



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE GEOFÍSICA**

**“CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL
VOLUMEN DEL MATERIAL PRESENTE EN LOS
BANCOS 2 Y 3 DEL LLAMADO CERRO PRIETO EN EL
EJIDO DE BALZAPOTE, SAN ANDRÉS TUXTLA,
VERACRUZ, MEDIANTE LA TÉCNICA DE SONDEOS
ELÉCTRICOS VERTICALES.”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA GEOFÍSICA**

PRESENTA:

MIRELLY DE JESUS CIRILO

ASESOR:

M.C. JOSÉ SERRANO ORTIZ



PUEBLA, PUÉ.

SEPTIEMBRE 2016

RESUMEN de la tesis de **Mirelly de Jesus Cirilo**, presenta como requisito parcial para la obtención del grado de INGENIERO GEOFÍSICO. Puebla, Puebla. Agosto de 2016.

“CARACTERIZACIÓN Y DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DEL MATERIAL PRESENTE EN LOS BANCOS 2 Y 3 DEL LLAMADO “CERRO PRIETO” EN EL EJIDO DE BALZAPOTE, SAN ANDRÉS TUXTLA, VERACRUZ, MEDIANTE LA TÉCNICA DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.”

Resumen aprobado por:

M.C. José Serrano Ortiz
Asesor de Tesis

Se realizaron 25 Sondeos Eléctricos Verticales con un arreglo electródico Medio Schlumberger en los bancos 2 y 3 del llamado Cerro Prieto en el ejido de Balzapote, San Andrés Tuxtla, Veracruz.

En el procesamiento se realizó el ajuste de curvas con el fin de conocer los cambios de resistividad y poder asociarlos a una unidad geológica, se determinaron 35 secciones geoeléctricas que fueron interpoladas para conocer la distribución de las resistividades.

Para el cálculo de volumen se realizaron 4 cubos resistivos, con el fin de tener una perspectiva 3D y de manera indirecta obtener el volumen aproximado de los materiales presente en la zona de estudio.

DEDICATORIAS

Este logro se lo dedico a MIS PADRES Y HERMANO

por creer mí y por todo el apoyo incondicional.

A la persona que estuvo conmigo en

mis últimos años, a ti JUAN GERARDO

A JOSÉ SERRANO ORTIZ

por enseñarme amar a la Geofísica

También a todas las personas que

confiaron y están orgullosos de mí.

AGRADECIMIENTOS

En letras es difícil expresar lo que se siente cuando se llega a una meta. Por un instante miras atrás y recuerdas los obstáculos y a las personas que indirecta o directamente ayudaron a cumplirlo, por lo tanto agradezco:

A mis padres:

Por todo el apoyo incondicional, los consejos, las enseñanzas y sobre todo la paciencia de cada uno de mis errores, sin ustedes no hubiera llegado a la meta. Son una parte del motor de mi vida.

A mi hermano:

Por estar conmigo en las buenas y en las malas, por las enseñanzas y las risas. Gracias por hacer felices mis días cuando yo me encuentro apagada.

A mi familia:

Por cada uno de los consejos, por el cariño y las porras para animarme a cumplir esta meta. Familia Cirilo gracias por estar ahí cuando sentí que mi mundo se derrumbaba. Tío Fernando estoy agradecida por el apoyo que me brindaste en el trascurso de mi vida estudiantil, por esos consejos de ser un profesionista. José Manuel gracias por las pláticas y consejos del mundo de la geofísica. Wendy (inolvidable el día que me acompañaste a ver los resultados de la universidad). Miriam no podremos ser familia de sangre pero sabes que te quiero como una hermana, gracias por todo el apoyo y cariño que me has brindado. Gracias Familia De Jesus y Cirilo.

A mis padrinos y amigos grandes:

Por sus consejos, los ánimos y por creer en mí, por estar al pendiente de cada logro y compartir juntos esa felicidad. Padrino Marco Antonio Cuaxiloa Q.E.P.D sé que desde donde estas te sientes orgulloso de que tu ahijada haya culminado esta meta.

