anterior los valores típicos de v_1 y v_2 . En

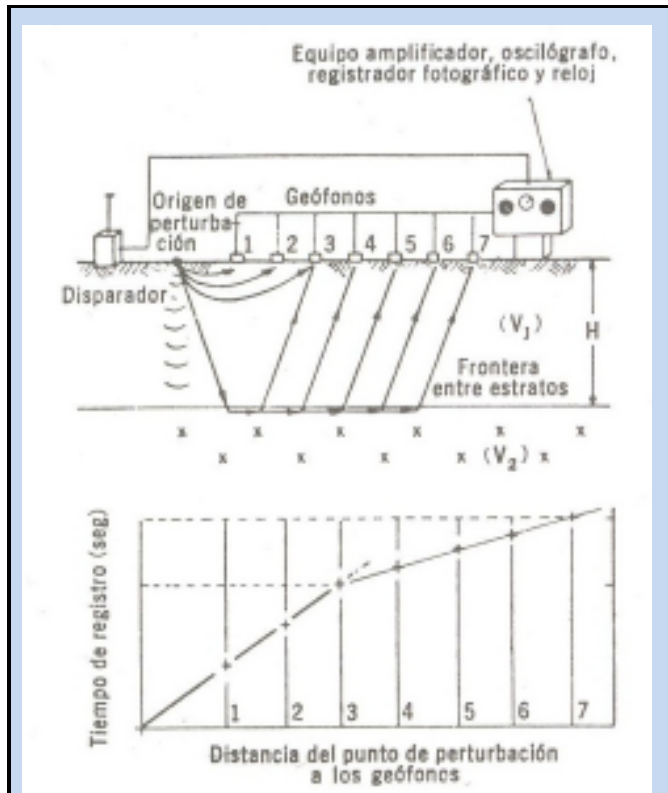


Figura 5. Esquema del depósito para exploración geofísica por el método sísmico

los geófonos próximos al punto de la explosión las ondas directas llegan antes; en los alejados llegan primero las refractadas. Hay un punto frontera (el 3 de la figura 5), en la cual los dos tipos de onda llegan a la vez.

Dibujando los instantes en que el geófono

recibe la primera excitación en función del alejamiento del geófono, se obtienen dos rectas.

Hasta el punto 3 (en el caso de la Fig. 5), el primer impulso es de onda directa, en la que el tiempo de excitación es

proporcional a la distancia del geófono: de 3 en adelante, la primera excitación es de onda refractada en la que el tiempo es una cierta función, $a + bx$, de la distancia, representando "a" el tiempo constante en que se recorren los dos tramos inclinados hasta y desde la roca basal. Se obtienen así dos rectas que, evidentemente, han de cruzarse en la abscisa del punto 3. Si x_1 es la abscisa de tal punto, puede demostrarse en la Fig. 5 que:

$$H = \frac{x_1}{x_2} \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}} \quad (A - 2)$$

Donde H es el espesor del estrato de suelo homogéneo y v_1 y v_2 pueden determinarse de las pendientes de las 2 rectas de la Fig. 5.

Los casos prácticos no son tan sencillos como el arriba discutido y frecuentemente se hace necesaria una gran experiencia por parte del técnico que ha de interpretar los resultados obtenidos y suele ser necesaria una exploración convencional del suelo para una interpretación más correcta de dichos resultados.

b) Método de resistividad eléctrica

Este método se basa en el hecho de que los suelos, dependiendo de su naturaleza, presentan una mayor o menor resistividad eléctrica cuando una corriente es inducida a través

de ella. Su principal aplicación esta en el campo de la minería, pero en Mecánica de Suelos se ha aplicado para determinar la presencia de estratos de roca en el subsuelo.

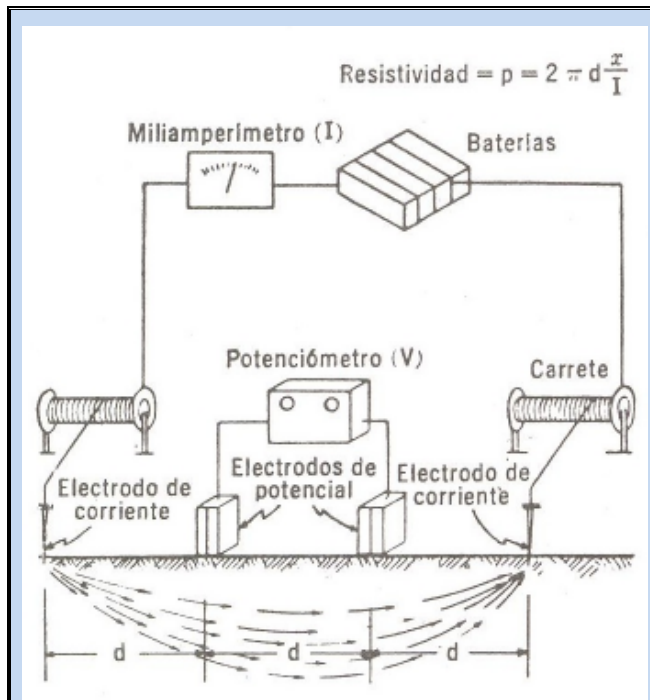


Figura 6. Esquema del dispositivo para exploración geofísica por el método de resistividad eléctrica.

La resistividad eléctrica de una zona de suelo puede medirse colocando cuatro electrodos de una zona de suelo puede medirse colocando cuatro electrodos igualmente espaciados en la superficie y alineados; los dos exteriores, conectados en

serie a una batería son los electrodos de corriente (medida por un miliamperímetro), en tanto que los interiores se denominan de potencial y están conectados a un potenciómetro que mide la diferencia de potencial de la corriente circulante (Fig. 6).

Los electrodos de corriente son simples varillas metálicas, con punta, con punta afilada, mientras que los de potencial son recipientes porosos llenos de una solución de sulfato de cobre, que al filtrarse al suelo, garantiza un buen contacto eléctrico.

La resistividad se puede calcular a partir de las lecturas del miliamperímetro I , del potenciómetro V y de la separación entre los electrodos, d , con la formula:

$$\rho = 2\pi d \frac{V}{I} \quad (A - 3)$$

El método sirve, en primer lugar, para medir las resistividades a diferentes profundidades, en su mismo lugar y, en segundo, para medir la resistividad a una misma profundidad, a lo largo de un perfil. Lo primero se logra aumentando la distancia d , entre electrodos, con lo que se logra que la corriente penetre a mayor profundidad. Lo segundo se logra conservando d constante y desplazando todo el equipo sobre la línea a explorar.

Las mayores resistividades corresponden a rocas duras, siguiendo rocas suaves, gravas compactas, etc., y teniendo los menores valores los suelos suaves saturados.

c) Métodos magnéticos y gravimétricos

El trabajo de campo correspondiente a estos métodos de exploración es similar, distinguiéndose en el aparato usado. En el método magnético se usa un magnetómetro, que mide la

componente vertical del campo magnético terrestre en la zona considerada, en varias estaciones próximas entre sí. En los métodos gravimétricos se mide la aceleración del campo gravitacional en diversos puntos de la zona a explorar. Valores de dicha aceleración ligeramente más altos que el normal de la zona indicaran la presencia de masas ligeras o cavernas y oquedades.

En general estos métodos casi no han sido usados con fines ingenieriles, dentro del campo de la Mecánica de Suelos, debido a lo errático de su información y a la difícil interpretación de sus resultados.

II.1.2. Fundamentos básicos de los métodos

Sondeos Eléctricos Verticales

Se conoce como sondeo eléctrico vertical (SEV) a una serie de determinaciones de resistividad aparente, efectuadas con el mismo tipo de dispositivo y separación creciente entre los electrodos de emisión y recepción de corriente. En las configuraciones de adquisición, dos electrodos son usados para energizar el suelo y dos electrodos para medir la diferencia de potencial. La correlación entre la corriente inyectada, la diferencia de potencial medida y un coeficiente geométrico relativo a la disposición de los 4 electrodos determina el valor de la resistividad aparente en el sitio. Este valor de resistividad

aparente corresponde a una cierta profundidad, función de la separación entre los electrodos (y configuración usada) y de las secuencias electro-estratigráficas investigadas. Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada SEV se representan por medio de una curva bi-logarítmica, en función de las distancias crecientes entre electrodos. La finalidad del SEV es averiguar la distribución vertical de resistividades bajo el punto sondeado. Las configuraciones geométricas posibles para la ejecución de los SEV son generalmente tres, Schlumberger, Wenner y Dipolo Dipolo.

En la aplicación del SEV el subsuelo se supone formado por capas horizontales, en entornos donde existe una tridimensionalidad de las estructura el método carece de aplicabilidad. Desde el punto de vista de la profundidad de investigación ésta se establece comúnmente del orden de 0.1 a 0.3 de la apertura AB dependiendo de las características eléctricas que presente el entorno investigado. En la figura 7 puede observarse un ejemplo de una curva típica para un SEV a lo largo de una zona en los Valles del Tuy (Venezuela). Se observa la pseudo-sección generada y la sección interpretada. Se distingue el sustrato de color rojo, una capa de baja resistividad (arcillosa), de color negro, la discontinuidad y las capas potencialmente permeables (de color anaranjado), a ambos lados de la misma.

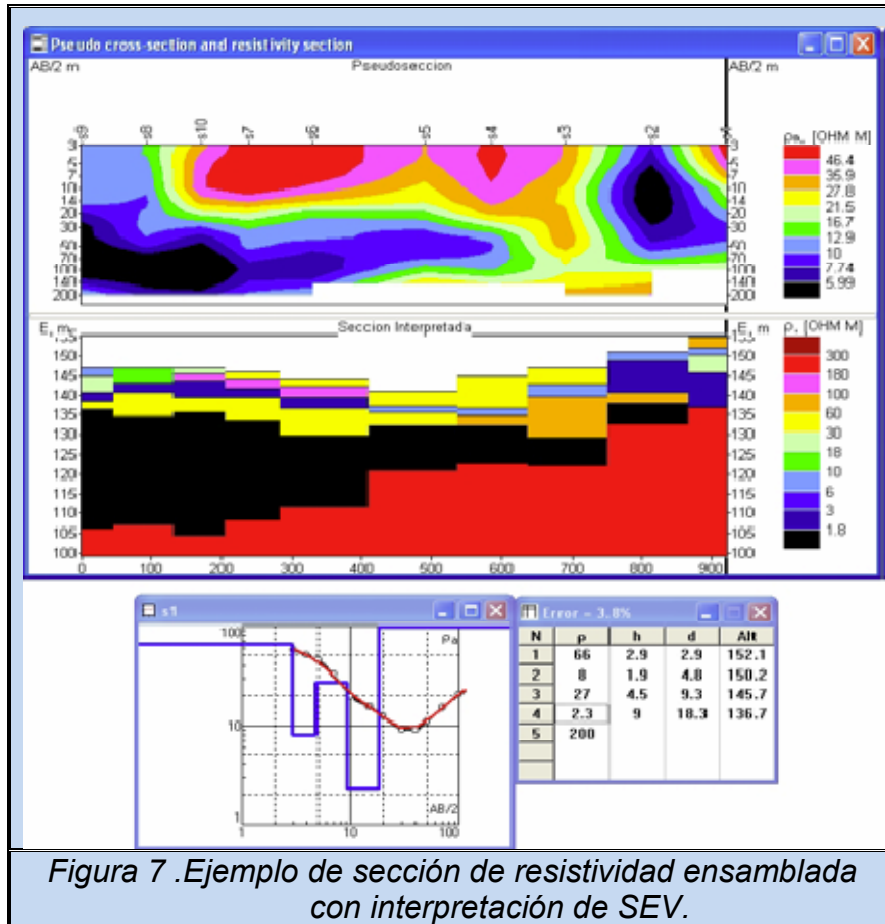


Figura 7 .Ejemplo de sección de resistividad ensamblada con interpretación de SEV.

Modelo Conceptual del SEV

El modelo conceptual del S.E.V. se fundamenta en la distribución del potencial eléctrico en un medio homogéneo, cuando por medio de un generador y dos electrodos puntiformes anclados a la superficie del terreno, se induce un

campo eléctrico en el subsuelo, cuyas líneas equipotenciales se van profundizando a medida que se separan los electrodos de corriente y se mide la resistividad en el terreno (Ver figura 8).

Consideremos el caso general de cuatro electrodos colocados arbitrariamente sobre la superficie plana de un semiespacio eléctricamente homogéneo e isótropo. Los electrodos de corriente se designan como A y B, los de potencial como M y N y ρ se designa a la resistividad del medio.

El potencial "V" a la distancia "r" de un electrodo único y puntual colocado en la superficie de un semiespacio uniforme es:

$$V = I/2 \times 3.1416r \text{ ----- (1)}$$

Como los potenciales producidos por dos fuentes pueden sumarse algebraicamente, la diferencia de potencial que se observa entre M y N será:

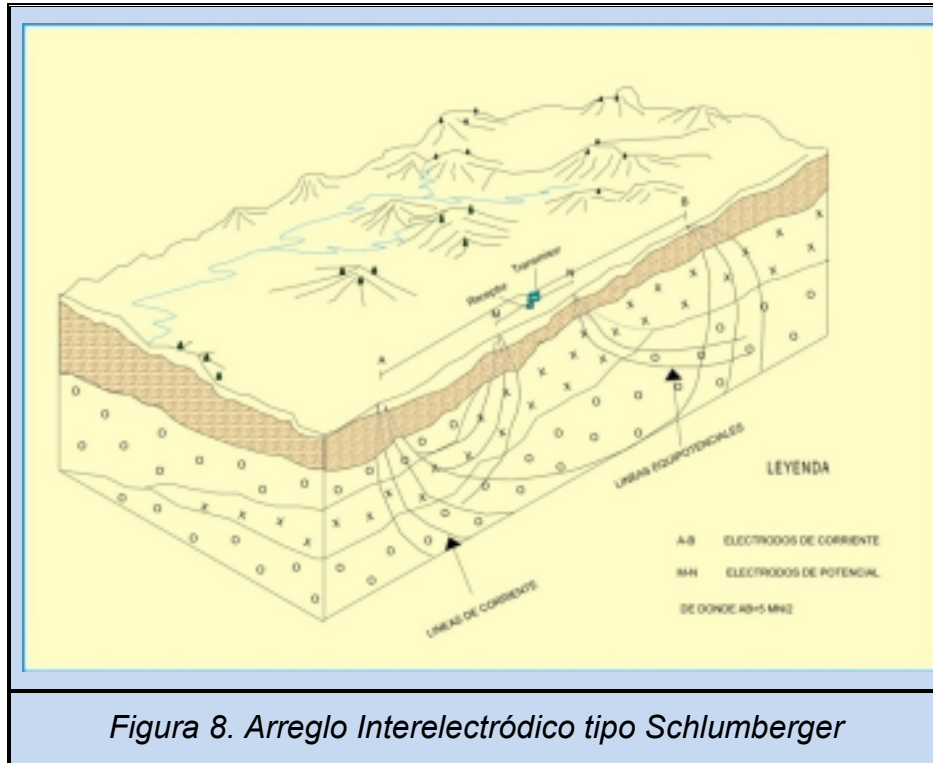
$$V = IK/2 \times 3.1416 \text{ ----- (2)}$$

Donde $K = (1/AM - 1/BM - 1/AN + 1/BN)$ al cual se le conoce como factor geométrico, dependiente del arreglo electrodico utilizado.

Despejando de la ecuación (2) se obtiene:

$$a = K (V/I) \text{ ----- (3)}$$

donde: $K = 2 \times 3.1416 / K'$



Por otra parte, si se utiliza el mismo dispositivo electrónico para efectuar mediciones sobre un medio no homogéneo, la diferencia de potencial será diferente a la medida en un medio homogéneo. Sin embargo, podemos seguir utilizando la ecuación (3) y obtener con ella un valor "ficticio" de ρ al que se denominará resistividad aparente. Este es el que se obtiene en campo y se grafica en papel Bilogarítmico en función del espaciamiento electrónico de corriente ($AB/2$), obteniendo con ello la curva de resistividad aparente de campo del S.E.V. (Ver gráficas en el anexo).

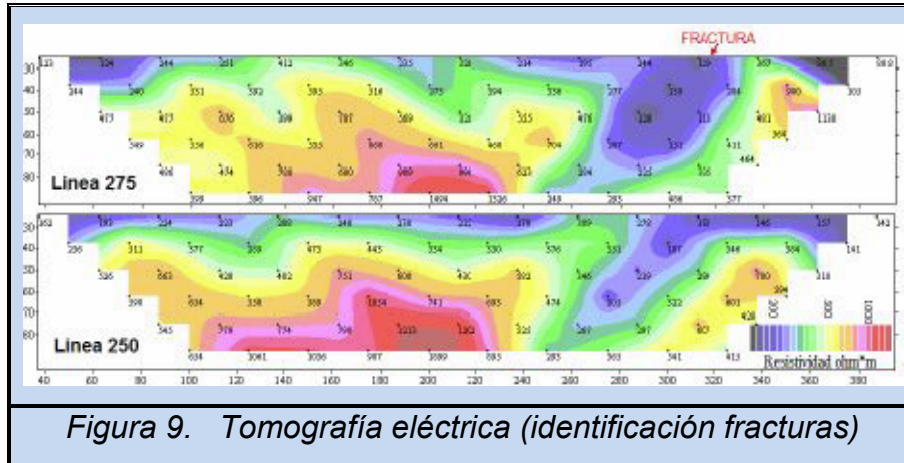


Figura 9. Tomografía eléctrica (identificación fracturas)

Tendidos dipolares Polo- Dipolo

Innovaciones instrumentales y de procesamiento permiten ejecutar investigaciones eléctricas con configuraciones multi – electrodos tipo Wenner, Schlumberger o Dipolo – Dipolo (Polo – Dipolo) a lo largo de un perfil permitiendo un estudio de detalle de las variaciones verticales y horizontales de las propiedades eléctricas del subsuelo.

Prácticamente, usando instrumentación multicanal, interruptores - “multiplexer” automatizados y cables multipolares se puede adquirir en breve tiempo un tendido electródico de amplia dimensión.

El ordenador y la electrónica del sistema de adquisición permiten controlar la secuencia y la geometría del arreglo. El uso de esta configuración tiene como finalidad estudiar en

particular las variaciones laterales de resistividad del subsuelo. Se trata de un método de investigación muy apropiado (por su alta resolución lateral) para detectar cambios geológicos verticales o inclinados, relativamente superficiales (< 50-150 m), tales como diaclasas o fracturas.

La profundidad de investigación depende del número de electrodos (canales) y su espaciamiento. Considerar que aumentar el número de electrodos / canales implica también usar un transmisor de alta potencia para garantizar una relación señal/ruido alta y una logística más complicada. Como regla general la profundidad máx. de investigación es $0.2 \cdot L$ (largo del tendido).

En investigaciones hidrológicas (y problemas asociados) el método es particularmente indicado para caracterización de acuíferos secundarios, penetración de cuña salobre y estudios de contaminación. A pesar de que pueda ser usado para la caracterización de secuencias aluviales a profundidades menores de 100-150 m máximo, la aplicación de este método tendrá sentido sólo si en el modelo geológico se evidencia que las secuencias permeables del área sean muy variables lateralmente, asociadas a lentejones y se requiera una alta definición lateral. En secuencias aluviales relativamente regulares en extensión y para estudios regionales el método no es el óptimo.

Modelo Conceptual.

El modelo conceptual del método eléctrico y por tanto del dipolar, se fundamenta en la distribución del potencial eléctrico en un medio homogéneo, cuando por medio de un generador y dos electrodos puntiformes anclados a la superficie del terreno, se induce un campo eléctrico en el subsuelo, cuyas líneas equipotenciales se van profundizando a medida que se separan los electrodos de corriente y se mide la resistividad en el terreno.

Ahora bien, el factor geométrico denominado K que para el sondeo eléctrico es igual:

$$a = K(V/I) \text{ -----(3),}$$

donde $K = 2 \times 3.1416 / K'$

*En los arreglos dipolares, esta constante toma varias formas, dependiendo de la disposición geométrica de los dipolos y la distancia entre ellos; puesto que el más común en México es el dispositivo lineal o axial, en el que los cuatro electrodos están sobre la misma recta, la constante en este caso está dada por $K = (\pi R^3) / AB * MN$.*

En el arreglo dipolar doble, AB es igual a MN (a), por lo que se tiene $K = 2\pi(R^3/a^2)$, de donde R es la distancia entre dipolos. Para el caso del arreglo dipolar polo-dipolo (ver figura 5), los electrodos que en general se mantienen juntos son los de

potencial (MN) y en los de corriente uno de ellos se ubica en el infinito.