A mis compañeros geofísicos y amigos:

Por cada una de las experiencias que viví en clases y fuera de ellas, por las risas, los chistes malos y buenos, consejos y apoyo. Agradezco especialmente a mis amigos geofísicos Silvia, Karlita, Felipe, Gabriela por estar conmigo en las buenas y en las malas, por compartir preocupaciones y tristezas tanto personales como académicas. Agradezco a mis amigos Luis y Lety por las diversas pláticas, las cenas, consejos y apoyo que me han brindado en estos pocos años de habernos conocido.

A mi asesor:

Gracias José Serrano por los consejos, paciencia, conocimientos y apoyo que me brindaste para la realización de la tesis, pero sobre todo gracias por enseñarme a ver a la geofísica de otra manera, por enseñarme a creer en mí y derrotar a esos demonios internos, en decir SI puedo cuando en ocasiones me creía menos. Gracias por la confianza ya que más que un maestro o compañero de trabajo eres un amigo.

Al cuerpo de Sinodales:

Por el apoyo y sugerencias para la culminación de mi estancia universitaria.

Al cuerpo de maestros:

Por sus enseñanzas, puntos de vista y en ocasiones orientación durante mi estancia en la Facultad de Ingeniería de la BUAP.

Por ultimo agradezco a Dios y a la virgen de Guadalupe que puso en mi camino a cada una de las personas que me acompañaron y me acompañan hasta el día de hoy. Cada historia tiene un final, un capitulo acaba de terminar y otro a de comenzar.

CONTENIDO

RESUMEN.....	I
DEDICATORIAS.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS	XII
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 OBJETIVOS	2
I.1.1 General.....	2
I.1.2. Específicos.....	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
II.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS	3
II.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
II.2.1. Resistividad Eléctrica	4
II.2.2. Resistividad Aparente	7
II.2.3. Profundidad De Investigación.....	7
II.3. PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LOS MATERIALES - RESISTIVIDAD DE LOS MINERALES Y ROCA	8
II.4. SEV - SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)	11
II.5. DISPOSITIVOS GEOELÉCTRICOS.....	13
II.5.1. Dispositivo Schlumberger.....	14
II.5.2. Dispositivo Wenner.....	14
II.5.3. Dispositivo Dipolo-Dipolo	15
II.5.4. Dispositivo Medio Schlumberger	16
CAPÍTULO III.....	17
ZONA DE ESTUDIO	17
III.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	17
III.3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS.....	18
III.3.1. Marco Vulcanológico.....	18
III.3.2. Geología Local	19

CAPITULO IV	21
METODOLOGÍA	21
IV.1. EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN OCUPADA.....	21
IV.2. PROGRAMAS	23
<i>IV.2.1. IPI2win</i>	<i>23</i>
<i>IV.2.2. Voxler 3</i>	<i>23</i>
<i>IV.2.3. Stratter</i>	<i>25</i>
IV.3. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	25
IV.4. ADQUISICIÓN DE DATOS	26
IV.5 PROCESAMIENTO	32
CAPÍTULO V.....	33
RESULTADOS.....	33
V.1. RESULTADOS DEL AJUSTE DE CURVAS	33
<i>V.1.1. Zona Alta.....</i>	<i>33</i>
<i>V.1.2. Zona Media</i>	<i>35</i>
<i>V.1.3. Zona Baja.....</i>	<i>36</i>
V.2. INTERPRETACIÓN	37
<i>V.2.1. Secciones Geoeléctricas</i>	<i>37</i>
<i>V.2.2. Secciones Geológicas</i>	<i>67</i>
V.3. MODELO VOLUMÉTRICO	81
<i>V.3.1. Correlación De Las Secciones Geoelécticas.....</i>	<i>81</i>
<i>V.3.2. Interpolación De Las Secciones Geoeléctricas.....</i>	<i>88</i>
<i>V.3.3. Cálculo De Volumen.....</i>	<i>95</i>
CAPÍTULO VI.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
VI.1. CONCLUSIONES.....	97
VI.2. RECOMENDACIONES.....	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS	99
ANEXOS 1	101
CURVAS DE RESISTIVIDAD DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.....	101
ANEXOS 2	109
MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	109

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1. A) Bloque Homogéneo A Través Del Cual Circula Una Corriente De Intensidad I . La Resistencia Del Material R Produce Una Diferencia De Potencial V Entre Las Caras Del Prisma. B) Circuito Eléctrico Equivalente Donde R Es Una Resistencia. (Dr. Miguel Auge, 2008) - - - - -	5
Figura 2. Cilindro Con Longitud L Y Sección S (Ecuación De La Resistencia Que Opone Un Cuerpo Cilíndrico Al Paso De La Corriente Eléctrica) (Perdomo 2009) - - - - -	5
Figura 3. Principio De Medición De La Resistividad Del Suelo, Se Inyecta Una Corriente I Entre Los Electrodo AB Y Se Miden El Potencial ΔV Entre Los Electrodo MN (Díaz Anaya 2010) -	6
Figura 4. La Corriente Inyectada En Los Electrodo C1 Y C2 Circula Por El Subsuelo, Al Encontrarse Con Capas Conductivas Subyacentes Al Objetivo, Está Se Desviara Sin Llegar Al Punto Requerido. Al Aumentar La Separación Entre Electrodo Se Lograra Mayor Penetración De La Corriente Y Así Llegar A La Capa Objetivo (Perdomo 2009) - - - - -	7
Figura 5. Esquema De Un SEV, La Profundidad De Investigación Aumenta Al Pasar De AB a A'B' y a A''B'' (Sánchez San Román) - - - - -	11
Figura 6. Ejemplo De Curva De Resistividad. (www.monografias.com) - - - - -	12
Figura 7. Curva De Resistividad Aparente Del Corte Geoelectrico Con 5 Resistividades y 4 Espesores (Sánchez San Román) - - - - -	13
Figura 8. Dispositivo Schlumberger - - - - -	14
Figura 9. Dispositivo Wenner - - - - -	15
Figura 10. Dispositivo Dipolo-dipolo - - - - -	15
Figura 11. Dispositivo Medio Schlumberger - - - - -	16
Figura 12. Ubicación Geográfica De La Zona De Estudio - - - - -	17
Figura 13. Localización Del Área De Estudio - - - - -	18
Figura 14. Mapa Geológico De La Zona De Estudio (Modificada Del INEGI) - - - - -	20

Figura 15. Instrumental En Campo -----	22
Figura 16. Interfaz del Software IPI2win, (www.ingeocom.com) -----	23
Figura 17. Interfaz Del Software Voxler 3 (https://i.ytimg.com) -----	24
Figura 18. Interfaz Del Software Stratter (http://www.directionsmag.com/) -----	25
Figura 19. Localización de los SEVs de la zona 1 -----	28
Figura 20. Localización de los SEVs de la zona 2 -----	30
Figura 21. Localización de los SEVs de la zona 3 -----	31
Figura 22. Curva De Resistividad Del SEV 5 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	33
Figura 23. Curva De Resistividad Del SEV 7 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	34
Figura 24. Curva De Resistividad Del SEV 8 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	34
Figura 25. Curva De Resistividad Del SEV 11 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	35
Figura 26. Curva De Resistividad Del SEV 15 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	35
Figura 27. Curva De Resistividad Del SEV 17 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) -----	36

Figura 28. Curva De Resistividad Del SEV 21 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) - - - - -	36
Figura 29. Curva De Resistividad Del SEV 22 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D) - - - - -	37
Figura 30. Localización De Las Secciones De La, Zona Alta - - - - -	38
Figura 31. Perfil Geoeléctrico 1 - - - - -	40
Figura 32. Perfil Geoeléctrico 2 - - - - -	42
Figura 33. Perfil Geoeléctrico 4 - - - - -	44
Figura 34. Perfil Geoeléctrico 5 - - - - -	46
Figura 35. Perfil Geoeléctrico 6 - - - - -	48
Figura 36. Perfil Geoeléctrico 7 - - - - -	50
Figura 37. Perfil Geoeléctrico 12 - - - - -	52
Figura 38. Localización De Las Secciones De La, Zona Media - - - - -	53
Figura 39. Perfil Geoeléctrico 1 - - - - -	55
Figura 40. Perfil Geoeléctrico 2 - - - - -	57
Figura 41. Perfil Geoeléctrico 3 - - - - -	59
Figura 42. Perfil Geoeléctrico 4 - - - - -	61