Por otra parte, si se utiliza el mismo dispositivo electródico para efectuar mediciones sobre un medio no homogéneo, la diferencia de potencial será diferente a la medida en un medio homogéneo. Sin embargo, podemos seguir utilizando la ecuación (3) y obtener con ella un valor "ficticio" de Rho a al que se denominará resistividad aparente. Este es el que se obtiene en campo y se grafica en papel Bilogarítmico en función del espaciamiento electródico de corriente ($AB/2$), obteniendo con ello la curva de resistividad aparente de campo del S.E.V. (Ver gráficas en el anexo).

II.1.3. Características del equipo empleado

El equipo utilizado en la prospección geofísica fue de dos tipos; para los sondeos eléctricos fue el siguiente:

- a) Transmisor-Receptor Scintrex modelo SARIS, con una potencia de salida de hasta 500 watts de potencia y corriente de salida máxima de 1 ampere*
- b) Caja interelectródica para sondeos tipo Schlumberger.*

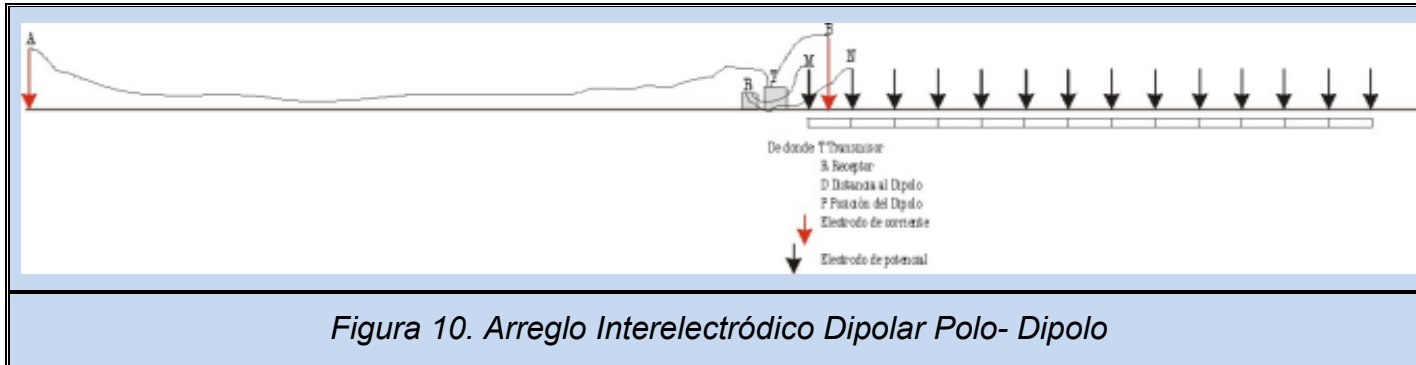


Figura 10. Arreglo Interelectrónico Dipolar Polo- Dipolo

a) Como equipo complementario se utilizaron electrodos de cobre para AB y electrodos impolarizables para MN; cable de cobre acerado necesario para las conexiones, carretes móviles y herramienta accesoria.

En cuanto a los tendidos dipolares, aun cuando era posible realizarlos con el equipo Scintrex modelo SARIS, se prefirió usar un equipo hecho ex profeso para este tipo de arreglos, mismo que es alimentado por un motogenerador de 8 H.P. (ver fotos).

II.1.4.

Metodología

El levantamiento de campo se inició con el registro de datos para cada S.E.V. Posteriormente, se obtuvieron los valores de resistividad aparente en cada estación y se graficaron los



Figura 11. Vista cercana del equipo Transmisor-receptor marca Scintrex modelo SARIS utilizado en la prospección geoeléctrica; a un lado, de color gris, la caja interelectrónica y de color negro, el GPS marca Garmin modelo 12 xl

valores de ρ_a en papel bilogarítmico.

En gabinete se procedió al procesamiento de la información de acuerdo con lo siguiente:

- a) Verificación de los valores de resistividad aparente para cada S.E.V.*
- b) Análisis gráfico de las curvas de campo con objeto de suavizarlas y hacerlas continuas.*

c) Interpretación cuantitativa de cada S.E.V. por medios automáticos (WinSev 6.0).



Figura 12. Vista cercana del equipo Transmisor-receptor para Tendidos Dipolares

II.1.5. Localización de los SEV's y Tendidos Dipolares

Los SEV's se ubicaron tratando de distribuirlos en todo el terreno plano y semiplano del Instituto; los tendidos, exclusivamente en la zona en donde se habrán de construir las instalaciones del colegio, de acuerdo al plano arquitectónico que se nos proporcionó (ver figuras 13 y 15).



Figura 13. Ubicación de los SEV's realizados, así como de las secciones de isorresistividad real. La Imagen sobrepuesta corresponde a la zona de construcción del colegio, misma que es donde se realizaron los tendidos dipolares

II.1.6 Interpretación de datos geofísicos

II.1.6.1 Interpretación cualitativa



Figura 14. Imagen de una pared en la porción sur del Colegio, zona en donde se estaba construyendo un emparrillado. En la porción superior se aprecian gravas redondeadas en matriz arenosa fina, subyacidas por limos y arenas finas y mas abajo, gravas redondeadas

Sondeos Eléctricos Verticales

Se parte de un modelo geológico superficial en el cual coexisten materiales volcánicos piroclásticos de textura limo-arenosa con

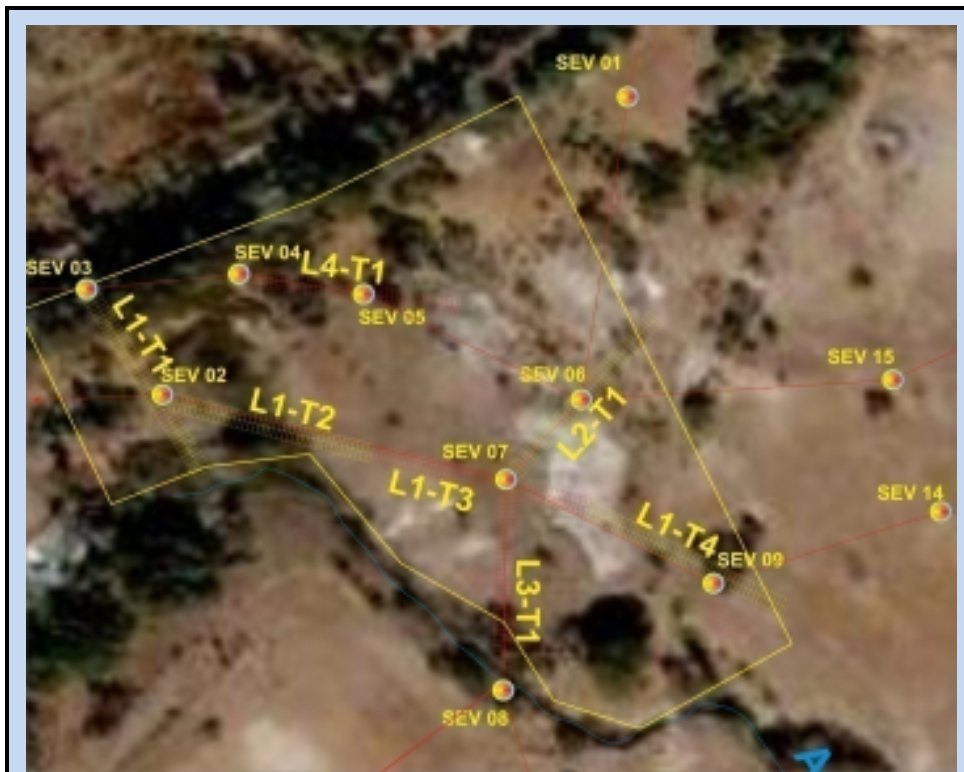


Figura 15. Ubicación del polígono en donde se realizaron los Tendidos dipolares (L-T)

presencia de fragmentos lávicos de composición **andesítica** y **dacítica**, angulosos en general, entremezclados con los **piroclastos**.

Dichos fragmentos varían en tamaño desde los pocos centímetros hasta los 30 cm. aproximadamente. Además, es notorio que en algunas zonas los piroclastos coexisten con

intercalaciones de paleo cauces (fragmentos subredondeados a redondeados de hasta 10 cm.).

En general, cuando se encuentran cavernas estas llegan a presentar espacios rellenos solamente por aire, lo que generan anomalías resistivas de mayor cuantía al medio que le circunda. Sin embargo, las cavernas algunas veces pueden estar parcialmente rellenas por materiales intemperizados, basura u otros elementos, lo que genera cambios de resistividad no muy contrastantes al medio que les circunda.

De los resultados obtenidos con los SEV's (ver secciones de isorresistividad real en el ANEXO), en los SEV's 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se detectaron incrementos resistivos, mismos que no son necesariamente relacionables con cavernas. Es mas, muy probablemente estos aumentos deban relacionarse con incrementos en la cantidad de gravas. De esta forma, solamente los resultados de los SEV's 6 y 9, podrían relacionarse en realidad, con presencia de cavidades. La correlación geológico- geofísica, conjuntamente con la topografía del lugar, generan fuertes dudas sobre la existencia de cavernas, de tal forma que sería mayormente probable que dichos aumentos resistivos se deban a un incremento drástico de gravas mezcladas con los piroclastos. Una perforación en diámetro reducido podría asegurar la hipótesis o desmentirla; puesto que el inicio de la zona resistiva comienza a los 5 metros aproximadamente en el SEV 09 y a los 19 metros mas menos

en el SEV 06, podría llevarse a cabo dicho sondeo exploratorio en cualquiera de los dos sitios, pero que sea la zona entre dichos sondeos eléctricos realizados. Para una buena ubicación en campo, se recomendaría utilizar un GPS que este configurado en datum WGS 84 para su localización exacta.

En las secciones de Isorresistividad real que se incluyen en el anexo, las tonalidades van progresando de un color amarillo a rojo, en la misma forma que las resistividades van aumentando. De esta forma, los valores mas altos se presentan en rojo, correspondientes a las anomalías que pueden correlacionarse con cavernas; los valores más bajos en amarillo.

Tendidos Dipolares Polo- Dipolo

Al igual que en los sondeos eléctricos, las secciones de isorresistividad muestran por tonalidades, los cambios en la resistividad del medio. Para el caso se graficaron secciones de isorresistividad aparente y en estos (ver anexo) se muestran las variaciones de resistividad a la alza, a medida que las tonalidades se vuelven más rojizas, de esta forma los colores amarillos corresponden a los valores bajos y los mas oscuros, tendientes a rojos, los más altos.

Puesto que ya se habían realizado 20 sondeos eléctricos distribuidos en todo el predio, se concluyó que para mejorar la calidad de la información se incluirían 7 tendidos dipolares en la zona en donde se construirán las instalaciones del colegio.

Los resultados obtenidos indicaron distintas anomalías relacionadas con incrementos en las resistividades; en la Línea 1 tendidos 1 y 4, resultaron notorios dos incrementos de resistividad a profundidades que pueden estar por los 12 metros.

En la Línea 2, al principio y final de esta también se detectaron incrementos en la resistividad; en la Línea 3, entre los 0 y 15 metros se presenta otra anomalía aun mas grande que las anteriores y en la línea 4, a los 4 y 22 metros de iniciados los tendidos, se detectaron dos incrementos resistivos adicionales.

II.2. RECOMENDACIONES

- 1. Se parte de un modelo geológico superficial en el cual coexisten materiales volcánicos piroclásticos de textura limo-arenosa con presencia de fragmentos lávicos de composición andesítica y dacítica, angulosos en general, entremezclados con los piroclastos. Dichos fragmentos varían en tamaño desde los pocos centímetros hasta los 30 cm. aproximadamente. Además, es notorio que en algunas zonas los piroclastos coexisten con intercalaciones de paleocauces (fragmentos subredondeados a redondeados de hasta 10 cm.)*
- 2. En general, cuando se encuentran cavernas estas llegan a presentar espacios rellenos solamente por aire, lo que*

genera anomalías resistivas de mayor cuantía al medio que le circunda. Sin embargo, las cavernas algunas veces pueden estar parcialmente rellenas por materiales intemperizados, basura u otros elementos, lo que genera cambios de resistividad poco contrastantes con el medio que les circunda. De esta forma, dependiendo del relleno de la caverna, esta representará una anomalía evidente al medio circundante. La mayor o menor cantidad de fragmentos intercalados en un medio predominantemente piroclástico arenoso de igual forma genera anomalías, por lo que su espesor y cantidad de fragmentos, es lo que determina su diferenciación.

- 3. De los sondeos eléctricos y tendidos realizados, se detectaron diversas zonas que evidenciaron incrementos de resistividad y que pueden relacionarse con incrementos en la cantidad de gravas y fragmentos lávicos como a cavernas. La figura siguiente los muestra en zonas color rojo.*



Figura 16. Sondeos Eléctricos y Tendidos Realizados.

CAPITULO III
MECÁNICA DE SUELOS

III.1 INVESTIGACION DEL SUBSUELO.

A) EXPLORACION DEL SUBSUELO.

Como trabajos de exploración en campo, se programó la realización de dos pozos a cielo abierto y dos sondeos profundos del tipo de penetración estándar a una profundidad de 10.00 m, con la distribución mostrada en la Fig. No. 1.

Por otro lado se programó también la exploración profunda del tipo indirecto a base de una serie de 16 calicatas geofísicas. En la zona frontal del predio se determinó la estratigrafía mediante dos sondeos eléctricos verticales y la exploración de dos cortes que se estaban realizando dentro del predio cuando se realizaron los trabajos de campo.

Durante el proceso de exploración también se utilizó el cono eléctrico manual para determinar la resistencia de los depósitos superficiales.

En las Figs. No. 3 y 4, se presentan los perfiles obtenidos en los sondeos profundos.

En las Figs. No. 5 y 6, se presentan los perfiles obtenidos en los pozos a cielo abierto y se reporta en estos la resistencia determinada con el cono dinámico manual.

En las Figs. No. 7 y 8, se presentan los perfiles obtenidos en los cortes explorados.

B). ENSAYES DE LABORATORIO.

Los ensayos de laboratorio que se indican a continuación, se efectuaron en las muestras obtenidas en los sondeos realizados, para determinar el valor y variación de las propiedades índice y de resistencia de los diferentes depósitos detectados, para poderlas correlacionar y de esa manera efectuar los análisis correspondientes. Las pruebas efectuadas contemplan los siguientes conceptos:

- 1. Identificación y clasificación de los diferentes depósitos detectados.*
- 2. Determinación de las siguientes propiedades índice: contenido de agua, análisis granulométrico, límites de Atterberg y densidad de sólidos. Los resultados obtenidos, se encuentran en las Figs. No. 3 a 6.*
- 3. Ensaye de compresión simple, para determinar la resistencia a la compresión axial. El resultado se muestra en la Fig. No. 11.*
- 4. Ensaye de compresión triaxial, para determinar la cohesión y el ángulo de fricción interna, el resultado se muestra en la Fig. No. 12.*

Por otro lado se realizó una serie de 16 calicatas con la intención de verificar la presencia de anomalías, como son las cavernas subterráneas, y dos sondeos eléctricos verticales en la parte frontal del predio con la intención de determinar la

estratigrafía general de la zona donde se ubicaría las edificaciones de educación preescolar.

La serie de 16 calicatas eléctricas verticales y los dos sondeos eléctricos verticales, se realizaron mediante el método de prospección geoeléctrica correspondiente a un arreglo tetrapolar tipo Wenner simétrico, con espaciamiento máximo entre electrodos de corriente $AB/2 = 15m$.

La profundidad máxima explorada con éste método varía de 10.00 a 15.00 m.

El equipo utilizado para el desarrollo de los sondeos eléctricos verticales consistió en una consola la cual consta de un amperímetro y un voltímetro, así como un procesador para tomar las lecturas directas, una fuente de energía, cuatro carretes de cable monopolar, dos de corriente y dos de potencial; cuatro electrodos de acero inoxidable, una brújula y demás equipo de apoyo. El equipo utilizado es marca Metrel Modelo MT3456.

Los resultados obtenidos se reportan en las Figs. No.9 y 10.

III.2 ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO.

La zona en estudio se encuentra localizada geológicamente, en la Zona I, también denominada como Zona de Lomas, de acuerdo a la Regionalización del Valle de México.

El predio en estudio se localiza en la periferia del Cerro de la Cruces.

Superficialmente se localizan depósitos a base de formaciones aluviales, subsecuentemente se localizan depósitos piroclásticos, los cuales forman depósitos tobaceos de distintas compacidades.

A continuación, se describen las condiciones estratigráficas detectadas en los sondeos:

PCA-1

De 0.00 a 0.80 m, se localizó un antiguo material de relleno a base de un limo arcilloso poco arenoso, color café con tono oscuro, en estado semicompacto, con algunas raicillas y con algunos tepalcates.

De 0.80 a 1.25 m, se localizó una arcilla limo arenosa, color café con tono gris claro, en estado muy compacto.

De 1.25 a 1.60 m, se encontró un limo arenoso, color café con tono gris claro, en estado muy compacto con una resistencia en el cono dinámico de 20/10 cm.

PCA-2

De 0.00 a 0.45 m, se localizó una arcilla limo arenosa, color café con tono gris claro, en estado muy compacto.

De 0.45 a 0.75m, se encontró un limo muy arenoso, color café con tono gris claro, en estado muy compacto con gravas y gravillas tipo boleó, con una resistencia en el cono dinámico de 20/10 cm correspondiente a un antiguo material de arrastre.

De 0.75 a 0.95 m, se encontró un limo arenoso, color café con tono gris claro, en estado muy compacto con una resistencia con el cono dinámico de 20/10 cm.

SPE-1

De 0.00 a 1.75 m, se determinó una arcilla limosa arenosa, color café con tono gris verdoso, en estado semirrígido, con algunas gravillas y algunas raicillas.

De 1.75 a 4.80 m, se localizó una arena fina, color café con tono gris verdoso, en estado compacto, con gravillas.

De 4.80 a 6.00 m, se encontró una arena fina color café con tono gris verdoso con gravillas, con mica, en estado compacto.

De 6.00 a 8.00 m, se determinó una arena fina color café con tono gris verdoso con gravillas, con mica, en estado compacto.

De 8.00 a 9.00 m, se localizó una arena fina color café con tono gris verdoso con gravas y gravillas de tipo pumítico, en estado compacto.

SPE-2

De 0.00 a 0.60 m, se determinó un limo arenoso, color café con tono claro verdoso, con raicillas, en estado compacto.

De 0.60 a 3.00 m, se localizó una arcilla limosa poco arenosa, color café con tono oscuro y algunas raicillas, en estado semirrígido.

De 3.00 a 3.60 m, se determinó un limo arcilloso arenoso, color café con tono grisáceo, en estado semicompacto.

De 3.60 a 7.80 m, se encontró una arcilla limosa arenosa, color café con tono grisáceo, con mica, en estado semirrígido.

De 7.80 a 9.00 m, se localizó un limo arenoso color café con tono gris verdoso claro, en estado compacto.

De 9.00 a 10.20 m, se encontró una arena fina color café con tono verdoso, en estado compacto, con gravas y gravillas de tipo pumítico.

No se detectó el nivel de aguas superficiales a la profundidad máxima de exploración.

En las calicatas realizadas se obtuvieron los siguientes valores:

CALICATA	RESISTIVIDAD Ohm-m
1	34
2	36
3	51
4	58
5	68
6	39

7	62
8	53
9	71
10	53
11	74
12	50
13	26
14	42
15	34
16	21

Los valores indicados son muy discontinuos, poco característicos de la zona, esto muy probablemente se debe a una alta erraticidad estratigráfica, cosa que se observa muy claramente en la estratigrafía determinada entre los dos sondeos profundos, o bien a la existencia de zonas con una saturación importante. Los valores mas altos obtenidos en las calicatas 9 y 11 y que corresponden a valores de 71Ohm-m y 74 Ohm-m se detectaron de forma aislada. En este caso se recomienda la ejecución de sondeos eléctricos verticales adicionales ó de penetración estándar para confirmar la presencia de algún cambio estratigráfico muy drástico en la zona.

Los valores determinados en la zona cercana al Kinder no presentaron valores extremos que pudieran indicar la

presencia de cavidades hasta los primeros 10.0 m de profundidad explorados.

En la Fig. No. 9, se muestran gráficamente los valores determinados en las calicatas. Con respecto a la ejecución de los dos sondeos eléctricos verticales, se determinó la siguiente sección geoelectrica:

SECCIÓN GEOELÉCTRICA N° 1.

La SECCIÓN GEOELÉCTRICA N° 1, se compone de dos sondeos eléctricos directos, los cuales reportaron la siguiente estratigrafía:

La sección geoelectrica se conforma de tres estratos distintos, el más superficial consiste en un material a base de un antiguo relleno con arcilla y limo, con valores eléctricos de 27 a 38 Ohm-m, con un espesor del orden de 1 a 2.00m. A continuación, y siendo el estrato de mayor espesor, se determinó un limo arenoso, con gravas y gravillas, con valores eléctricos de 21 a 28 Ohm-m, con espesores de 3 a 4.00m. Por último en el SEV-2, se determinó una zona muy importante de material saturado, el cual coincidió con la presencia de un tubo de drenaje, lo cual nos indica que se localizan los estratos encontrados bajo el tubo en estado muy saturado. Asimismo encontramos bajo este sondeo, a una profundidad del orden de 9.00m, una zona de probable filtración, la cual puede ser consecuencia de las zonas

altamente saturadas encontradas aguas abajo, y que se ubican cerca de la zona de la cancha de futbol y en la zona del arroyo.

III.3 ANALISIS DE LA CIMENTACION.

De acuerdo a las condiciones estratigráficas superficiales detectadas, se puede establecer que el tipo de cimentación más adecuado para las estructuras propuestas corresponde a:

1. - Zapatas corridas.

y

2.- Losas de cimentación.

Lo anterior se estableció en base a que se localizaron dos tipos de suelos diferentes, esto es:

En la zona donde se construirán las edificaciones para educación preescolar se determinaron depósitos de tipo tobáceo, correspondientes a tobas volcánicas consistentes en limos arenosos poco arcillosos.

El otro tipo de suelo se localiza cruzando el arroyo. En este caso se detectó la presencia de una arcilla limosa poco arenosa. Ante esta situación, la determinación de la capacidad de carga para las cimentaciones de las edificaciones ubicadas dentro de la zona de enseñanza preescolar se realizó

aplicando criterios para suelos friccionantes, mientras que la determinación de la capacidad de carga para las cimentaciones de las edificaciones que se ubicarán del otro lado del arroyo (segunda etapa) se realizó aplicando los criterios de cálculo correspondientes a suelos cohesivos. A continuación se mostrarán las recomendaciones y los parámetros de diseño correspondientes:

Capacidad De Carga Para Suelos Friccionantes Y Cohesivos.

Aplicando la teoría de Terzaghi para suelos del tipo friccionante y considerando un ángulo de fricción interna de 35°, se determinaron las siguientes capacidades de carga admisible. Así mismo y aplicando la teoría de Terzaghi para suelos del tipo cohesivo y considerando una cohesión de 3 ton/m², se determinaron las siguientes capacidades de carga admisible:

ZAPATAS CORRIDAS Y LOSA DE CIMENTACIÓN:

PROFUNDIDAD DE DESPLANTE (m)	Capacidad de carga admisible para Suelos Friccionantes (ton/m ²)	Capacidad de carga admisible para Suelos Cohesivos (ton/m ²)
1.0	18	7
2.0	18.5	9
3.0	19	10
4.0	19.5	12

Con respecto a los asentamientos y aplicando el criterio de la teoría de la elasticidad, se determinaron los siguientes valores.

A.- ZAPATAS CORRIDAS

ANCHO (m)	Carga aplicada en suelos friccionantes (ton/m ²)	Asentamiento, en suelos friccionantes (cm)	Carga aplicada en suelos cohesivos (ton/m ²)	Asentamiento, en suelos cohesivos (cm)
B=1	18	0.5	7	2.1
	18.5	0.5	9	2.7
	19	1	10	3.0

	19.5	1.5	12	3.6
B=2	18	1	7	4.2
	18.5	1	9	5.4
	19	1	10	6.0
	19.5	1.5	12	7.2
B=3	18	1	7	6.3
	18.5	1	9	8.1
	19	1.5	10	9.0
	19.5	2	12	10.80

B.- LOSA DE CIMENTACIÓN

ANCHO (m)	LARGO (m)	CARGA APLICADA PARA SUELOS FRICCIONANTES (ton/m ²)	ASENTAMIENTO SUELO FRICCIONANTE (cm)	CARGA APLICADA PARA SUELOS COHESIVOS (ton/m ²)	ASENTAMIENTO SUELO COHESIVO (cm)
B=4	L=8	18	1	2	1.6
		18.5	1.5	3	2.4

		19	2	4	3.2
		19.5	2.5	5	4.0
B=8	L=16	18	1	2	3.2
		18.5	1.5	3	4.8
		19	2	4	6.4
		19.5	2.5	5	8.0
B=16	L=32	18	1	2	6.4
		18.5	1.5	3	9.6
		19	2.5	4	12.80
		19.5	3	5	16.00

Como se puede observar en algunos casos rige el esfuerzo aplicado para determinar los asentamientos, razón por la cual se deberá de diseñar la cimentación para este esfuerzo máximo admisible. No se recomienda utilizar esfuerzos que den asentamientos mayores a 5.00 cm.

En el diseño estructural de la cimentación deberán tomarse en cuenta los asentamientos diferenciales señalados en los cuadros anteriores.

En caso de que los niveles de desplante de las estructuras sean superiores a los niveles del terreno natural y por esta razón se terraplenes, se deberán utilizar los siguientes parámetros de diseño:

Se utilizará un tipo de cimentación a base de Losas y las cargas aplicadas NO deberán exceder de 8 ton/m². Con estos valores se tendrán asentamientos menores a 2.5 cm.

EXPRESIONES APLICADAS.

Cálculo de la Capacidad de Carga.

Aplicando la Teoría de Terzaghi para suelos friccionantes y falla local:

$$q_u = \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

donde:

q_u = Capacidad de carga última.

D_f = Profundidad de desplante.

γ = Peso volumétrico.

N_q, N_γ = Factores de carga.

Aplicando la Teoría de Terzaghi para suelos cohesivos y falla local:

$$q_u = c (5.7) + \gamma D_f$$

Donde:

q_u = Capacidad de carga última.

c = Cohesión

D_f = Profundidad de desplante.

γ = Peso volumétrico.

Para condiciones estáticas:

$$q_a = q_u / F_D$$

q_a = Capacidad de carga admisible.

F_D = Factor de dimensionamiento igual a 3.

Para condiciones sísmicas:

$$q_a = q_u / F_D$$

q_a = Capacidad de carga admisible.

F_D = Factor de dimensionamiento igual a 2.

Cálculo de asentamientos.

Para el cálculo se utilizó el programa Stress, para determinar los esfuerzos transmitidos.

Se aplicó la teoría de elasticidad para determinar los asentamientos.

$$\Delta H = mv \Delta p \Delta z$$

Donde:

ΔH = asentamiento

m_v = coeficiente de compresibilidad

Δp = incremento de esfuerzo

Δz = espesor de estrato considerado.

III.4. RECOMENDACIONES.

III.4.1. RECOMENDACIONES PARA LOS TALUDES PERIMETRALES.

Para las zonas donde se realizarán cortes en el terreno, se deberá de realizar una protección de las mismas.

La protección deberá realizarse conforme al siguiente método constructivo:

- *Para los cortes de 1.00 a 1.50 m, estos se podrán realizar en forma vertical.*
- *Para los cortes entre 1.50 m y 2.50 m, se deberá respetar un corte con talud 3:1 (vertical:horizontal).*
- *Para los cortes mayores de 2.50 m y hasta 4.00 m, se deberá de dejar un corte con un talud 2:1 (vertical:horizontal).*

Para el diseño de los muros de contención se recomienda aplicar las gráficas que se muestran en las Figs. N° 13 y 14. Para la realización de estas graficas se consideró un coeficiente de presión horizontal en reposo de 0.45, mismo que se aplicará en el caso de los muros de contención que retengan materiales de relleno. Para muros de contención que se coloquen en zonas de corte en terreno natural, el coeficiente utilizado fué de 0.35.

Para el diseño sísmico de las estructuras, se empleará un coeficiente sísmico $C = 0.16$.

Recomendaciones para calles internas.

De acuerdo con la información proporcionada por el cliente, las vialidades internas se resolverán mediante el uso de adocreto colocado sobre un pavimento del tipo rígido, lo cual le dará mayor durabilidad.

Aplicando el criterio de la AASHTO para pavimentos rígidos, se consideraron los siguientes parámetros de diseño:

Índice de confianza: 80%

No se consideran guarniciones

Intensidad de tráfico:

Dado que NO se cuenta con información precisa de aforos previos, se consideró una intensidad equivalente a una arteria menor, con una intensidad de 200,000 TAL E18 SAL

Modulo de reaccion: 2.8 Kg/cm³ (Valor crítico)

Modulo de ruptura: 45 Kg/cm² (Valor crítico)

F'c de concreto: 250 Kg/cm²

Con estos parámetros se obtuvo un espesor de concreto de 15 cm. Se utilizarán juntas aserradas, y se armarán por temperatura con fibra sintética o bien fibra metálica. Las juntas se realizarán dispuestas en una cuadrícula de 3.00 x 3.00m como máximo. Se utilizará una junta de expansión a cada 40.00 m. Esta podrá realizarse con un material compresible que resista el intemperismo, como el FEXPAN ó similar.

El terraplén para alojar el pavimento de concreto se construirá conforme a las siguientes secciones estructurales:

Zonas de corte en terreno natural en estado compacto.

Losa de concreto de 15 cm de espesor.

Base hidráulica de 20 cm de espesor compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Zonas de corte en terreno rellenado por la conformación de plataformas o bien zonas muy saturadas o con material de relleno antiguo.

Losa de concreto de 15 cm de espesor.

Base hidráulica de 25 cm de espesor compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Subrasante de 30 cm de espesor compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

Filtro granular a base de grava con arena o bien tezontle en greña, de 10 cm de espesor, compactado de forma intensa.

Recomendaciones para conformar plataformas.

Para conformar las plataformas se aplicará el siguiente método constructivo:

- 1. Se construirá el muro de contención correspondiente.*
- 2. Se realizará un despalme mínimo de 50 cm.*
- 3. Se colocará un filtro a base de material granular conformado por grava con arena o bien con tezontle en greña, intensamente compactado.*
- 4. Una vez despalmado el predio, se procederá a colocar las capas que conformarán el material de relleno. Estas capas se dispondrán en espesores de 20 cm, compactadas al 90% de su peso volumétrico seco máximo.*
- 5. Las dos últimas capas del terraplén se conformarán mediante dos capas de material de relleno*

compactadas al 95% de su peso volumétrico seco máximo.

- 6. El material de relleno se podrá conformar a base de material producto de los cortes realizados en el predio, siempre y cuando, se utilice un limo arenoso, color café blanquizco.*

CAPITULO IV

TRABAJOS DE

VERIFICACIÓN

IV.1. COMPENDIO

En relación a los trabajos de verificación de anomalías reportadas en el estudio geofísico-geológico, donde se reportaban anomalías con profundidad variable entre 12 y 25 m de profundidad, mostradas en el anexo I.

La verificación se llevo a cabo mediante la perforación de cuatro sondeos de verificación de tipo mixto, uno a 35 m y tres a 30 m de profundidad, profundidad necesaria para atravesar las anomalías reportadas.

Se obtuvieron muestras representativas alteradas, mediante la prueba de penetración estándar, que consiste en determinar el índice de resistencia a la penetración de los materiales atravesados correspondientes al número de golpes necesario para hincar 30 cm. al penetrómetro estándar mediante el impacto de un martinete de 63.5 Kg. que cae libremente desde una altura de 76 cm. También se obtuvieron muestras de núcleos de roca con el barril con broca de diamante.

Durante la ejecución de los sondeos se puso especial cuidado en observar la pérdida de lodos de perforación o la caída súbita de la herramienta de perforación que pudieran ser indicios de cavidades en el subsuelo o de materiales muy sueltos, así como la observación de la frontera entre los materiales de relleno de mala calidad y los materiales resistentes de depósito natural. La ubicación de los sondeos se muestra en la figura 1 y los

registros de campo se muestran en las figuras 2 a 10 y en el anexo II se presenta un reporte fotográfico de los trabajos realizados

El área de interés forma parte de la Sierra de las Cruces, ubicada al occidente de la Cuenca del Valle de México, conocida como la Zona de Lomas de acuerdo a la zonificación de los materiales del subsuelo, y denominada geotécnicamente Formación Tarango. En general los depósitos que constituyen esta formación en la proximidad de los volcanes de los que fueron emitidos dan lugar a los depósitos en forma de abanico y presentan una estratificación medianamente regular en algunas zonas, en otras zonas más alejadas la estratificación es irregular y lenticular, y se encuentran constituidos por los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de volcanes andesíticos:

- a) Horizontes de cenizas volcánicas de granulometría variable, producidas por erupciones violentas que formaron tobas cementadas depositadas a decenas de kilómetros de distancia del cráter, al ser transportadas por nubes ardientes constituidas por la expulsión violenta de los conos volcánicos de masas de gases a altas temperaturas y materiales piroclásticos finos, que por gravedad descienden hacia las partes bajas depositando los materiales a su paso.*

- b) *Capas de erupciones pumíticas correspondientes a la actividad volcánica de mayor violencia y que se depositaron como lluvia, en capas de gran uniformidad hasta lugares muy distantes del cráter.*

- c) *Lahares, definidos como acumulaciones caóticas de material piroclástico arrastrado lentamente en corrientes lubricadas por agua, generadas por lluvias torrenciales inmediatas a la erupción*

*En particular los materiales que constituyen el subsuelo en el sitio de interés son suelos residuales de origen volcánico del tipo de *nubes ardientes* intercaladas eventualmente por capas de materiales pumíticos. El sitio de interés se localiza al poniente del Valle de México en la zona de Lomas según la regionalización hecha por Del Castillo. La estratigrafía en forma general en sitio de interés, puede resumirse de la siguiente forma: entre la superficie y 6.0 m de profundidad se tienen materiales de relleno constituidos por boleos hasta de 50 cm de diámetro, gravas hasta de 3" de diámetro empacados en una matriz arenosa limosa, de compactación media, entre 6 y 12 metros de profundidad, se tienen boleos y gravas empacados en una matriz arenosa limosa, subyaciendo los materiales anteriores y hasta 20 m de profundidad se tiene un depósito de origen volcánico, constituidos por una arena limosa, color gris, compacta; finalmente subyaciendo los materiales anteriores y*

hasta la máxima profundidad explorada de 35.00 m se tienen depósitos de de suelo residual de origen volcánico, constituidos por una brecha volcánica arenosa poco limosa, de color gris y café, compacta.

En la Figura All.2 a All.5 del Anexo II se presenta el perfil estratigráfico de los sondeos de verificación realizados.

*De acuerdo con los resultados de los sondeos de verificación realizados en las anomalías reportadas, no se encontró ningún indicio de la probable existencia de cavidades en el subsuelo, que estén afectando el predio de interés, **concluyéndose que la probabilidad de la existencia de cavidades en el subsuelo en el predio de interés, es nula.** Y las anomalías reportadas en el estudio geofísico corresponden a cambios de material asociados a la presencia de fragmentos de basalto y una brecha volcánica constituida por una arena con gravas cementadas.*

IV.2. SONDEOS DE VERIFICACIÓN

Primera Etapa

Los SEV's se ubicaron tratando de distribuirlos en todo el terreno plano y semiplano del terreno; los tendidos, exclusivamente en la zona en donde se habrán de construir las

instalaciones del colegio, de acuerdo al plano arquitectónico que se nos proporciono (ver figuras 5a y 5b).

Segunda Etapa.

En esta etapa solamente se realizaron tendidos, específicamente 7 tendidos polo-dipolo. Su ubicación se incluyen en la figura 5c.

IV.3. INTERPRETACIÓN CUALITATIVA.

IV.3.1. Sondeos Eléctricos Verticales (Primera Etapa).

Se parte de un modelo geológico superficial en el cual coexisten materiales volcánicos piroclásticos de textura limo-arenosa con presencia de fragmentos lávicos de composición andesítica y dacítica, angulosos en general, entremezclados con los piroclastos. Dichos fragmentos varían en tamaño desde los pocos centímetros hasta los 30 cm. aproximadamente. Además, es notorio que en algunas zonas los piroclastos coexisten con intercalaciones de paleo cauces (fragmentos subredondeados de hasta 10 cm).

En general, cuando se encuentran cavernas estas llegan a presentar espacios rellenos solamente por aire, lo que generan anomalías resistivas de mayor cuantía al medio que le circunda. Sin embargo, las cavernas algunas veces pueden estar parcialmente rellenas por materiales intemperizados,

basura u otros elementos, lo que genera cambios de resistividad no muy constantes al medio que les rodea. De los resultados obtenidos con los SEV's (ver secciones de isorresistividad



Figura 5b. Ubicación del polígono en donde se realizaron los Tendidos dipolares (L-T)

real en el ANEXO), en los SEV's 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se detectaron incrementos resistivos, mismos que no son necesariamente relacionables con cavernas. Es mas, muy probablemente estos aumentos deban relacionarse con incrementos en la cantidad de gravas. De esta forma, solamente los resultados de los SEV's 6 y 9, podrían relacionarse en realidad, con presencia de cavidades. La correlación gelogico-geofisica, conjuntamente con la topografía del lugar, generan fuertes dudas sobre la existencia de cavernas, de tal forma que dichos aumentos resisitivos se deban a un incremento drástico de gravas mezcladas con los

piroclastos. Una perforación en diámetro reducido podría asegurar la hipótesis o desmentirla; puesto que el inicio de la zona resistiva comienza cerca de los 5 metros en el SEV 09 y a los 19 metros aproximadamente en el SEV 06, podría llevarse a cabo dicho sondeo exploratorio en cualquiera de los dos sitios, pero que sea la zona entre dichos sondeos electicos realizados. Para una buena ubicación en campo, se recomendaría utilizar GPS que este configurado en datum WGS 84 para su localización exacta.

En las secciones de Isorresistividad real que se incluyen en el Anexo, las tonalidades van progresando de un color amarillo a rojo, en la misma forma que las resistividades van aumentando. De esta forma, los valores mas altos se presentan en rojo, correspondientes a las anomalías que pueden correlacionarse con cavernas; los valores más bajos en amarillo.

IV.3.2. Tendidos Dipolares Polo-Dipolo de la Primera Etapa.

Al igual que en los sondeos eléctricos, las secciones de isorresistividad muestran por tonalidades, los cambios en la resistividad del medio. Para el caso se graficaron secciones de isorresistividad aparente y en estos (ver anexo) se muestran las variaciones de resistividad a la alza, a medida que las tonalidades se vuelven mas rojizas, de esta forma los colores

amarillos corresponden a los valores bajos y los mas oscuros, tendientes a rojos, los mas altos.

Puesto que ya se habían realizado 20 sondeos eléctricos distribuidos en todo el predio, se concluyo que para mejorar la calidad de la información se incluirían 7 tendidos dipolares en la zona en donde se construirán las instalaciones del colegio, especificado como indica la figura 5b.

Los resultados obtenidos indicaron distintas anomalías relacionadas con incrementos en las resistividades; en la línea 1 tendidos 1 y 4, resultaron notorios dos incrementos de resistividad a profundidades que pueden estar por los 12 metros.

En la línea 2, al principio y final de esta, también se detectaron incrementos en la resistividad; en la línea 3, entre los 0 y 15 metros se presenta otra anomalía aun mas grande que las anteriores y en la línea 4, a los 4 y 22 metros iniciados los tendidos, se detectaron resistivos adicionales.

IV.3.3. Tendidos Dipolares Polo-Dipolo de la Segunda Etapa.

Se realizaron 4 líneas, tres de ellas con dos tendidos cada una, la cuarta, con un solo tendido. La ubicación de estos se presenta en las imágenes siguientes. Los resultados obtenidos mostraron lo siguiente:

Línea 1.- El principio de la línea 1, entre los 10 y 22 metros, se detecta un cambio resistivo que puede corresponder a cambios en la compacidad y/o textura de los materiales. Esto mismo sucede entre los 36 y 40 metros, así como en el tramo que inicia desde los 60 metros y hasta el final. Sin embargo, resultan, mas llamativos los dos primeros tramos, porque implican cambios evidentes en los materiales, probablemente por lo que ya se explico. Entre los 6 y 9 metros de profundidad, específicamente a los 32 y 52 metros de haber comenzado la línea, se detectan anomalías que aumentan ostensiblemente sus resistividades, esto quizás se deba a la presencia de fragmentos inmersos dentro de las arenas y limos existentes en la zona.