Figura 43. Localización De Las Secciones De La, Zona Baja - - - - -	62
Figura 44. Perfil Geoeléctrico 2 - - - - -	64
Figura 45. Perfil Geoeléctrico 3 - - - - -	66
Figura 46. Sección Geológica 1, Zona Alta - - - - -	68
Figura 47. Sección Geológica 2, Zona Alta - - - - -	69
Figura 48. Sección Geológica 4, Zona Alta - - - - -	70
Figura 49. Sección Geológica 5, Zona Alta - - - - -	71
Figura 50. Sección Geológica 6, Zona Alta - - - - -	72
Figura 51. Sección Geológica 7, Zona Alta - - - - -	73
Figura 52. Sección Geológica 12, Zona Alta - - - - -	74
Figura 53. Sección Geológica 1, Zona Media - - - - -	75
Figura 54. Sección Geológica 2, Zona Media - - - - -	76
Figura 55. Sección Geológica 3, Zona Media - - - - -	77
Figura 56. Sección Geológica 4, Zona Media - - - - -	78
Figura 57. Sección Geológica 2, Zona Baja - - - - -	79
Figura 58. Sección Geológica 3, Zona Baja - - - - -	80
Figura 59. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista SW – NE - - - - -	82
Figura 60. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista NE – SW - - - - -	82
Figura 61. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista SE – NW - - - - -	83

Figura 62. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista S – N - - - - -	83
Figura 63. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Media Vista E – W - - - - -	85
Figura 64. Secciones Visualizadas Del Área A En Voxler, Zona Media Vista E – W - - - - -	85
Figura 65. Secciones Visualizadas Del Área B En Voxler, Zona Media Vista E – W - - - - -	86
Figura 66. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista S – N - - - - -	87
Figura 67. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista SW – NE - - - - -	87
Figura 68. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista SE – NW - - - - -	88
Figura 69. Resultado De Interpolación Zona Alta Vista Sur - - - - -	89
Figura 70. Resultado De Interpolación Zona Alta Vista Norte - - - - -	90
Figura 71. Resultado De Interpolación Del Área A, Zona Media Vista Norte - - - - -	91
Figura 72. Resultado De Interpolación Del Área A, Zona Media Vista Sur - - - - -	92
Figura 73. Resultado De Interpolación Del Área B, Zona Media Vista Norte - - - - -	92
Figura 74. Resultado De Interpolación Del Área B, Zona Media Vista Sur - - - - -	93
Figura 75. Resultado De Interpolación Zona Baja Vista Norte Y Oeste - - - - -	94
Figura 76. Resultado De Interpolación Zona Baja Vista Sur - - - - -	94

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1. Resistividades De Las Rocas Más Comunes En Ωm (Milsom,203 y Keller y Frieschknecht,1966) -----	9
Tabla 2. Resistividades De Rocas Ígneas Y Metamórficas (Telford, 1976) -----	9
Tabla 3. Resistividades De Rocas Sedimentarias (Telford, 1976) -----	10
Tabla 4. Resistividades Del Agua (Telford, 1976) -----	10
Tabla 5. Resistividad De Algunos Materiales A Temperatura Ambiente (20° C). (Sears et al, 1999) -----	10
Tabla 6. Características Del Resistivímetro DDC-8 -----	21
Tabla 7. Instrumental Requerido En El Trabajo De Campo -----	22
Tabla 8. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 1 -----	27
Tabla 9. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 2 -----	29
Tabla 10. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 3 -----	31
Tabla 11. Orientación De Las Secciones, Zona Alta -----	39
Tabla 12. Orientación De Las Secciones, Zona Media -----	54
Tabla 13. Orientación De Las Secciones, Zona Baja -----	63
Tabla 14. Calculo Del Volumen De La Zona De Estudio -----	96

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El objetivo de los estudios geofísicos es buscar recursos naturales a través de algunas propiedades físicas que poseen las rocas en el subsuelo. Para esto existen diversos métodos de prospección geofísica que deben de ser utilizados dependiendo el objetivo del estudio esto con el fin de poder identificar mejor el recurso que se esté buscando. Algunos métodos geofísicos más utilizados son los Eléctricos, Sísmicos, Magnetotelúricos.