Línea 2.- Esta línea presenta cambios ligeros en su resitividad, a excepción hecha a partir de los 70 metros de comenzada la línea, la cual presenta incrementos moderadamente importantes en la resistividad. Por su extensión, podría corresponder a cambios texturales de los materiales, de arenas y limos a gravas o en su defecto, a una caverna rellena.

Línea 3.- En esta línea se evidencia a los 60 metros de iniciada la línea, una capa ligeramente más resistiva que va profundizándose hacia el inicio de la línea. Esto pareciera ser una capa de mayor compacidad o granulometría ligeramente

mayor a lo que le rodea. Si bien el dipolo 7 del tendido 2 (aproximadamente a los 78 metros) se encontró el arroyo, la anomalía propia del cambio topográfico e incremento de boleos solamente se detecta con un ligero incremento de la resistividad somera.

Línea 4.- *Esta línea consistió de un solo tendido, y se detectan a los 20, 28 y 32 metros, cambios resistivos importantes, que bien podrían relacionarse a boleos inmersos en los materiales areno-limosos de la zona o en su defecto, a oquedades.*

IV.4. RECOMENDACIONES

- 1. De los sondeos eléctricos tendidos realizados en la primera etapa, se detectaron diversas zonas que evidenciaron incrementos de resistividad y que pueden relacionarse con incrementos en la cantidad de gravas y fragmentos lávicos o incluso, a cavernas. La figura siguiente muestra en amebas de color rojo.*
- 2. Posterior a la realización de la geofísica, se realizaron 4 sondeos directos entre 30 y 35 metros de profundidad. Los resultados en ellos obtenidos, indicaron que las anomalías detectas correspondían a cambios texturales de los materiales areno-limosos, mismos que de manera natural presentan entremezclados, fragmentos de roca*

extrusiva lávica de composición variable, desde el basalto hasta la andesita y dacita.

3. *Puesto que el diseño de ampliación del colegio Kipling implica la construcción de otras unidades en el ala sur del arroyo que cruza el terreno en donde se construye, se incluyeron 7 tendidos dipolares polo-dipolo adicionales. Los resultados mostraron lo siguiente:*

a. *Línea 1.- Al principio de esta línea 1, entre los 10 y 22 metros, se detecta un cambio resistivo que puede corresponder a cambios en la compacidad y/o textura de los materiales. Esto mismo sucede entre los 36 y 40 metros, así como en el tramo que inicia desde los 60 metros y hasta el final. Sin embargo, resultan mas llamativos los dos primeros tramos, porque implican cambios evidentes en los materiales, probablemente por lo que ya se explico. Entre los 6 y 9 metros de profundidad, específicamente a los 32 y 52 metros de haber comenzado línea, se detectan anomalías que aumentan ostensiblemente sus resistividades, esto quizás se deban a la presencia de fragmentos inmersos dentro de las arenas y limos existentes en la zona.*

b. *Línea 2.- Esta línea presenta cambios ligeros en su resistividad, a excepción hecha a partir de los*

70 metros de comenzada la línea, la cual presenta incrementos moderadamente importantes en la resistividad. Por su extensión, podría corresponder a cambios texturales de los materiales, de arenas y limos a gravas o en su defecto, a una caverna rellena.

c. Línea 3.- En esta línea se evidencia a los 60 metros de iniciada la línea, una capa ligeramente más resistiva que va profundizándose hacia el inicio de la línea. Esto pareciera ser una capa de mayor compacidad o granulometría ligeramente mayor a lo que le rodea. Si bien el dipolo 7 del tendido 2 (aproximadamente a los 78 metros) se encontró el arroyo, la anomalía propia del cambio topográfico e incrementos de boleos solamente se detecta con un ligero incremento de la resistividad somera.

d. Línea 4.- Esta línea consistió de un solo tendido, y se detectan a los 20, 28 y 32 metros, cambios resistivos importantes, que bien podrían relacionarse a boleos inmersos en los materiales areno-limosos de la zona o en su defecto, a oquedades.

4. De lo anterior se recomendaría por seguridad, realizar uno o dos sondeos directos adicionales, para corroborar

al menos en uno o dos sitios la continuidad de materiales o en su defecto, la existencia de una caverna. La figura que a continuación se presenta indica las zonas anómalas encontradas. Sin embargo, se deberán desechar las siguientes:

- a. Como podrá corroborarse en la siguiente figura, dos de las anomalías detectadas en la línea 1 (en color rojo), corresponden a donde se encontraron cambios en algunas líneas realizadas en la primera etapa, verificada a través de sondeos directos, No se encontraron cavernas. De esta forma, la anomalía detectada en segundo término al final de la línea, podría ser al igual que las anomalías anteriores, un cambio textural de los materiales. Por tanto, podría realizarse un sondeo exploratorio sobre la línea 4 y otro en la línea 2.*

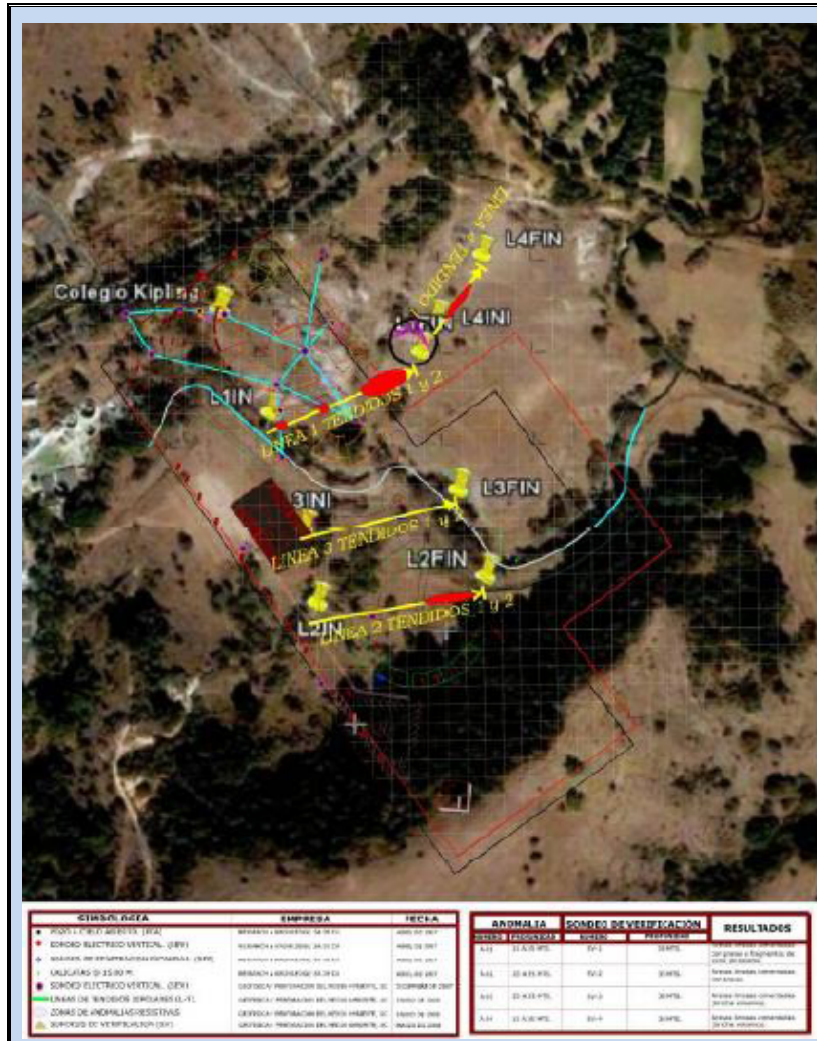


Figura 5c. Imagen con el polígono en donde esta construyéndose el Colegio Kipling, así como la ubicación de los tendidos dipolares, SEV's y sondeos directos realizados en la primera etapa. Las líneas amarillas resaltadas corresponden a los tendidos de la segunda etapa. Las zonas anómalas detectas se ilustran en amebas color rojo.

CAPITULO V
CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

- 1. Para el desarrollo de este estudio, fue de vital importancia el conocer los antecedentes que existen en el predio donde se llevaron a cabo todos los estudios que ayudaron a determinar el objetivo, Conocer La Probable Existencia de Cavernas, pues para ello fue necesario recabar datos como lo es su clima, su fisiografía, la hidrografía, la geología y algo tan importante como lo es la estratigrafía del lugar donde se encuentra al día de hoy el Colegio Kipling; lo cual se logro mediante el apoyo de fuentes bibliográficas así como de Instituciones que obtienen este tipo de información.*
- 2. El alcance que se logro mediante la Geofísica del lugar nos permitió conocer la diversificación de materiales que se encontraron, así como la clasificación, las dimensiones y las resistencias de los materiales más representativos y que inquirieron mayor detenimiento; logrando los resultados deseados mediante los sondeos y tendidos que se realizaron en puntos de vital importancia para el proceso constructivo del Colegio, siendo estos los que nos dieron un panorama aun mayor y que determinaron la necesidad de estudios que afinaron los resultados que se requerían.*
- 3. El análisis del suelo que se llevo a cabo dio la pauta para difundir algunas recomendaciones acerca de los taludes*

que se requerían para el desarrollo del plantel, así como también algunas indicaciones para los muros de contención y algunos acomodos con lo que a sismicidad se refiere y un panorama de la cimentación más recomendable para este tipo de terreno, pues este análisis primordialmente nos brindo la estratigrafía del lugar, la cual designa de forma precisa la composición, la conformación y la calidad del terreno en estudio.

- 4. Con lo que respecta a los trabajos de verificación, es evidente que ellos nos determinaron de una forma más precisa lo que en cuestión estaba, pues los sondeos que se realizaron así como los tendidos que se precisaron dieron los resultados que se buscaban, pues mediante los análisis previos se denotaron ciertas variaciones de resistividad sin tener una exactitud al respecto, sin embargo con estas verificaciones esas incógnitas fueron desvanecidas, pues el alcance de estos estudios de comprobación nos dieron como resultado la Improbable Existencia de Cavernas en el terreno empleado para el desarrollo del Colegio Kipling.*

En base a las recomendaciones que se dieron con los estudios que se realizaron y que se tomaron en cuenta, el Colegio Kipling fue construido de forma satisfactoria y sin inconvenientes con lo que al estudio de suelo se refiere, pues

hoy en día se encuentra terminado y en funcionamiento; sin presentar anomalías en el medio que le circunda.

Concluyendo en base a todos los trabajos de verificación, los estudios previos que se llevaron a cabo e incluyendo la geofísica y la exploración directa que se recabó en este estudio, podemos determinar que la existencia de cavidades es completamente nula, no hay dichas fracturas en el terreno y no hay inconvenientes para el procedimiento constructivo, logrando así el objetivo principal de este trabajo, mediante un gran detenimiento y una gran exactitud, sin encontrar anomalías del suelo en estudio.

Es importante mencionar, que desde un punto de vista particular, me es grato decir que llevar a cabo este tipo de verificaciones en un suelo es de vital importancia, pues al conllevar un proyecto de forma empírica y sin conocimiento del lugar donde pensamos construir, puede haber la posibilidad de que los resultados no sean los que desde un principio deseamos tener; pues la conformación del suelo donde estamos hoy situados es un tanto incierta y que es imperante este tipo de verificaciones.

También es cierto que nuestra forma de conllevar las construcciones hoy en día, no es la más indicada por la autoconstrucción que existe y por ello me permito decir que es vital llevar a cabo este tipo de estudios.

Consolidando la información que este Estudio Geofísico requirió, se indican algunas fotografías del lugar en su etapa de uso y desempeño de funciones.

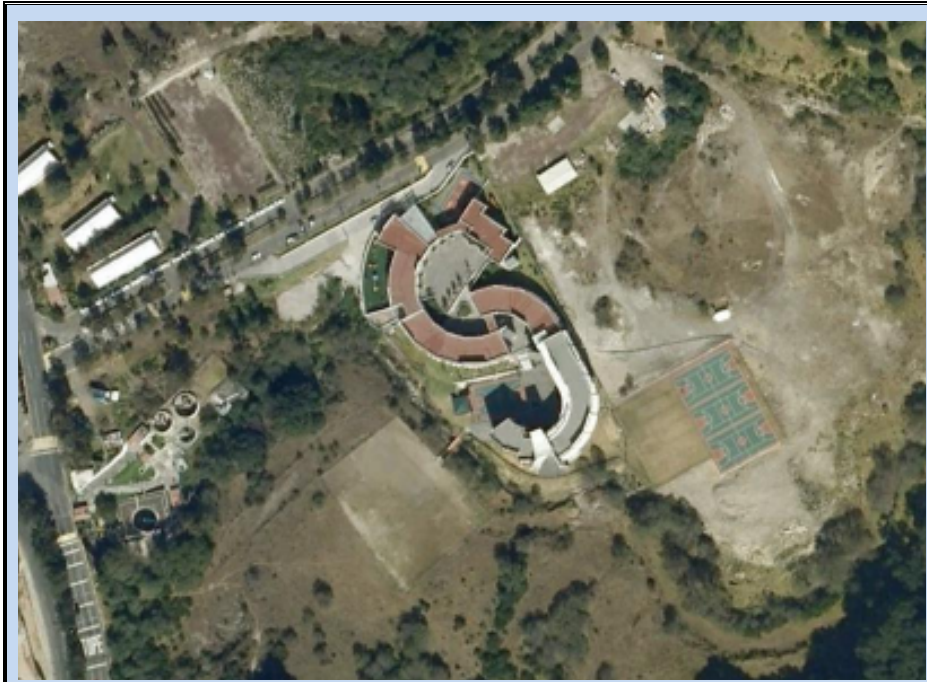


Figura : Vista Aérea Del Colegio Kipling Ya Terminado




Figura : Fachada Del Colegio Kipling



Figura : Vista Panorámica Lateral

ANEXO I

NO SEV	Localización en coordenadas UTM DATUM WGS84	Archivo Fotográfico
SEV 01	0469185, 2163762	
SEV 02	0469093, 2163703	
SEV 03	0469078, 2163724	




SEV 04	0469108, 2163727	
SEV 05	0469132, 2163723	
SEV 06	0469176, 2163702	

SEV 07	0469160, 2163685	
SEV 08	0469161, 2163646	
SEV 09	0469202, 2163665	NO SE TOMO FOTO
SEV 10	0469113, 2163611	




SEV 11	0469121, 2163558	
SEV 12	0469158, 2163525	
SEV 13	0469179, 2163583	NO SE TOMO FOTO
SEV 14	0469247, 2163680	

SEV 15	0469236, 2163706	 A photograph showing two individuals in a grassy field. One person is wearing blue pants and a light-colored shirt, and the other is wearing a red shirt and dark pants. They are both crouching and looking at a blue bag on the ground. There are other items scattered around, including a yellow bag and some debris.
SEV 16	0469319, 2163675	 A photograph showing a person kneeling on the ground next to the rear of a dark-colored van. The person is wearing dark clothing and appears to be examining something on the ground. The setting is a large, open field with some buildings in the background.
SEV 17	0469299, 2163734	 A photograph showing a blue bag lying on the ground in a field. The bag is positioned in the foreground, and the rear of a dark-colored van is visible in the background. The field is dry and grassy.

SEV 18	0469377, 2163728	 A person wearing a green jacket and red pants is kneeling on a grassy field. They are surrounded by equipment, including a yellow bag and a blue bag. The background shows trees and a clear sky.
SEV 19	0469403, 2163687	 A person wearing a dark jacket and red pants is kneeling on a grassy field. They are surrounded by equipment, including a blue bag and a red bag. The background shows trees and a clear sky.
SEV 20	0469394, 2163644	 Two people are in a grassy field. One person is kneeling on the ground, and another person is standing nearby. They are surrounded by equipment, including a blue bag and a yellow bag. The background shows trees and a clear sky.

TENDIDOS		 A dirt road under construction. A red pickup truck is parked on the right side. Several workers in hard hats are visible in the background. The road is unpaved and appears to be in the early stages of construction.
TENDIDOS		 A worker in a hard hat stands on a dirt road. An orange traffic cone is visible in the foreground. The road is unpaved and appears to be in the early stages of construction.
TENDIDOS		 A worker in a hard hat stands on a dirt road. Large piles of material, possibly sand or gravel, are visible in the background. The road is unpaved and appears to be in the early stages of construction.

TENDIDOS		
TENDIDOS		
TENDIDOS		

TENDIDOS		
TENDIDOS		
TENDIDOS		

TENDIDOS



FIGURA 1. LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL AREA EN ESTUDIO.



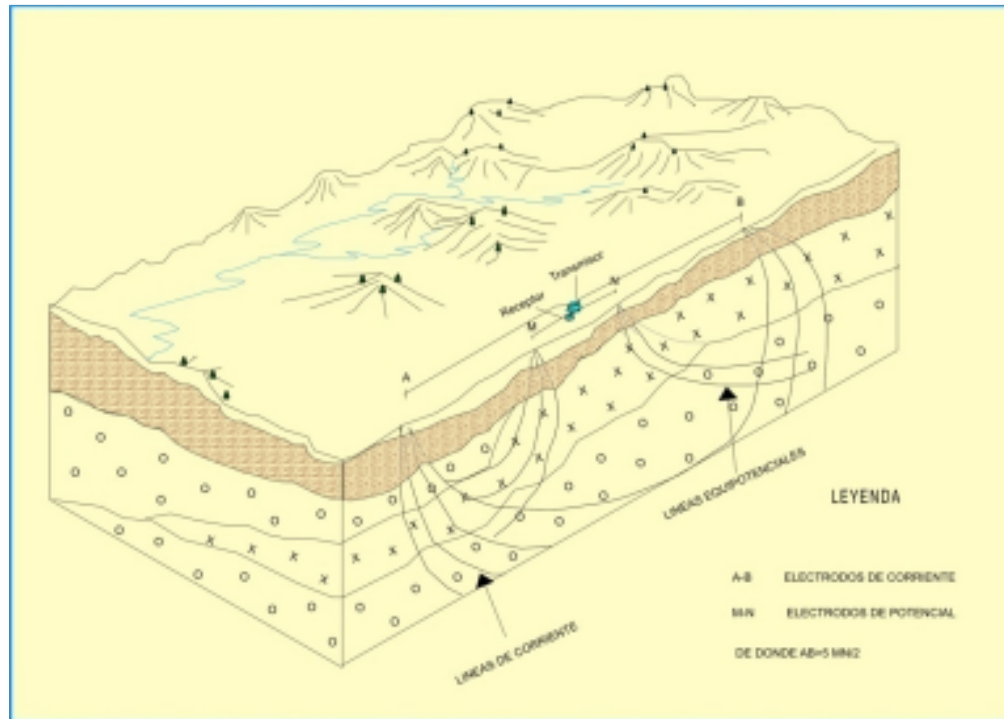
FIGURA 2. PROVINCIAS FISIOGRAFICAS



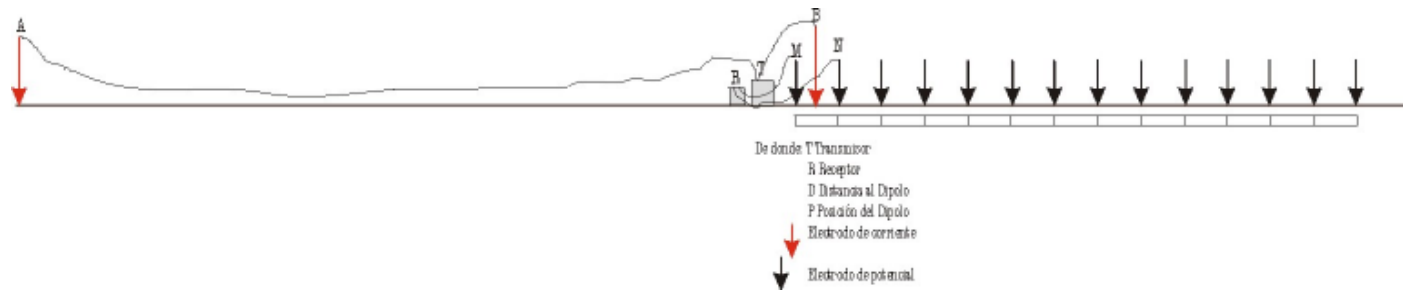
FIGURA 3. GEOLOGÍA



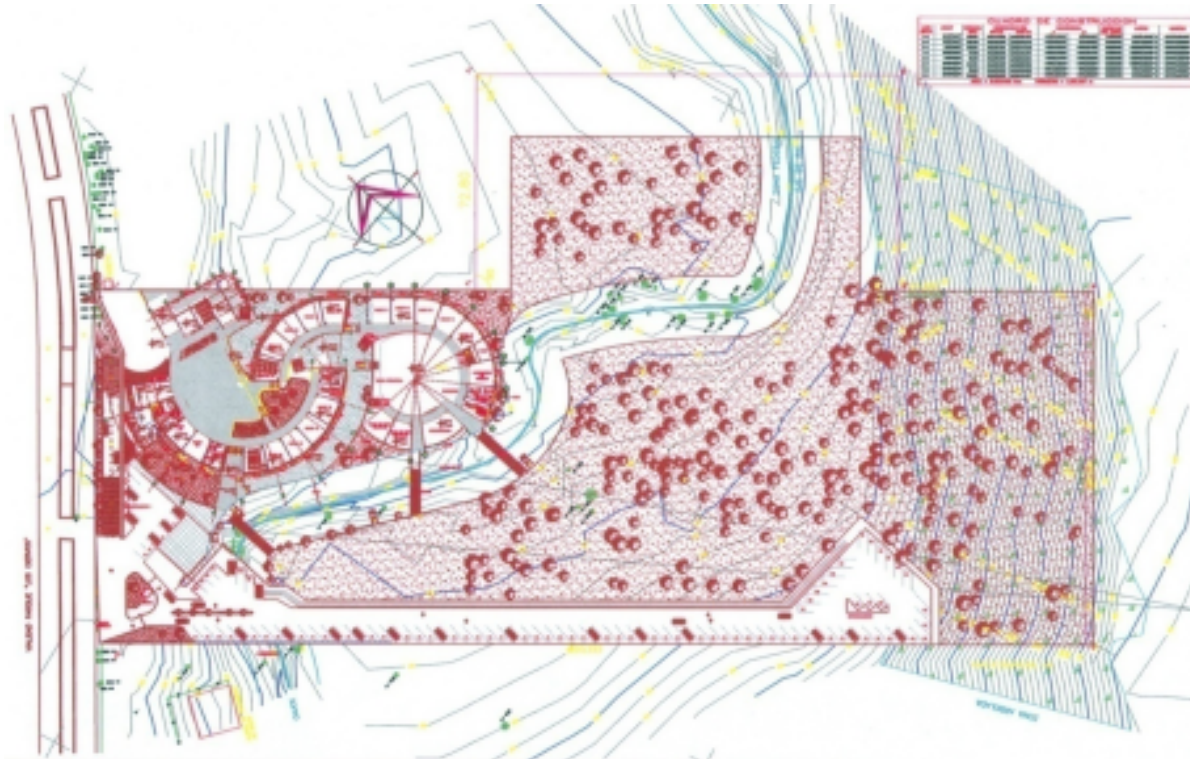
FIGURA 4. ARREGLO INTERELECTRODICO TIPO SCHLUMBERGER UTILIZADO



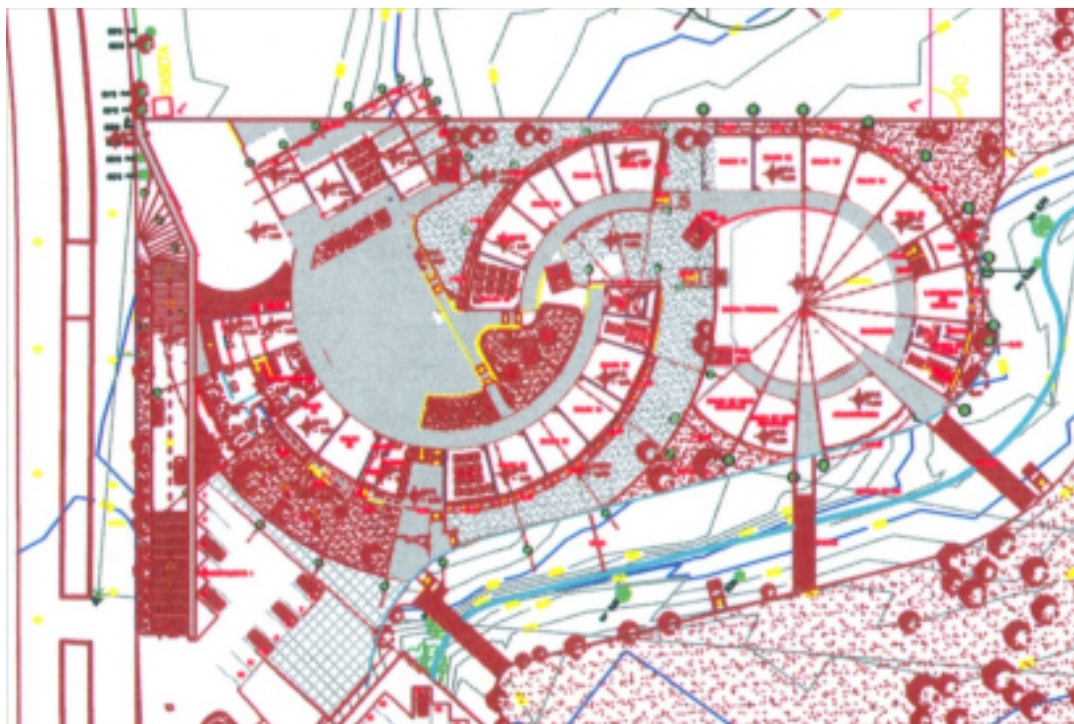
**FIGURA 4.1. ARREGLO INTERELECTRODICO TIPO
DIPOLAR POLO- DIPOLO**



PLANO DE CONSTRUCCION DEL COLEGIO KIPLING



**ZONA EXCLUSIVA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE OBRA CIVIL
DENTRO DEL TERRENO DEL COLEGIO KIPLING**



**IMAGEN SOBREPUESTA INDICATIVA DEL POLIGONO EN DONDE SE CONSTRUYEN LAS
INSTALACIONES DEL COLEGIO**



FIGURA 5. LOCALIZACION DE LOS SEV's REALIZADOS



FIGURA 6. SECCION DE ISORRESISTIDAD REAL SEV'S 1 A 12

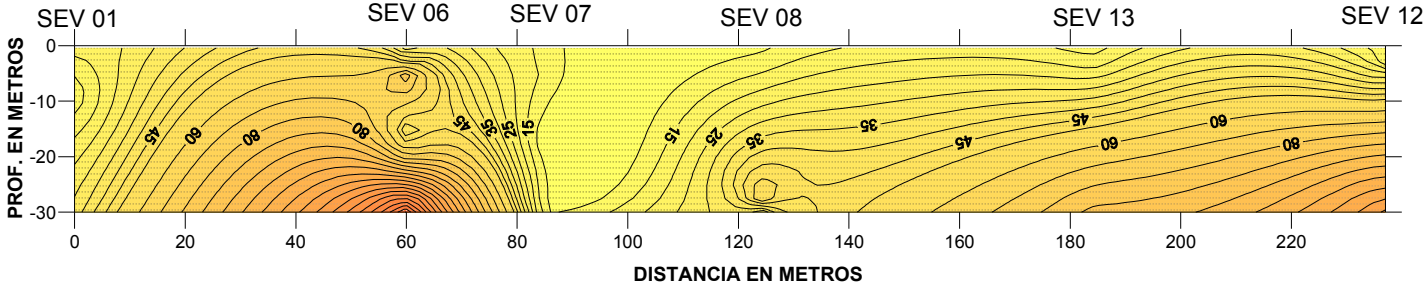


FIGURA 7. SECCION DE ISORRESISTIDAD REAL SEV'S 2 A 19

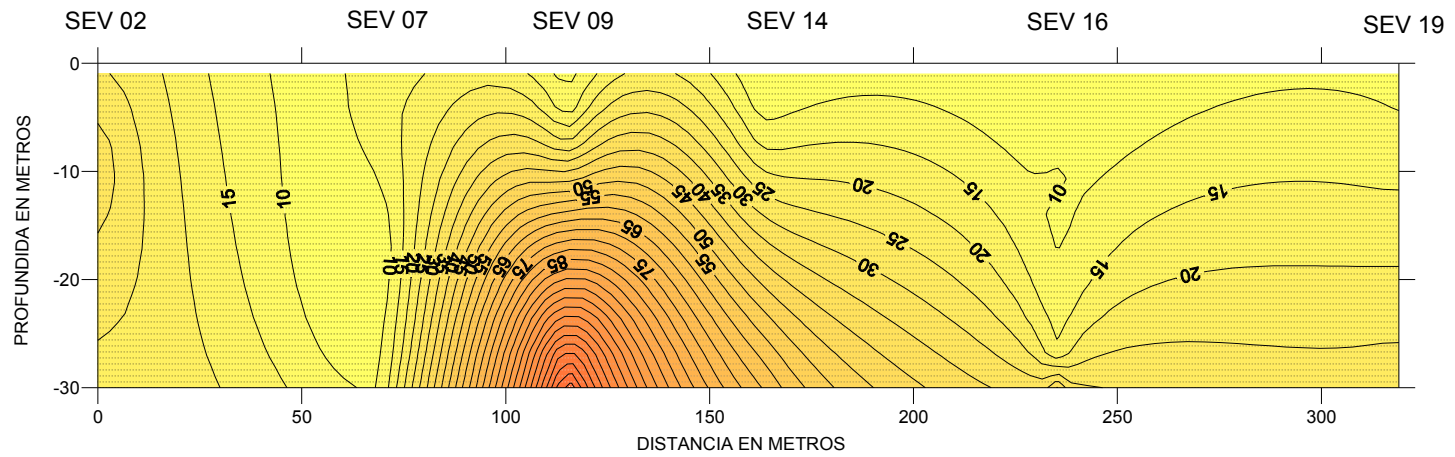


FIGURA 8. SECCION DE ISORRESISTIDAD REAL SEV'S 2 A 20

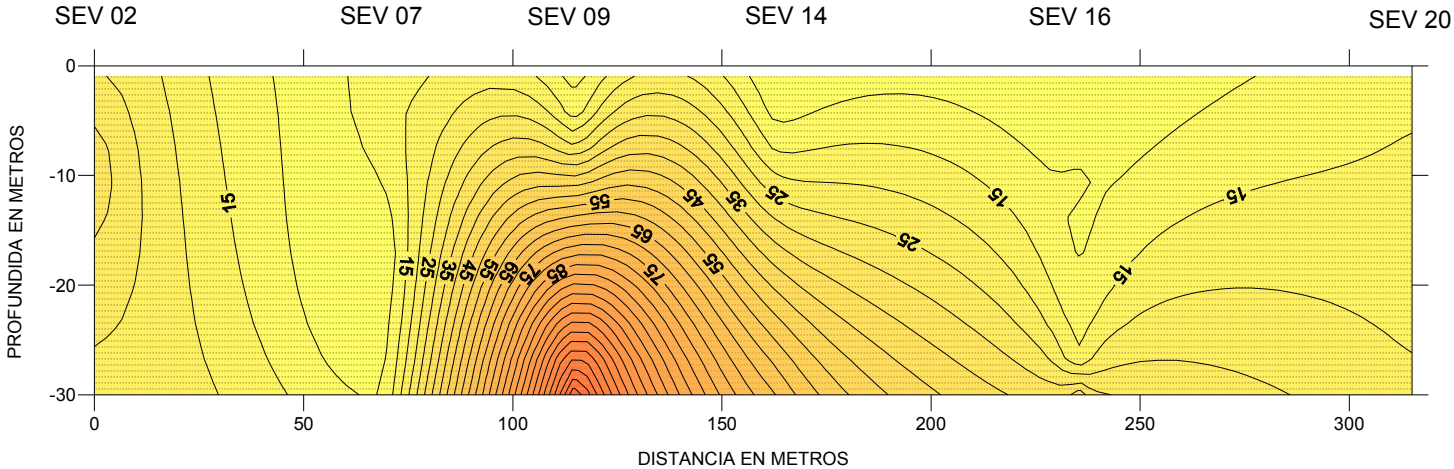
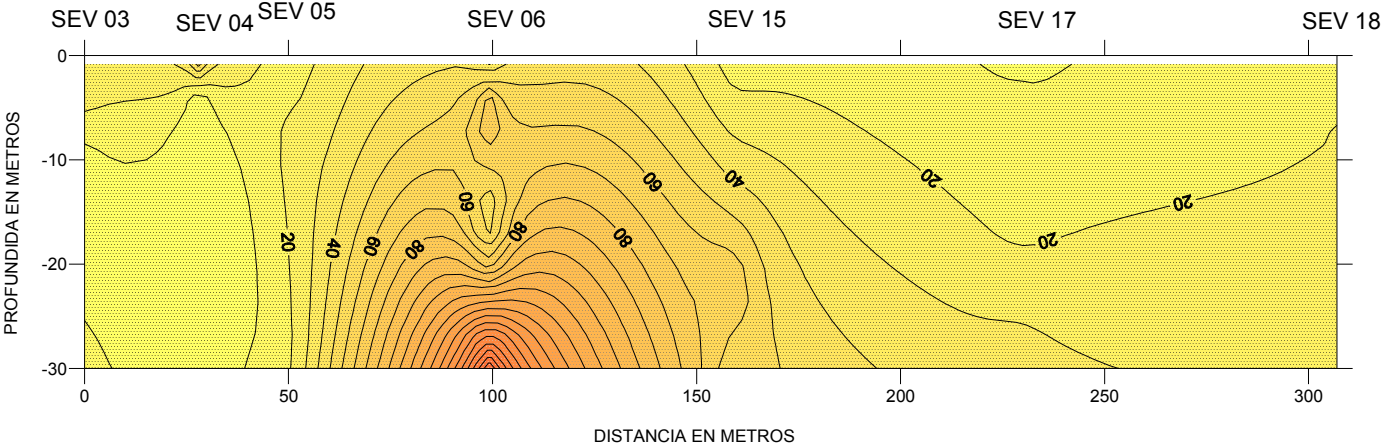


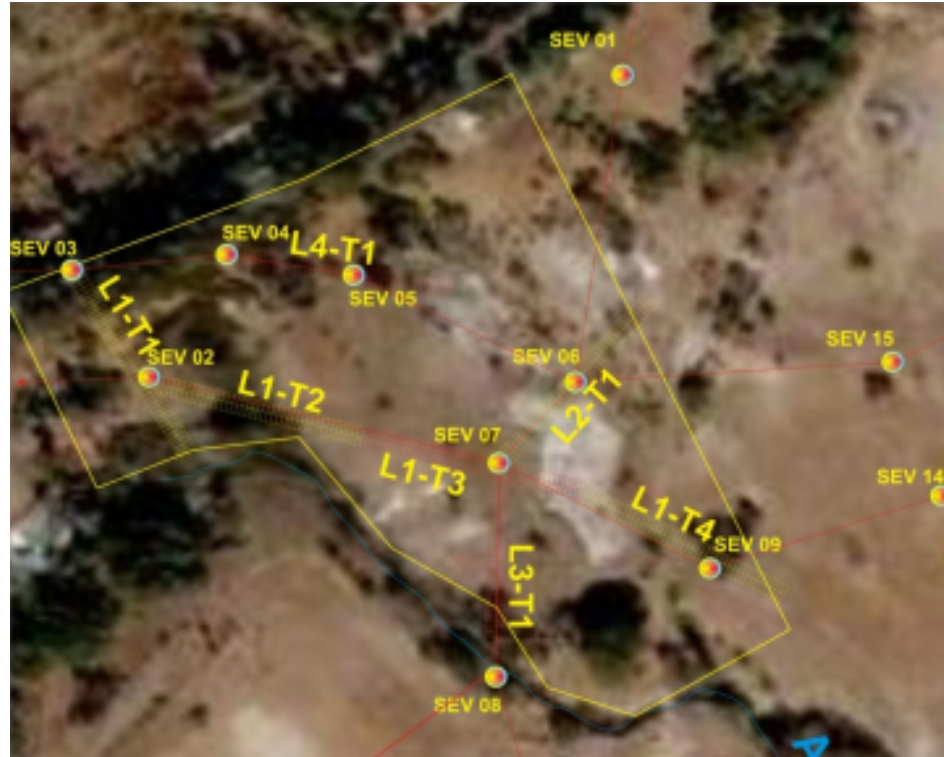
FIGURA 9. SECCION DE ISORRESISTIDAD REAL SEV'S 3 A 18



LOCALIZACION DE LOS TENDIDOS DIPOLARES



LOCALIZACION DE LOS TENDIDOS DIPOLARES (AMPLIACION)