Los sondeos eléctricos verticales miden la resistividad de los materiales, se siguen utilizando en diversas áreas de prospección debido a su sencillez y lo económico que son, con frecuencia es utilizado para estudios de agua subterránea. El método mencionado también lo utiliza la industria minera, principalmente cuando se requiere conocer la profundidad de las anomalías que se buscan. Antes del método magnetotelúrico se usaban los métodos eléctricos para geotermia (Orellana, 1982).

Este trabajo se desarrolló para caracterizar y determinar el volumen del material presente en los bancos 2 y 3 del Cerro Prieto del ejido de Balzapote en el municipio de San Andrés Tuxtla del estado de Veracruz, utilizando el método eléctrico en su modalidad de sondeos eléctricos verticales.

I.1 OBJETIVOS

I.1.1 General

- Mediante el método de resistividad en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales (SEVs) se pretende caracterizar y determinar el volumen de roca presente en los bancos 2 y 3 de la zona de estudio.

I.1.2. Específicos

- Conocer la distribución de la resistividad en el área de estudio.
- Realizar secciones geoeléctricas a partir de las curvas de resistividad
- Realizar secciones geológicas a partir del análisis de las secciones geoeléctricas.
- Obtener un modelo de resistividades en 3D de la zona de estudio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Existen diversas técnicas geofísicas que se utilizan para el reconocimiento de formaciones geológicas en el subsuelo, esto se debe a que las rocas que se encuentran en la tierra presentan parámetros físicos, que dependen de su contenido de agua, modo de agregación de sus minerales, forma, volumen, porosidad, temperatura y presión, estos parámetros pueden ser medidos por métodos indirectos.

II.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS

Los métodos eléctricos se basan en el estudio de campos de potencial eléctrico, que pueden ser naturales es decir los existentes en la corteza terrestre y los campos artificiales aplicados al subsuelo por el ser humano, de los cuales el segundo es más utilizado en prospección eléctrica.

Los métodos eléctricos principalmente se aplican en minería sean estos materiales conductores o no conductores, aguas subterráneas como es la determinación del nivel freático, ingeniería civil localizando la roca firme y reservas geotérmicas.

El método de resistividad es un método de campo artificial (con la excepción de algunas modalidades). En este método es el propio prospector el que crea el campo físico que va a estudiar, lo que presenta la gran ventaja de que puede darle las características más adecuadas para el fin propuesto, el método consiste en la inyección artificial de corriente eléctrica continua en el subsuelo por un par de electrodos y medir la diferencia de potencial entre otro par de electrodos. La relación de estas dos magnitudes es la resistividad aparente, que no es más que la función del cociente entre la diferencia de potencial medida entre los electrodos y la intensidad de corriente con que se alimenta el terreno. En el método interviene un coeficiente que depende del tipo de arreglo tetrapolar utilizado y la separación entre electrodos.

II.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Se le dice *campo eléctrico* a la carga positiva o negativa que atrae a otras cargas de signo contrario y repele a las cargas de su mismo signo.

La fuerza con que un campo repele o atrae una carga se le conoce como *intensidad de campo*.

El trabajo que realiza un campo para repeler una carga de 1 culombio hasta el infinito se le llama *potencial*.

La *diferencia de potencial* entre dos puntos de un campo eléctrico es el trabajo que realiza para mover una carga de 1 culombio de un punto a otro.

II.2.1. Resistividad Eléctrica

El método de resistividad eléctrica en corriente continua está regido por la Ley de Ohm que establece que la intensidad de la corriente eléctrica I que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial V e inversamente proporcional a la resistencia R que ofrece el medio por el cual pasa la corriente (Ecuación 1), la figura 1 representa lo antes descrito.

$$I = \frac{\Delta V}{R} \rightarrow R = \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

Donde

R - Resistencia (ohm)

ΔV – Caída de potencial (volts)

I - Corriente (amperes)

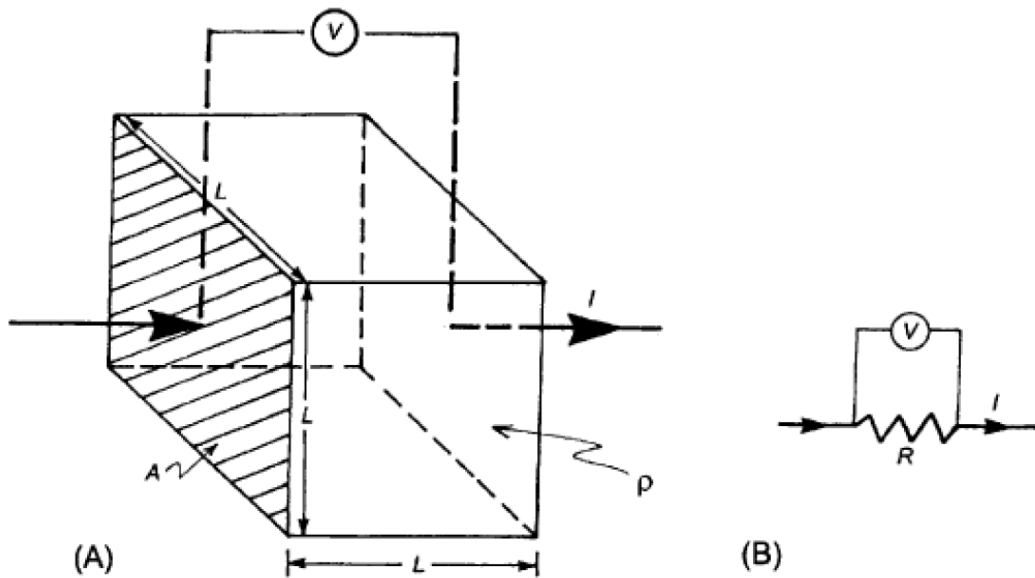


Figura 1. A) Bloque Homogéneo A Través Del Cual Circula Una Corriente De Intensidad I . La Resistencia Del Material R Produce Una Diferencia De Potencial V Entre Las Caras Del Prisma. B) Circuito Eléctrico Equivalente Donde R Es Una Resistencia. (Dr. Miguel Auge, 2008)

La resistencia R que opone un cuerpo al paso de la corriente eléctrica depende del material del cual esté formado y es función de la geometría del conductor. Si el conductor tiene forma de un cilindro de longitud L y sección S (Figura 2) se obtiene la ecuación 2:



$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2)$$

Figura 2. Cilindro Con Longitud L Y Sección S (Ecuación De La Resistencia Que Opone Un Cuerpo Cilíndrico Al Paso De La Corriente Eléctrica) (Perdomo 2009)

Donde ρ es la resistividad del medio, que es un parámetro característico de cada material, por lo regular se expresa en ohm por metro (Ωm).

Por lo que el método para arreglos tetraelectrodicos considera un cuerpo semi-infinito con una resistividad uniforme, en donde se colocan cuatro electrodos, dos de corriente (AB) y

dos de potencial (MN). El gradiente de potencial es medido por un Voltímetro (Díaz Anaya 2010), figura 3.

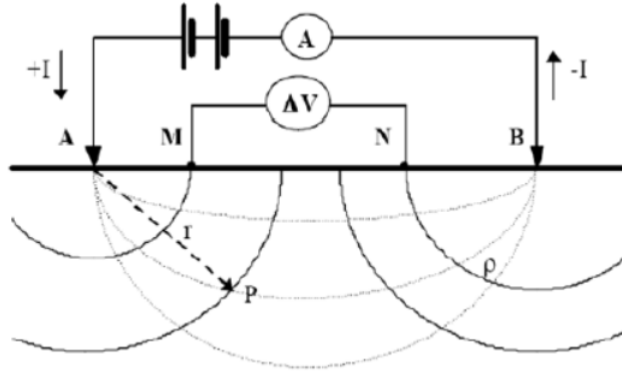


Figura 3. Principio De Medición De La Resistividad Del Suelo, Se Inyecta Una Corriente I Entre Los Electrodo AB Y Se Miden El Potencial ΔV Entre Los Electrodo MN (Díaz Anaya 2010)

La diferencia de potencial entre los puntos M y N está dada por la ecuación (3).

$$V_m - V_n = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad (3)$$

Despejando la resistividad de la ecuación 3 obtenemos la ecuación 4:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad (4)$$

Donde a la segunda fracción se le denomina K que es el coeficiente geométrico del dispositivo el cual depende de la posición relativa de los electrodos, quedando representada por la ecuación 5:

$$\rho = \kappa \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

La propagación de la corriente al introducirlo en el terreno, se puede dar de tres maneras distintas: conducción dieléctrica (materiales poco conductivos o aislantes), conducción electrónica (materiales con electrones libres), conducción electrolítica (movimiento de iones

presentes en el fluido intersticial del terreno), esta última es el modo de propagación más importante y en el que se basa el método de resistividad.