ZONAS DE ANOMALIAS RESISTIVAS

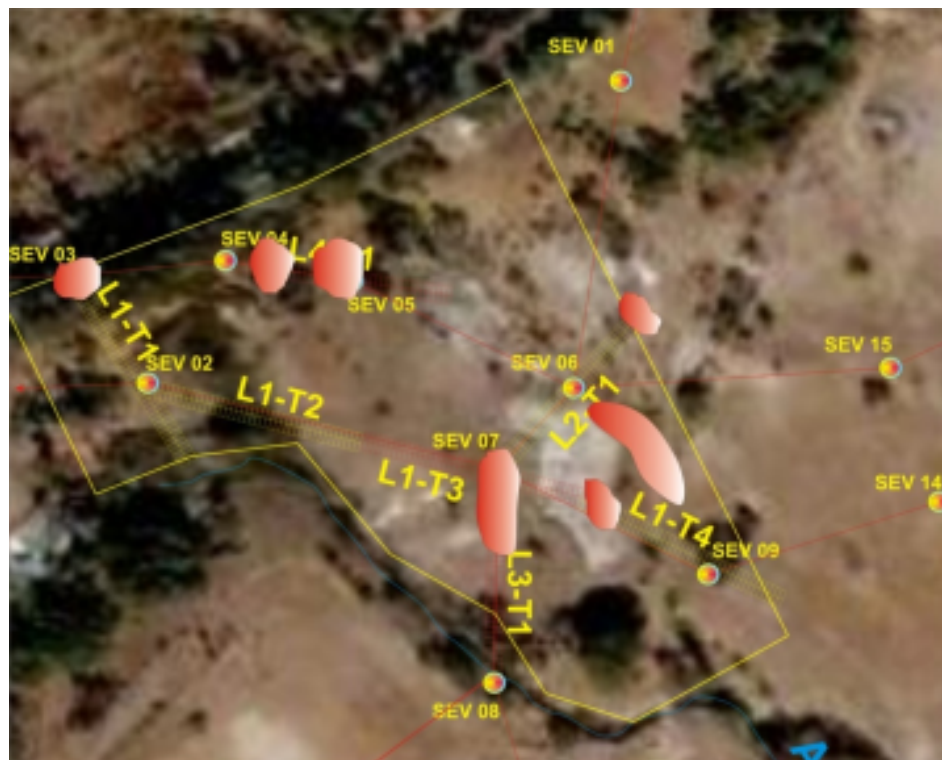


FIGURA 10. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 1 TENDIDOS 1 A 4

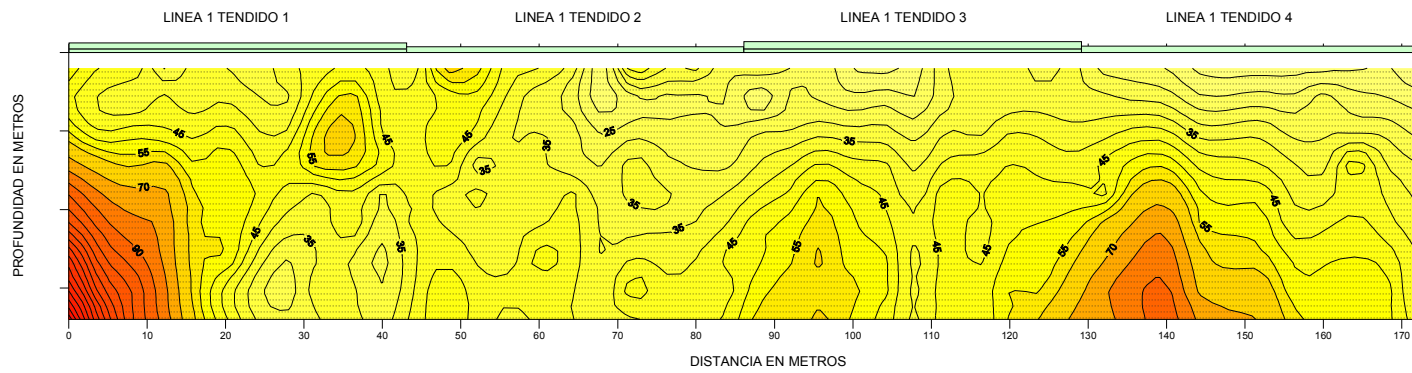


FIGURA 11. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 2 TENDIDO 1

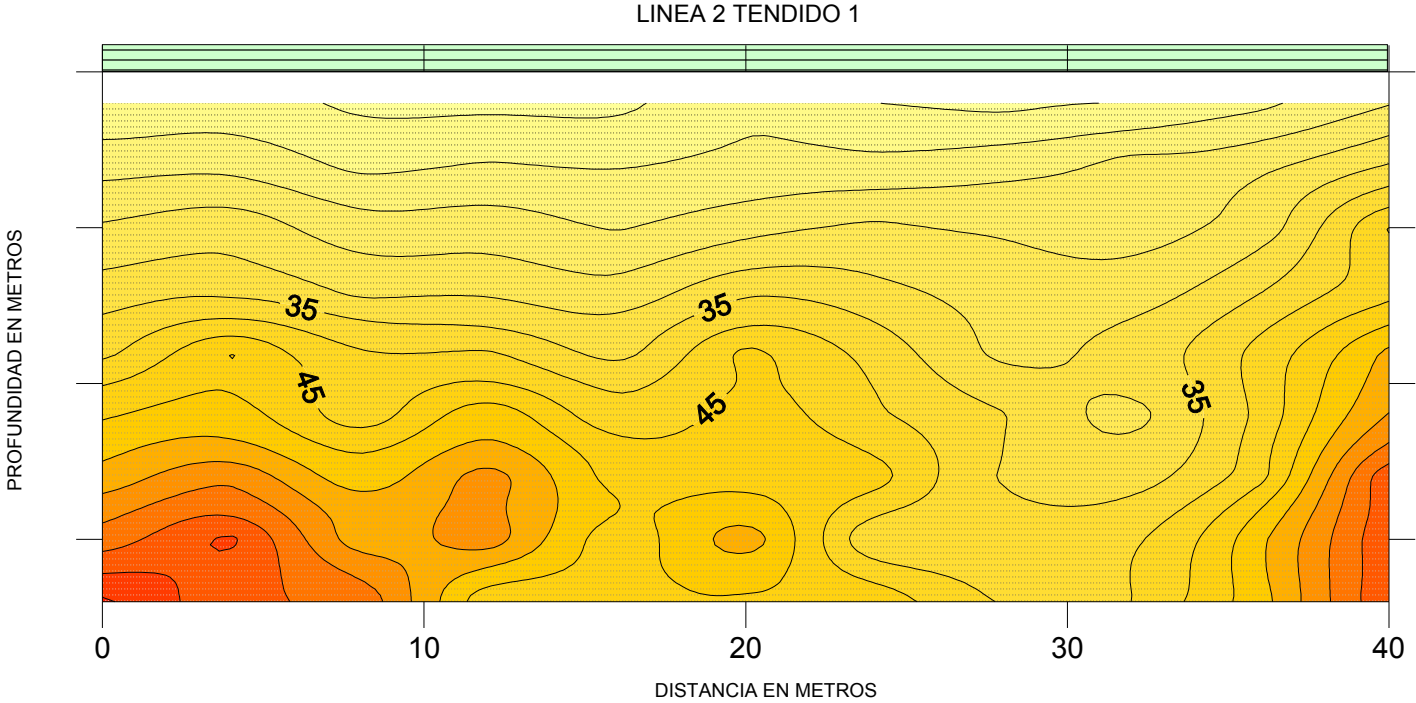


FIGURA 12. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 3 TENDIDO 1

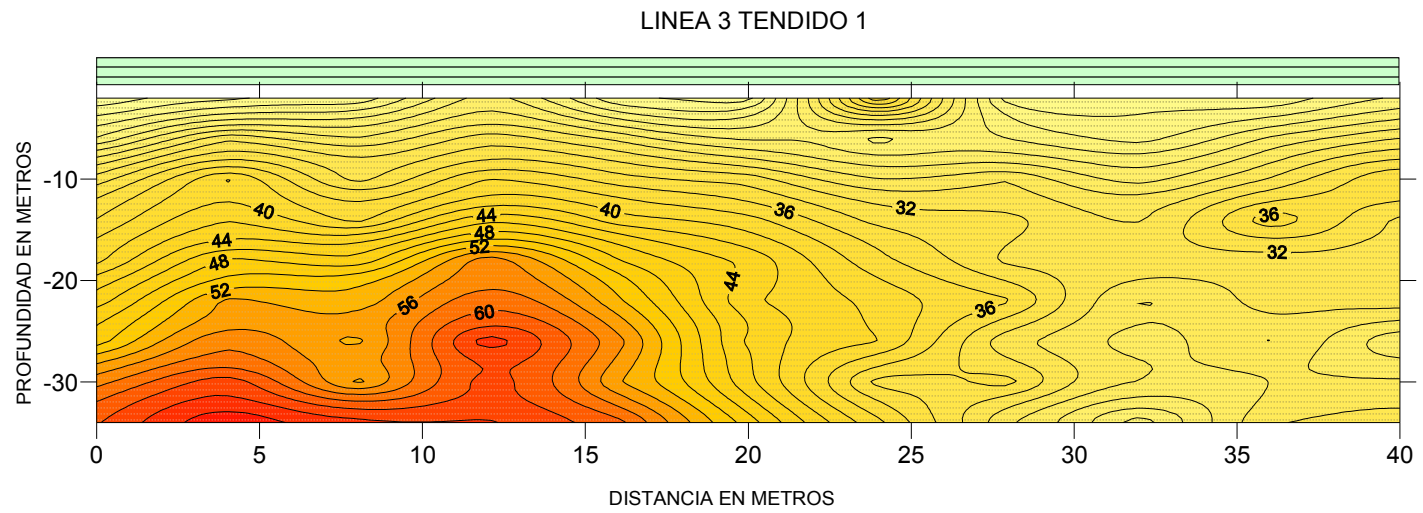
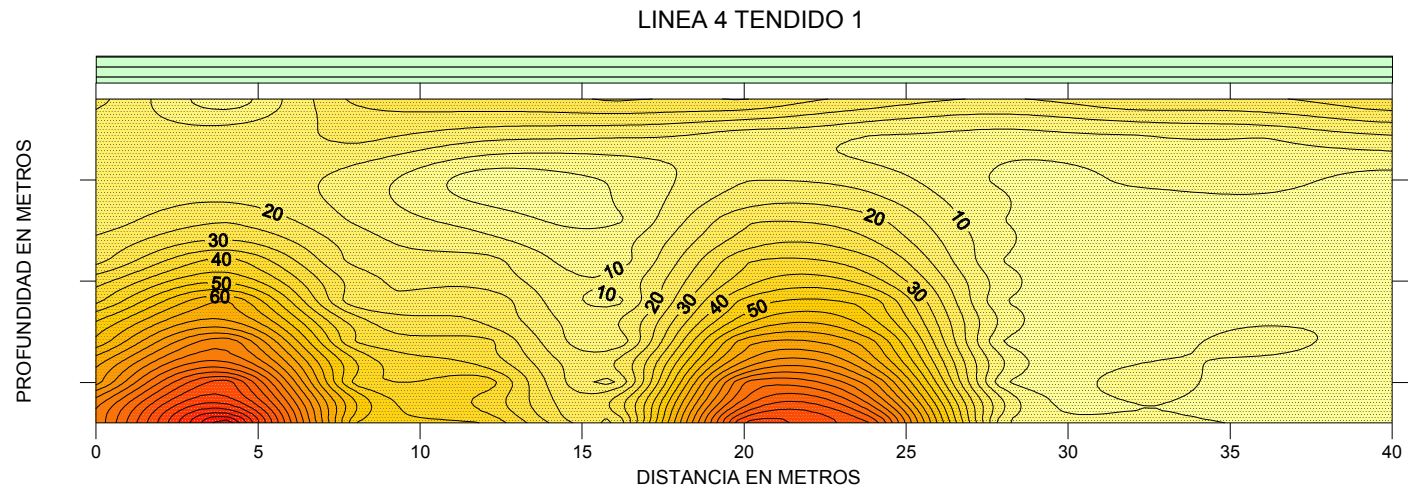
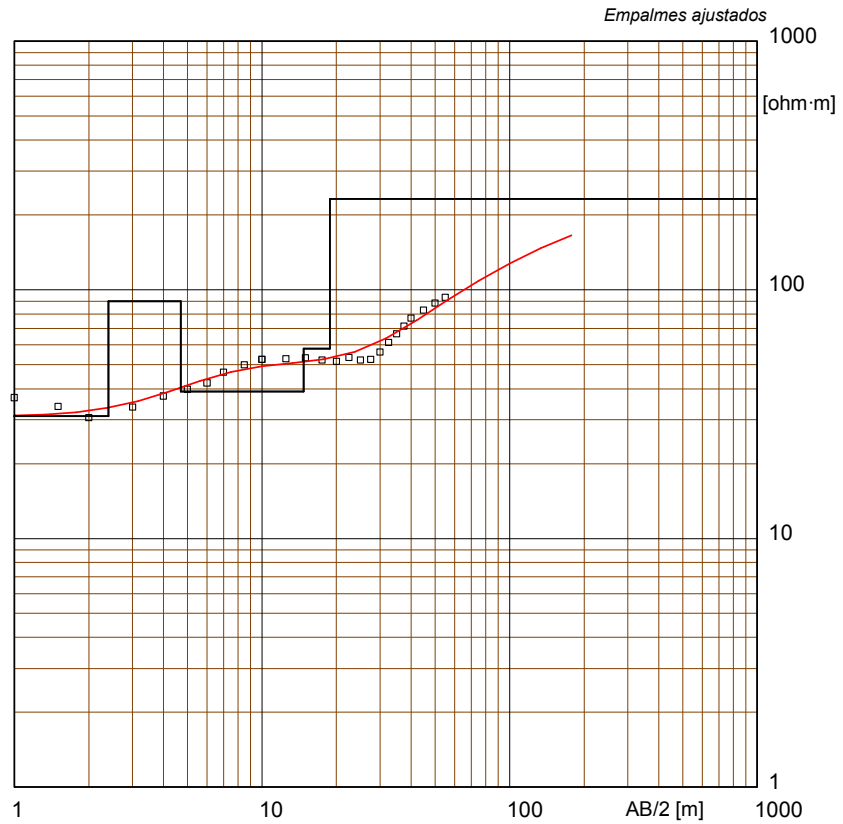


FIGURA 14. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 4 TENDIDO 1



Sondeo electrico Schlumberger - SEV 06 Zona Esmeralda.WS3

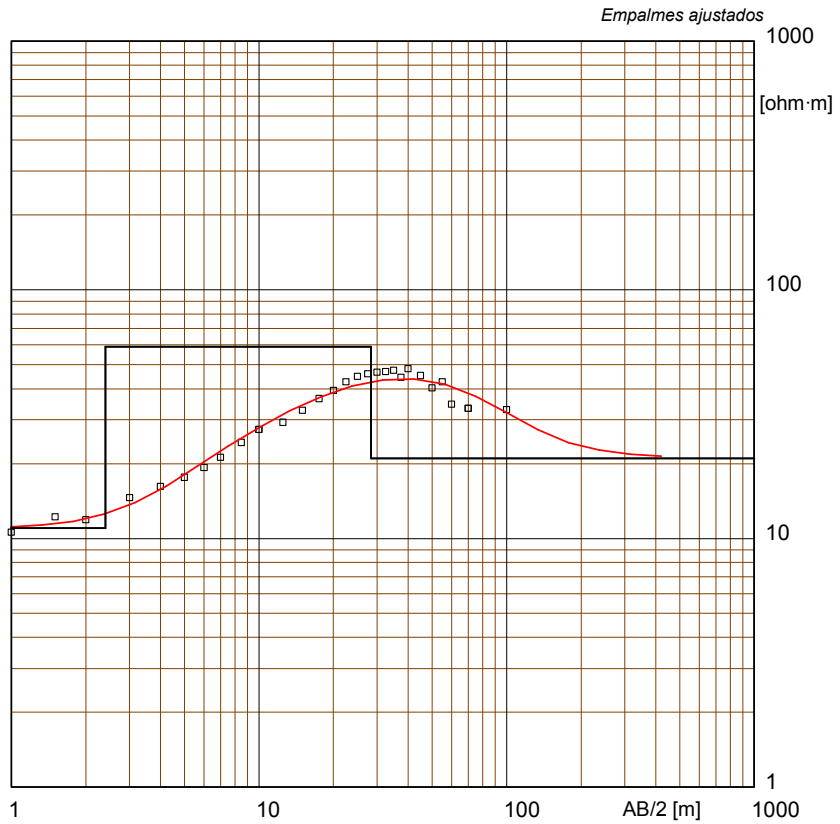


Ubicacion del SEV X = 0469176 Y = 2163702

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
31	2.4	
90	2.3	2.4
39	10	4.7
58	4.1	15
232		19

W-GeoSoft / WinSev 6

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 08 Zona Esmeralda.WS3

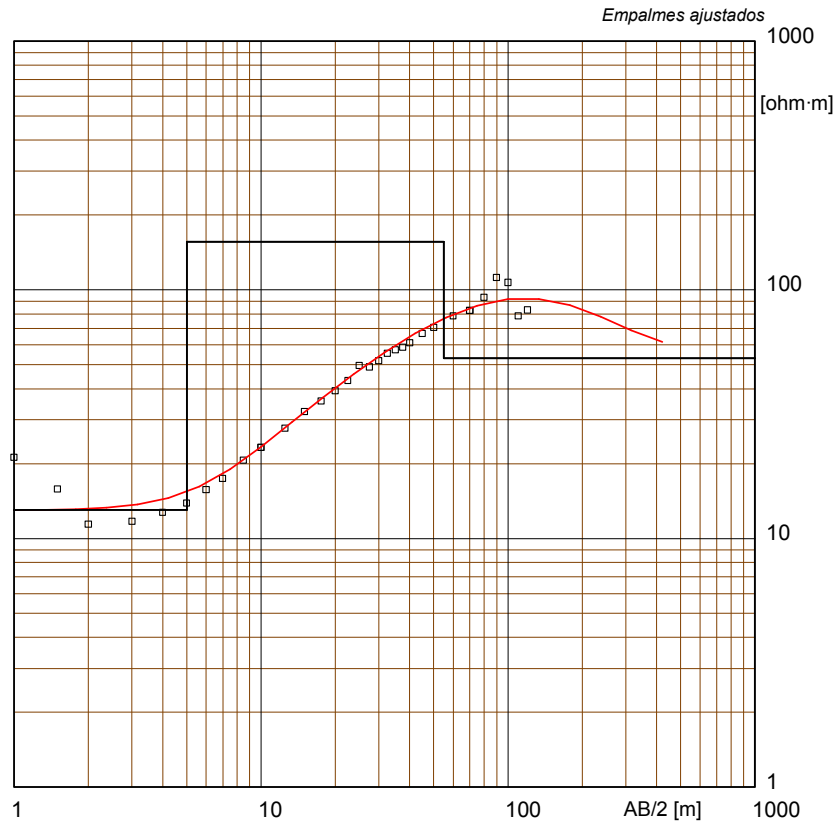


Ubicacion del SEV X = 0469161 Y = 2163646

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
11	2.4	
59	26	2.4
21		28

SEV 08 Zona Esmeralda

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 09 Zona Esmeralda.WS3



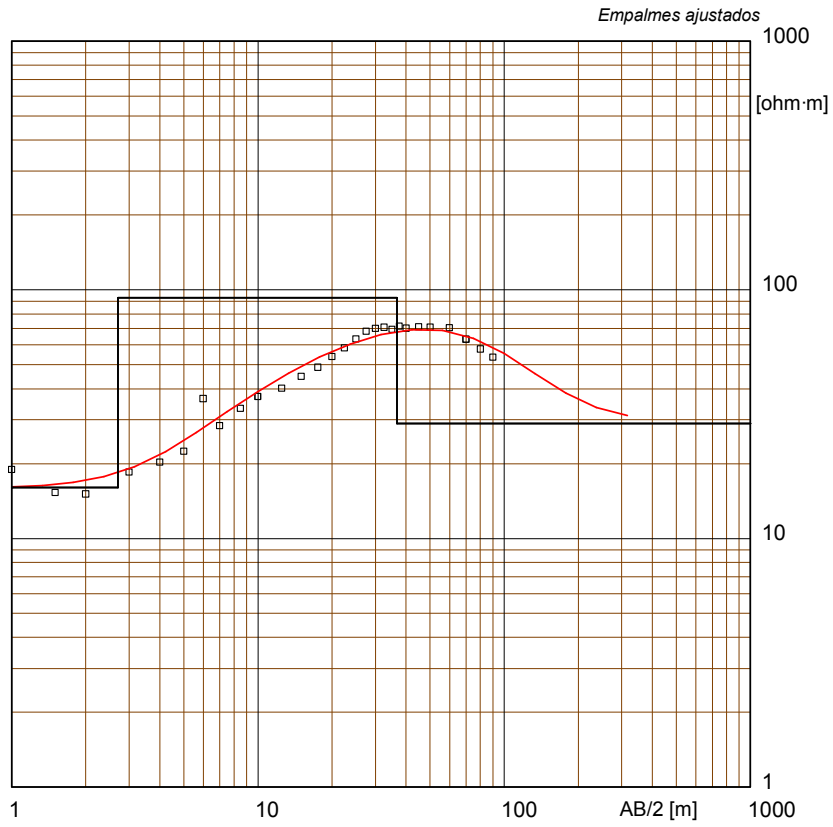
Ubicacion del SEV X = 0469202 Y = 2163665

Modelo

Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
13	5	
156	50	5
53		55

SEV 09 Zona Esmeralda

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 10 Zona Esmeralda.WS3



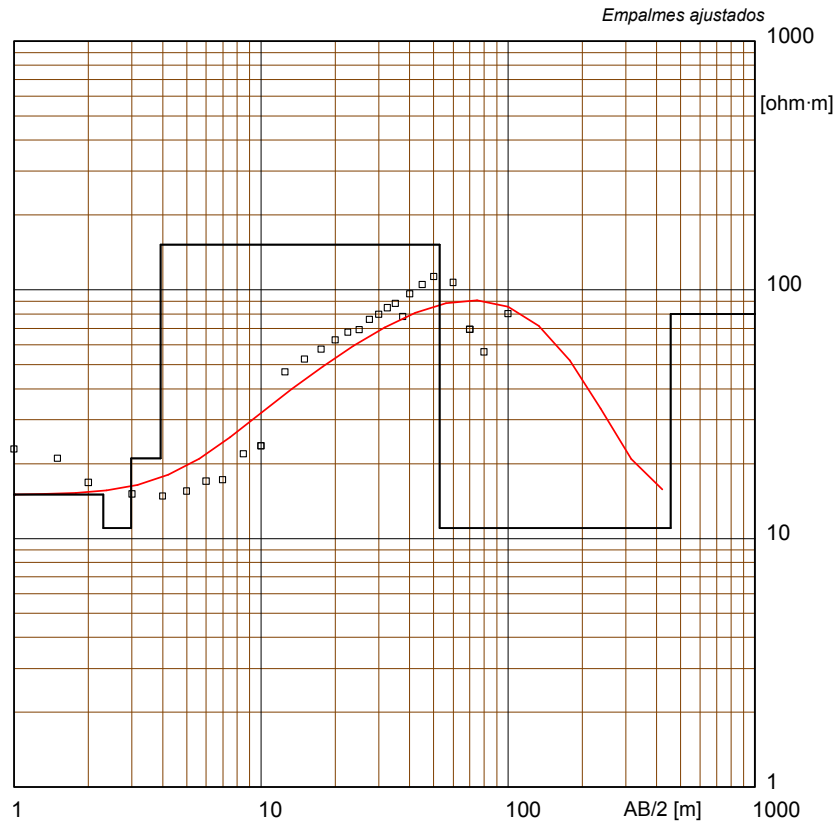
Ubicacion del SEV X = 0469113 Y = 2163611