II.2.2. Resistividad Aparente

Las ecuaciones antes descritas están desarrolladas para medios homogéneos. Al realizar algunas mediciones en el subsuelo, el cual por lo regular presenta diversas heterogeneidades se obtiene una resistividad aparente. Se le denomina resistividad aparente a las resistividades de diversos materiales que depende de la distribución espacial de los materiales, dimensiones y del tipo de dispositivo utilizado.

II.2.3. Profundidad De Investigación

La profundidad de investigación es controlada por la longitud del arreglo que es utilizado (separación entre los electrodos de corriente), entre mayor sea la distancia interelectrodica a mayor profundidad estará llegando la corriente inyectada, véase en la figura 4.

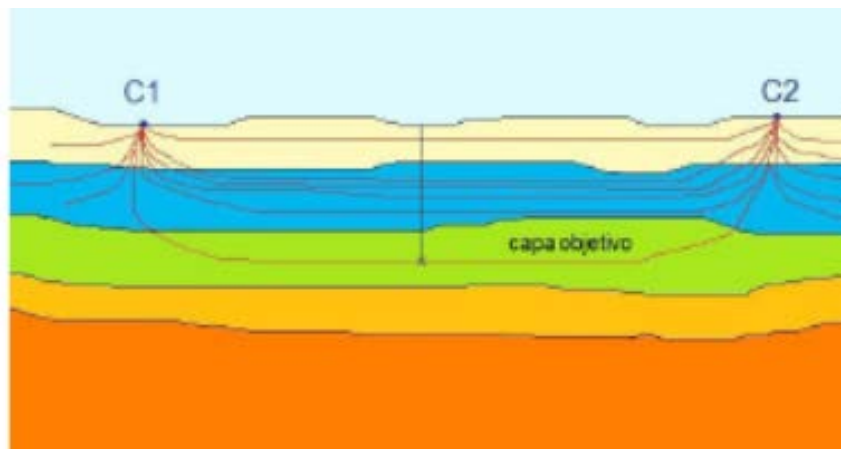


Figura 4. La Corriente Inyectada En Los Electrodos C1 Y C2 Circula Por El Subsuelo, Al Encontrarse Con Capas Conductivas Subyacentes Al Objetivo, Está Se Desvía Sin Llegar Al Punto Requerido. Al Aumentar La Separación Entre Electrodos Se Logra Mayor Penetración De La Corriente Y Así Llegar A La Capa Objetivo (Perdomo 2009)

II.3. PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LOS MATERIALES - RESISTIVIDAD DE LOS MINERALES Y ROCA

La resistividad es una magnitud física de cada material, los factores que influyen con el valor es la composición química, humedad, temperatura, presión, porosidad, salinidad del agua y compactación del material.

La conducción electrónica y la conducción electrolítica son dos efectos que producen el flujo de corriente en materiales terrestres. En la primera el flujo de corriente se debe a electrones libres, como los metales y semiconductores, está se puede encontrar en materiales terrestres cuando se presentan minerales conductivos, como los sulfuros metálicos y el mineral grafito. En la segunda el flujo se da a través del movimiento de iones, como electrolitos si no presentan una forma gaseosa. Por lo tanto la resistividad de los minerales es alta en comparación con la de las rocas, esto se debe a los factores que influyen en los materiales rocosos antes mencionados.

Las rocas ígneas y metamórficas tienden a presentar valores altos de resistividad, está depende del grado y porcentaje de fracturas rellenas por agua. Rocas inalteradas presentaran un orden mayor a 1000 (Ωm), rocas alteradas estarán en un orden de 100 a 1000 (Ωm) (Sánchez).