Modelo

Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
16	2.7	
93	34	2.7
29		37

SEV 10 Zona Esmeralda

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 11 Zona Esmeralda.WS3

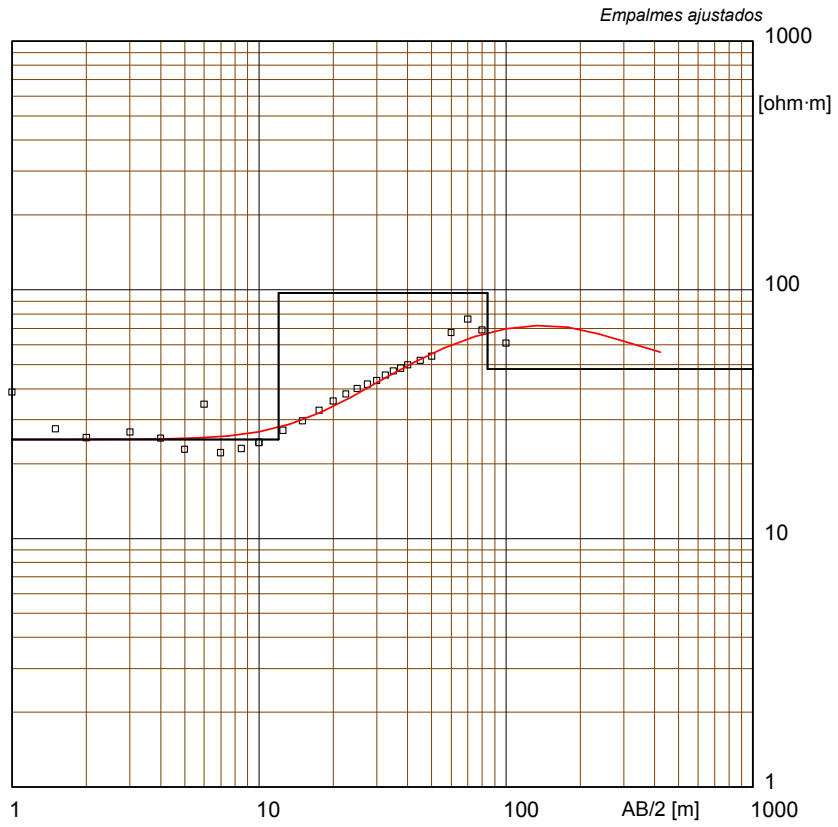


Ubicacion del SEV X = 0469121 Y = 2163558

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
15	2.3	
11	.68	2.3
21	.94	3
152	49	3.9
11	403	53

W-GeoSoft / WinSev 6

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 12 Zona Esmeralda.WS3



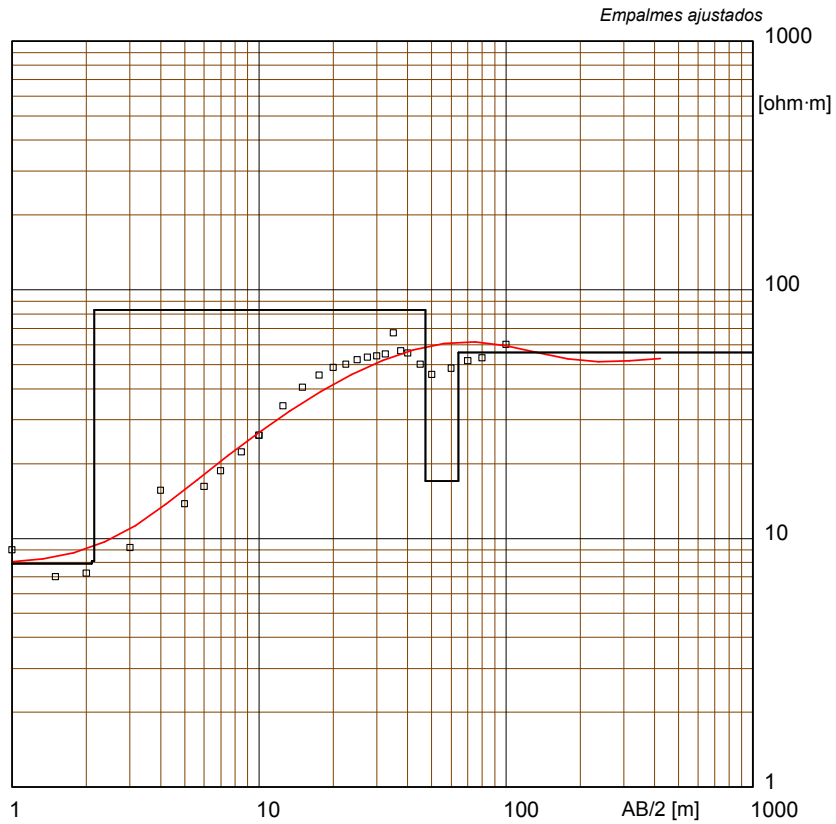
Ubicacion del SEV X = 0469158 Y = 2163525

Modelo

Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
25	12	
97	72	12
48		84

SEV 12 Zona Esmeralda

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 13 Zona Esmeralda.WS3

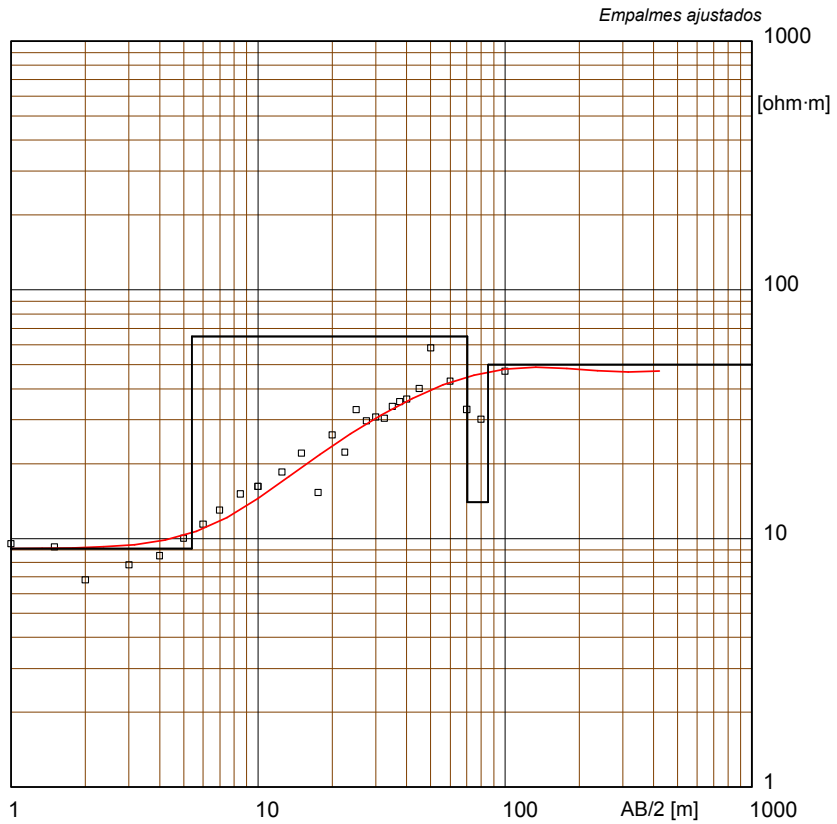


Ubicacion del SEV X = 0469179 Y = 2163583

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
7.9	2.1	
8.1	.05	2.1
83	45	2.2
17	17	47
56		64

W-GeoSoft / WinSev 6

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 14 Zona Esmeralda.WS3

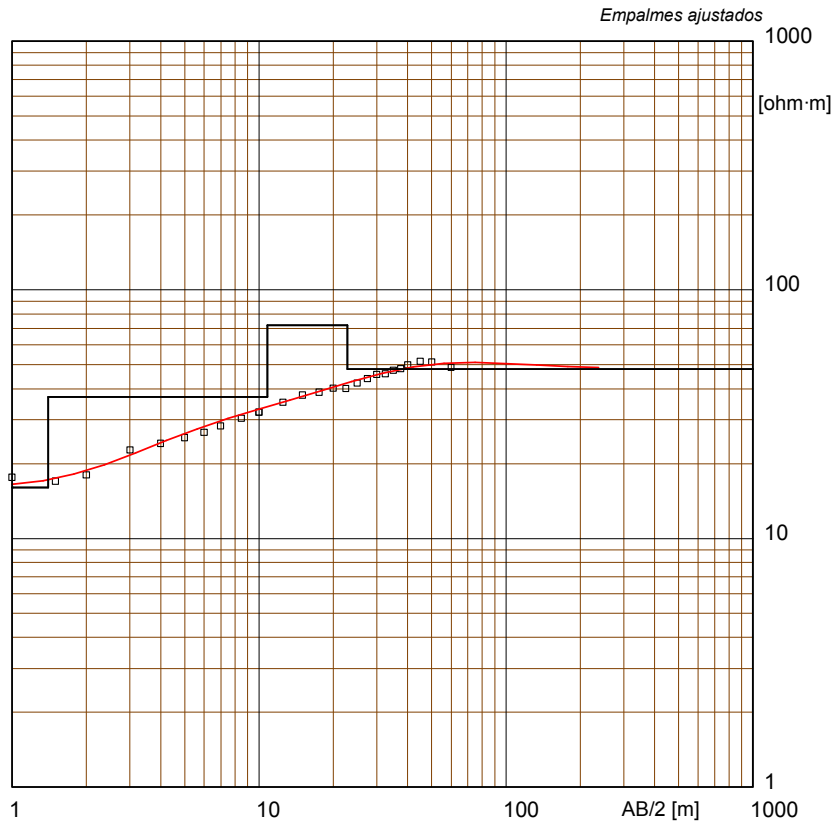


Ubicacion del SEV X = 0469247 Y = 2163680

Modelo

Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
9.1	5.4	
65	65	5.4
14	15	70
50		85

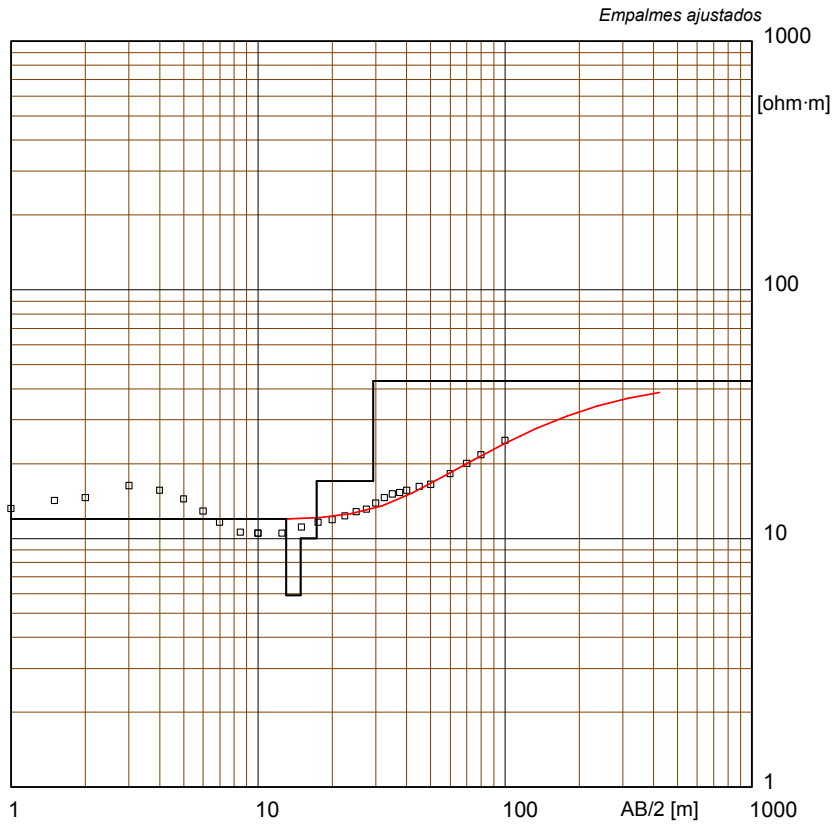
Sondeo electrico Schlumberger - SEV 15 Zona Esmeralda.WS3



Ubicacion del SEV X = 0469236 Y = 2163706

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
16	1.4	
37	9.4	1.4
72	12	11
48		23

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 16 Zona Esmeralda.WS3

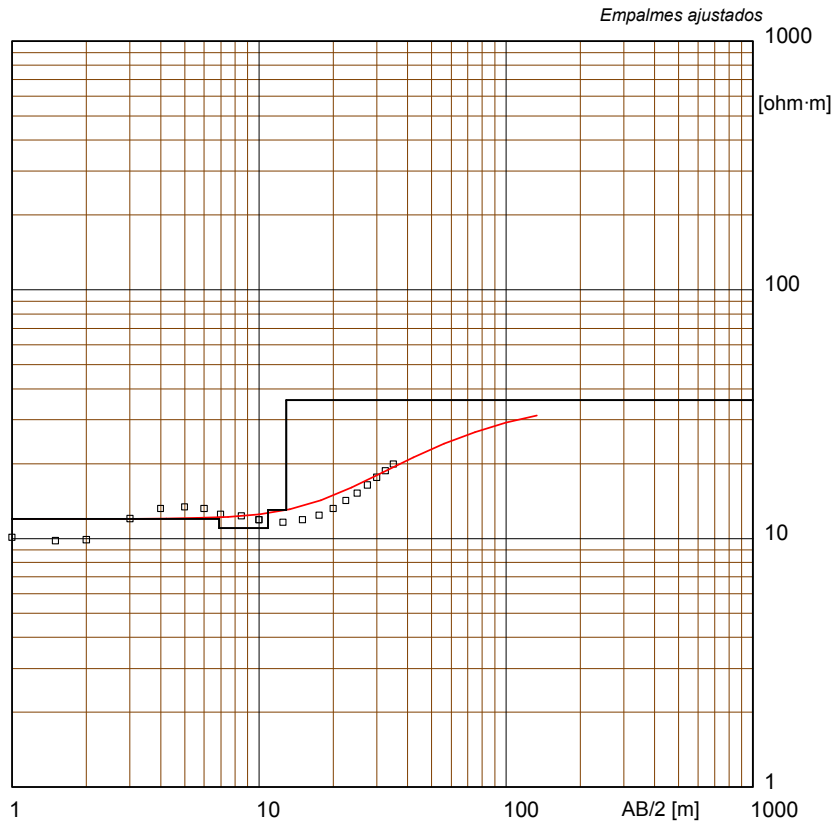


Ubicacion del SEV X = 0469319 Y = 2163675

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
12	13	
5.9	1.9	13
10	2.4	15
17	12	17
43		29

W-GeoSoft / WinSev 6

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 17 Zona Esmeralda.WS3

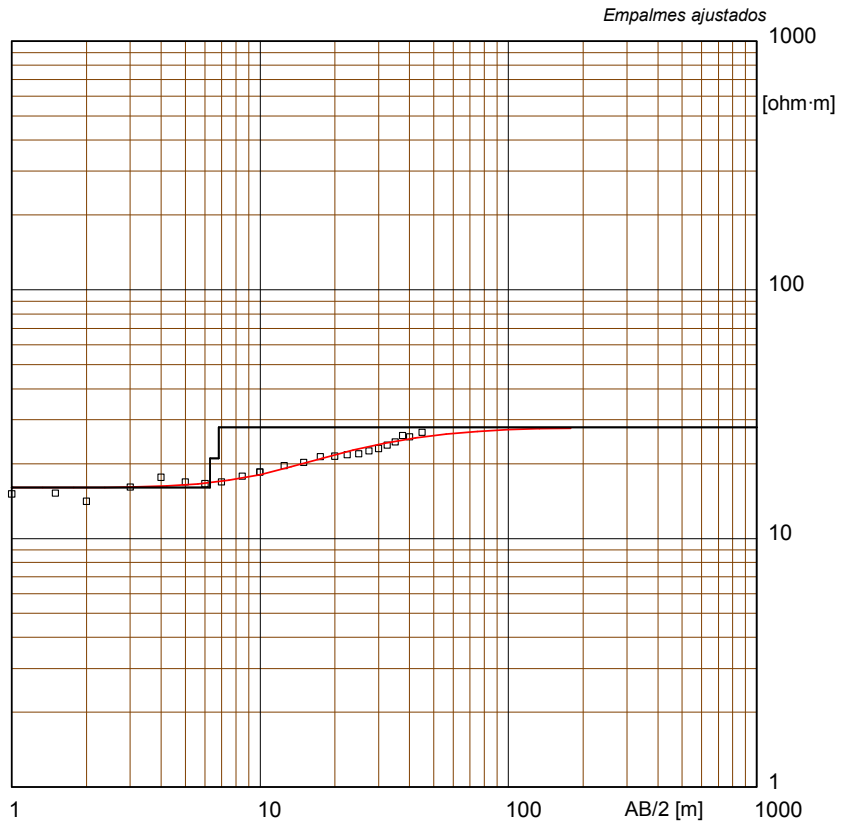


Ubicacion del SEV X = 0469299 Y = 2163734

Modelo

Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
12	6.9	
11	4	6.9
13	2	11
36		13

Sondeo electrico Schlumberger - SEV 18 Zona Esmeralda.WS3



Ubicacion del SEV X = 0469377 Y = 2163728

Modelo		
Resistividad	Espesor	Profundidad
[ohm·m]	[m]	[m]
16	6.3	
21	.51	6.3
28		6.8

SEV 18 Zona Esmeralda

ANEXO II

FIGURA AII.1. LOCALIZACION DE SONDEOS DE VERIFICACION.

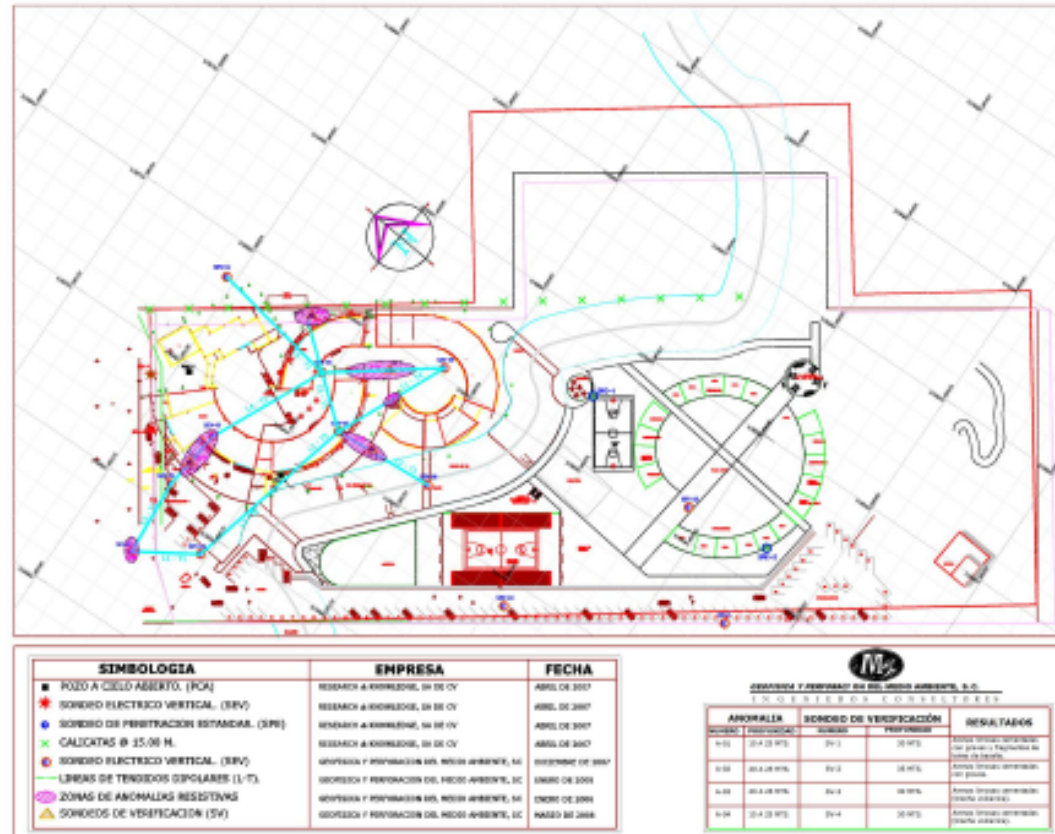


FIGURA AII.2. SONDEO DE VERIFICACION SV-1

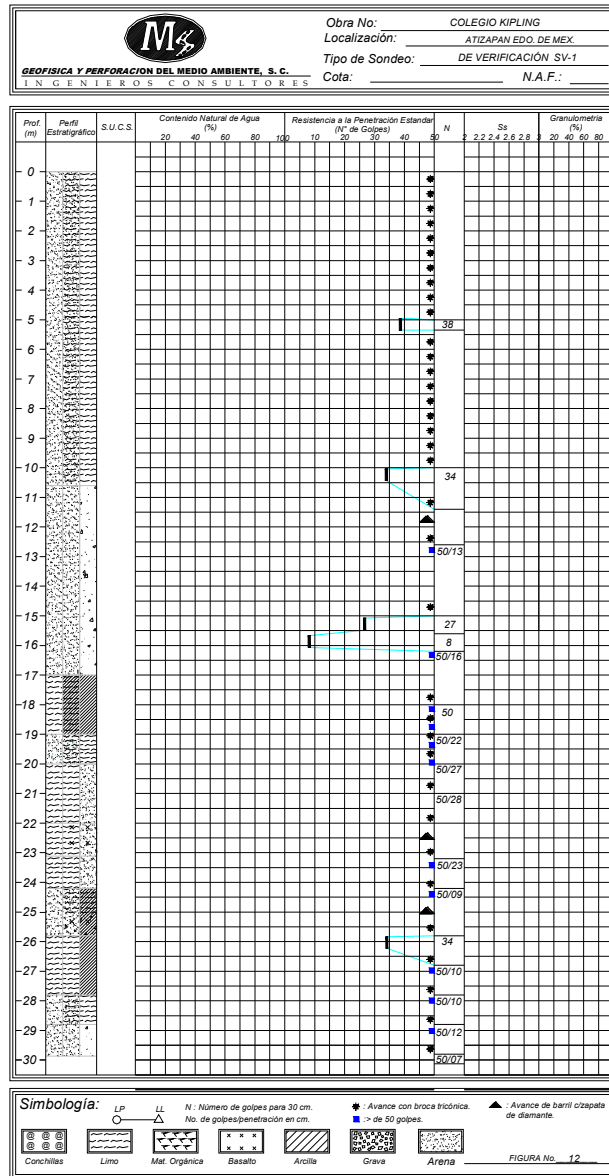


FIGURA AII.3. SONDEO DE VERIFICACION SV-2

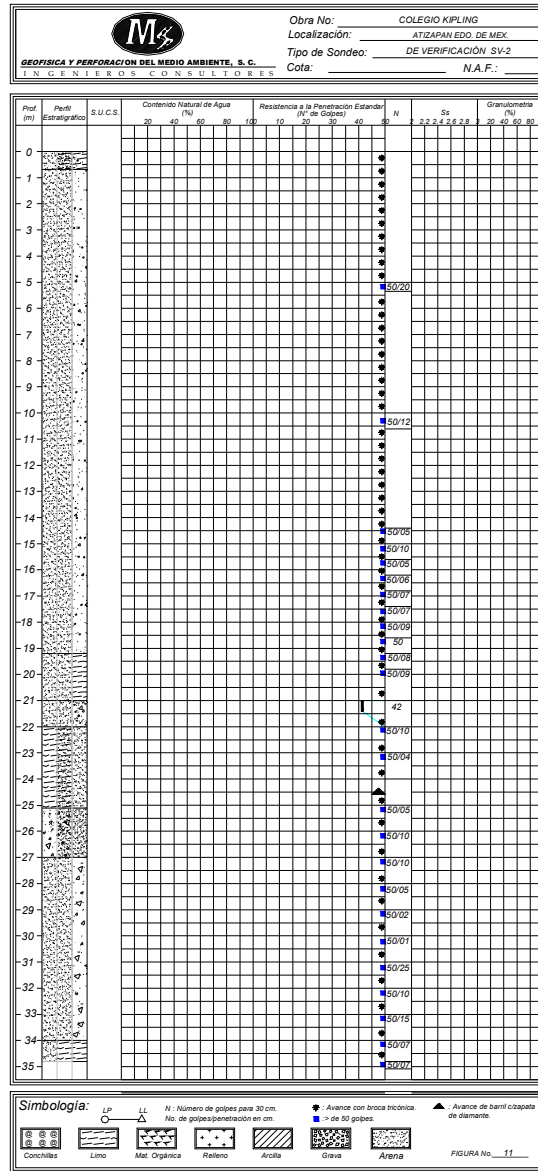


FIGURA AII.4. SONDEO DE VERIFICACION SV-3

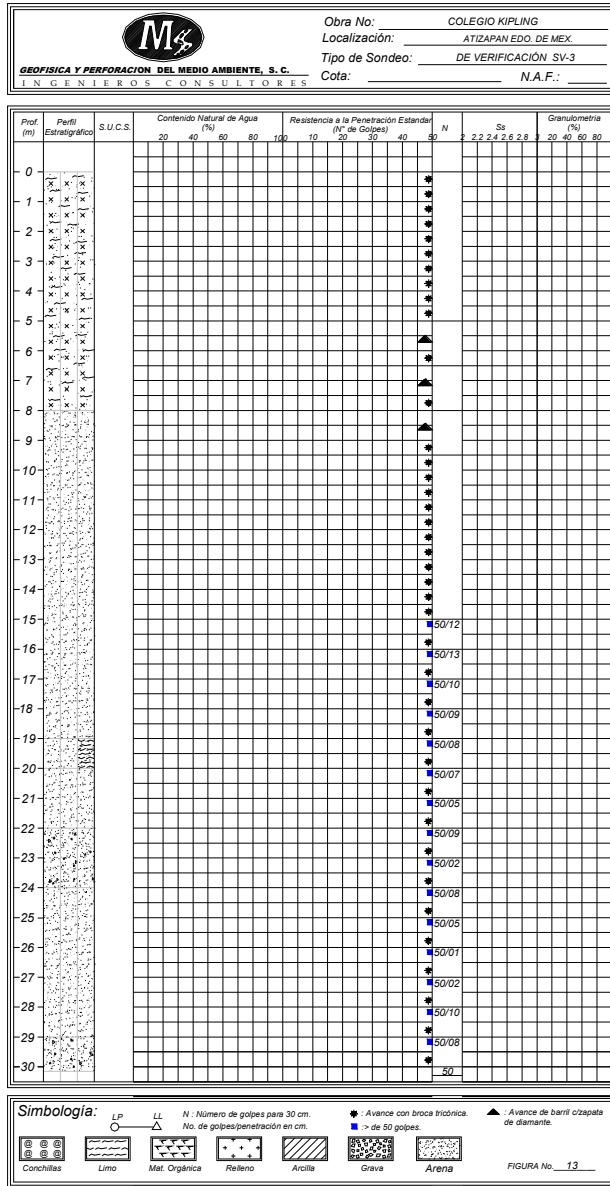


FIGURA AII.5. SONDEO DE VERIFICACION SV-4

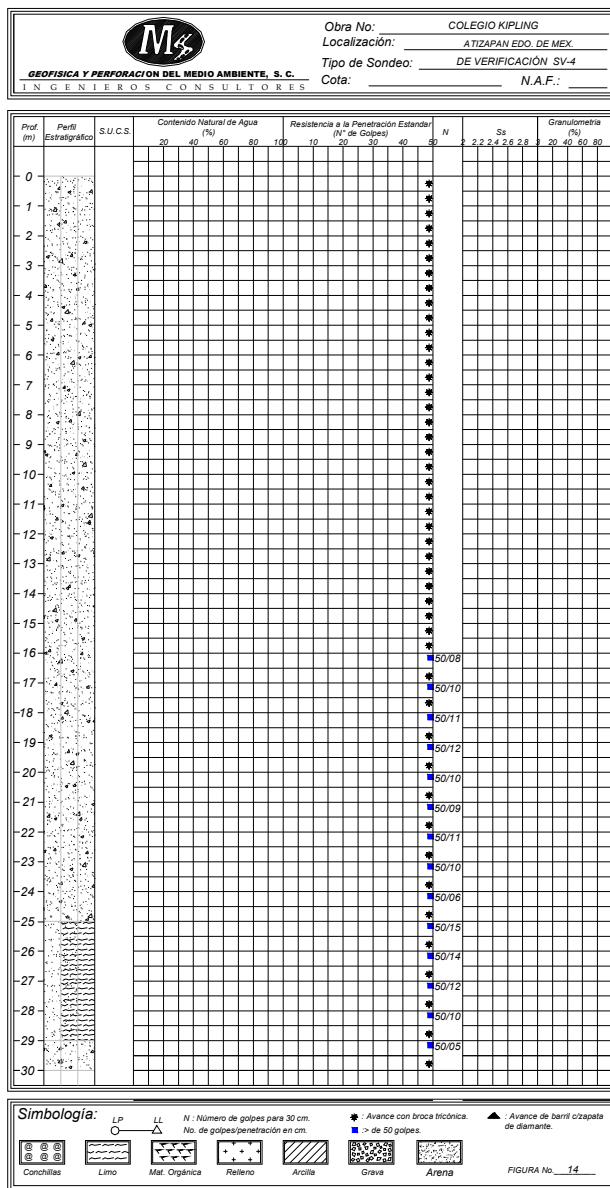


FIGURA AII.6. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 1 TENDIDOS 1 A 4

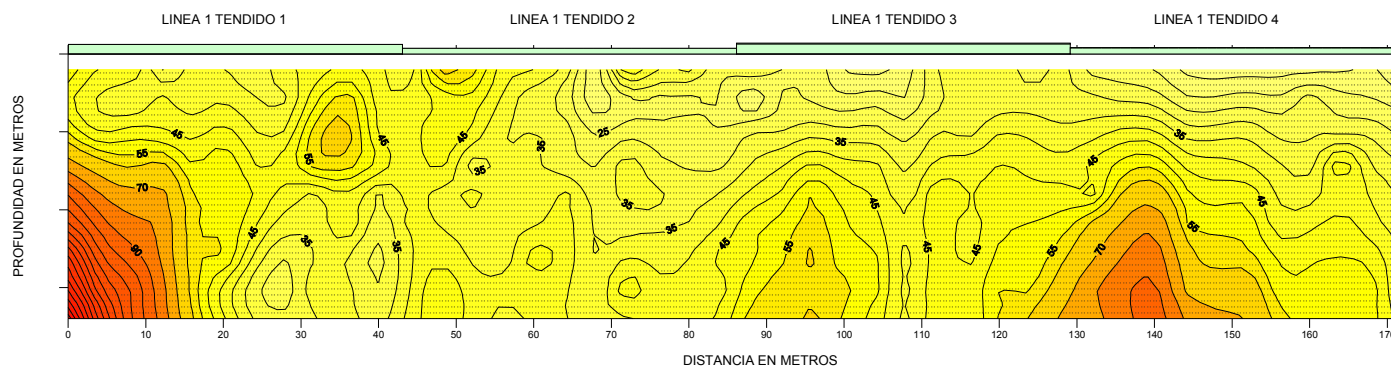


FIGURA AII.7. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 2 TENDIDO 1

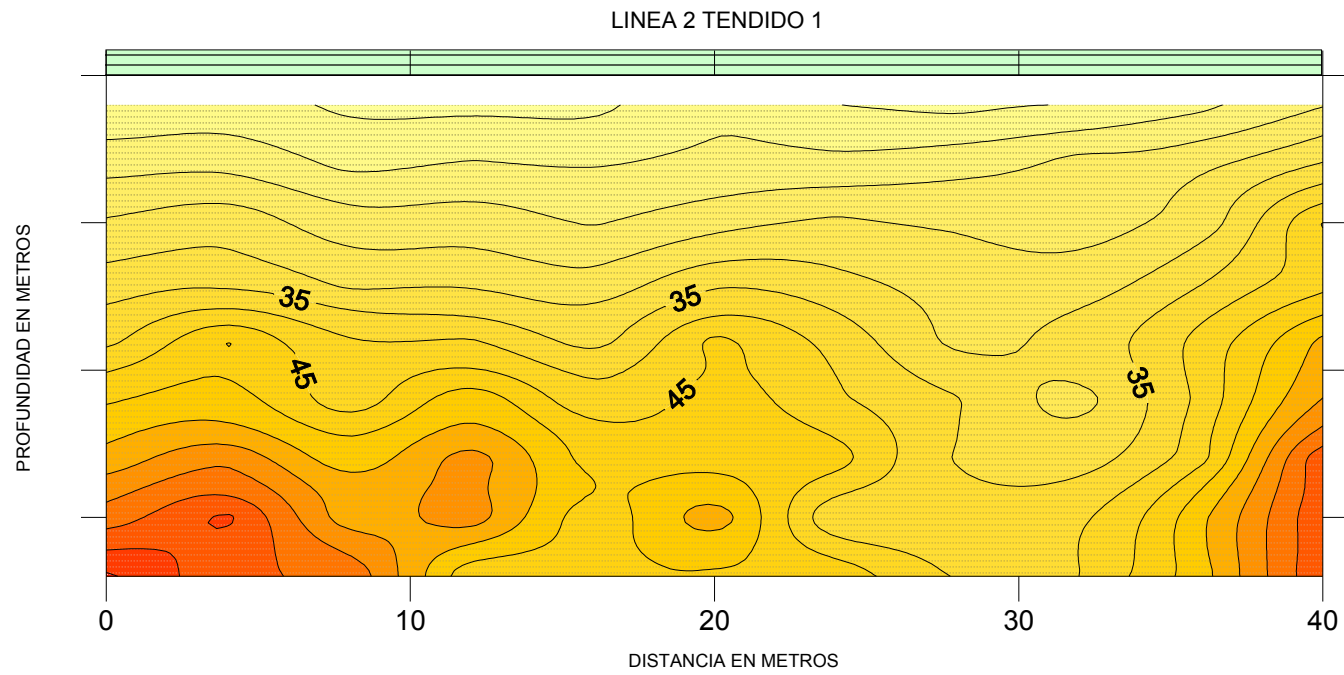


FIGURA AII.8. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 3 TENDIDO 1

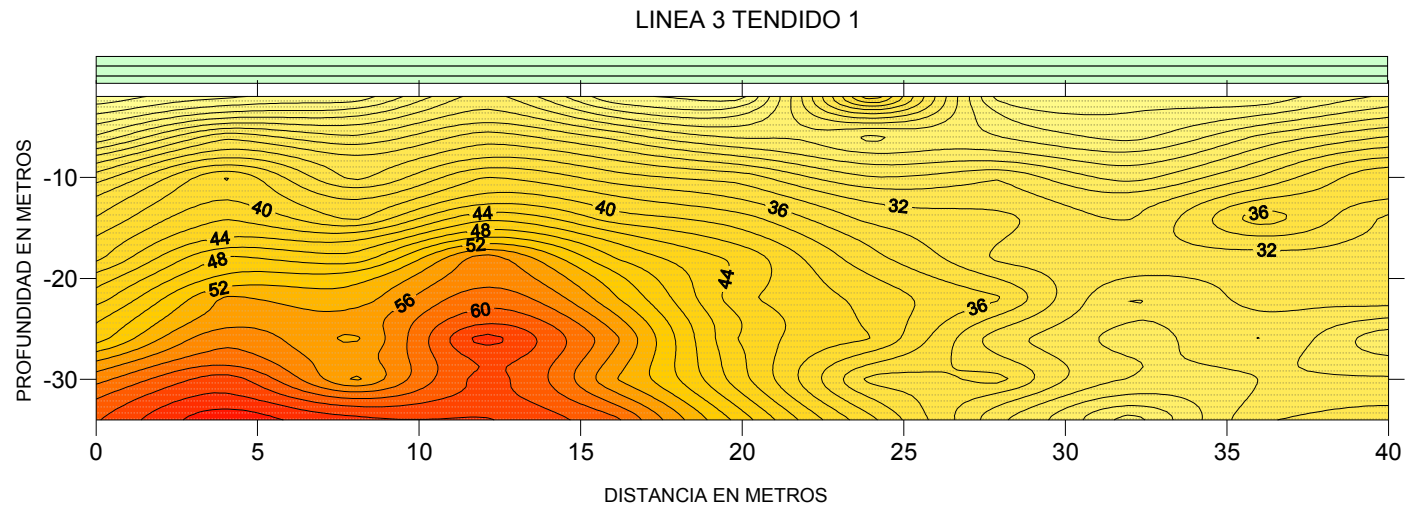
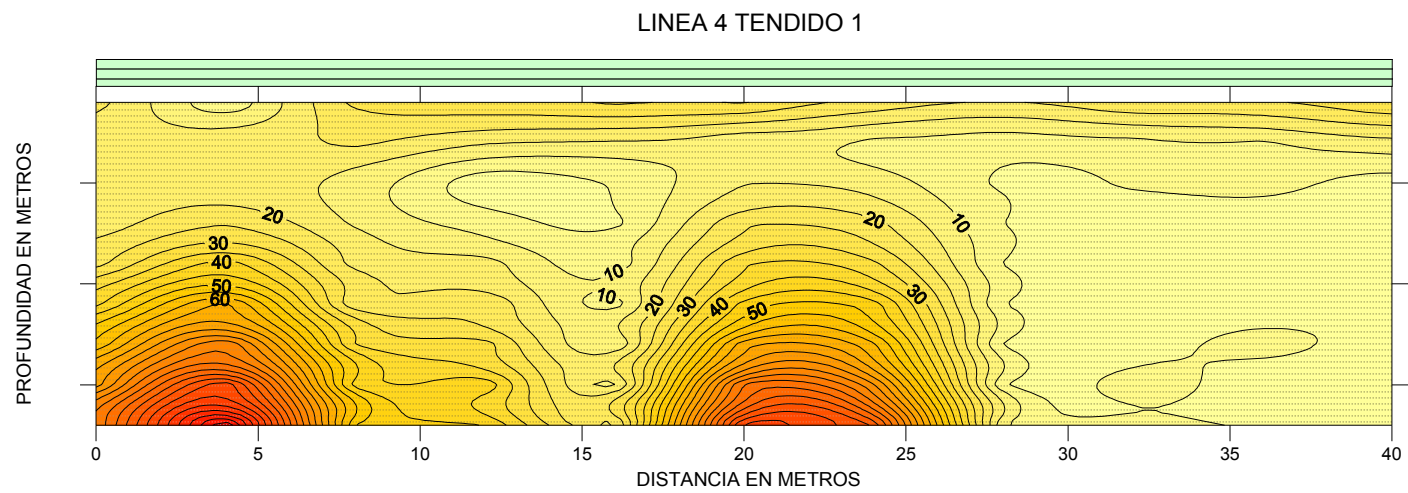


FIGURA AII.9. SECCION DE ISORRESISTIDAD APARENTE LINEA 4 TENDIDO 1



BIBLIOGRAFIA

1. *Araña Saavedra, Vicente (1974) Volcanismo, Ed. Istmo*
2. *Astier, Jean Louis (1982) Geofísica Aplicada a la Hidrogeología, Ed. Paraninfo, Madrid, España*
3. *López Ramos, E. (1981) Geología de México, tomo III 2da ed.*
4. *División Educación Continua, Fac. Ing. U.N.A.M. (1988) Apuntes Curso Hidráulica y Diseño de Pozos*
5. *Orellana, Ernesto (1982) Prospección Geoeléctrica en corriente continua, 2a Ed. Paraninfo, Madrid, España.*
6. *R.J. Padilla y Sánchez, V. V. González Pacheco y colaboradores (1989) Carta Tectónica de México, Rev. Geofísica Internacional, Vol. 28, Num. 5*
7. *Zohdy, Adel A.R. (1975) Automatic Interpretation of Schlumberger Sounding curves, using modified Dar Zarrouk Functions, U.S. Geol. Survey Bull. 1313-E.*
8. *Mecánica De Suelos, Juárez Badillo, Tomo 1*
9. *Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions. Leonardo Zeevaert. Van Nostrand R. C. Nueva York, 1973*
10. *Manual de diseño y construcción de pilas y pilotes S.M.M.S. México, D.F.*
11. *Manual de la C.F.E. México, D.F.*

12. *Soil Mechanics in Foundation Engineering. Vol. II. 2ª Edición. Z. Wilun and K. Starsewski. Surrey University Press, 1975.*
13. *Programa de computo GEOSTRU.*
14. *Estudios de Mecánica de Suelos, realizados, cercanos al predio, por Tecnocontrol.*
15. *Ingeniería de Cimentaciones, Limusa, Peck, Hanson.*
16. *Productivity Tools For Geotechnical Engineers Vol. I, Magellan Press, Chistian Urzua.*
17. *Mecánica de Suelos, Lambe, Limusa*
18. <http://www.cartesia.org/data/apuntes/cartografia/cartografia-datum.pdf>.
19. <http://es.wikipedia.org/wiki/Dacítico>.
20. *Diccionario Enciclopédico Larousse ED. 2001*
21. *Geofísica y perforaciones del medio ambiente, S.C. Autor: Rubén Gonzales de la Fuente, Ing. Gabriel Ruiz González, Año 2007.*