Las rocas sedimentarias, que por lo regular son más porosas y presentan un alto contenido de agua, presentan valores bajos de resistividad comparadas con los otros dos tipos de rocas. Rocas sedimentarias presentan un orden variable de 1 a 1000 (Ωm) y las gravas pueden presentar un orden mayor de 1000 (Ωm), la resistividad de materiales detríticos aumenta con el tamaño de grano.

En las tablas 1, 2, 3, 4 y 5 se muestran algunos ejemplos de resistividades de las rocas y minerales.

Arcilla	1 – 100 (Ωm)
Suelo	50 – 100 (Ωm)
Grava	100 – 600 (Ωm)
Arena	500 – 5000 (Ωm)
Arenisca	200 – 8000 (Ωm)
Lutita	500 – 10000 (Ωm)
Gabro	100 – 500 000 (Ωm)
Granito	200 – 100 000 (Ωm)
Basalto	200 – 100 000 (Ωm)
Agua	10 – 100 (Ωm)
Agua de mar	0.2 (Ωm)

Tabla 1. Resistividades De Las Rocas Más Comunes En Ωm (Milsom,203 y Keller y Frieschknecht,1966)

Tipo de Roca	Intervalo de resistividades (ohm-m)
Granito	3×10^2 -106
Pórfido granítico	4.5×10^3 (húmedo) a 1.3×10^5
Pegmatita (Pórfido feldespático)	4×10^3 (húmedo)
Albita	3×10^2 (húmedo) a 3.3×10^3 (seco)
Sienita	102 a 106
Diorita	104 a 105
Pórfido de diorita	1.9×10^3 (húmedo) a 2.8×10^4 (seco)
Porfiritita	$10^5 \times 10^4$ (húmedo) a 3.3×10^5 (seco)
Pórfido carbonizado	2.5×10^3 (húmedo) a 6×10^4 (seco)
Pórfido de cuarzo	3×10^2 a 9×10^5
Diorita cuarzosa	2×10^4 a 2×10^5 (hum) a 1.8×10^5 (seco)
Pórfidos (varios)	60 a 104
Dacita	2×10^4 (húmedo)
Andesita	$4.5 \times 10^4 \times 10$ (húmedo) a 1.7×10^2 (seco)
Pórfido de diabasa	103 (húmedo) a 1.7×10^5 (seco)
Diabasa (varios)	201 a 5×10^7
Lavas	102 a 5×10^4
Gabro	103 a 10^5
Basalto	101 a 1.3×10^7 (seco)
Norita de olivino	103 a 6×10^4 (húmedo)
Peridotita	3×10^3 (húmedo) a 6.5×10^3 (seco)
Corneana	8×10^3 (húmedo) a 6×10^7 (seco)
Esquistos	201 a 104
Tobas	2×10^3 (húmedo) a 10^5 (seco)
Esquisto de grafito	101 a 102
Lajas (varios)	6×10^2 a 4×10^7
Gneises (varios)	6.8×10^4 (húmedo) a 3×10^5 (seco)
Mármol	102 a 2.5×10^5 (seco)
Eskam	2.5×10^2 (húmedo) a 2.5×10^5 (seco)
Cuarzitas (varias)	10^1 a 2×10^5

Tabla 2. Resistividades De Rocas Ígneas Y Metamórficas (Telford, 1976)

Tipo de roca	Intervalo de resistividad (ohm-m)
Lutitas consolidadas	20 a 2×10^3
Argilitas	10 a 8×10^2
Conglomerados	2×10^3 a 10^2
Areniscas	1 a 6.4×10^8
Lutitas	50 a 10^7
Dolomias	3.5×10^2 a 5×10^3
Arcillas saturadas no consolidadas	20
Margas	3 a 70
Arcillas	1 a 100
Aluviones y arenas	10 a 800
Arenas con petróleo	4 a 800

Tabla 3. Resistividades De Rocas Sedimentarias (Telford, 1976)

Tipo de agua	Intervalo de resistividad (ohm-m)
Aguas de lago	103 a 3×10^3
Aguas dulces superficiales	10 a 10^3
Aguas salobres superficiales	2 a 10
Aguas subterráneas	1 a 20
Aguas de lagos salados	0.1 a 1
Aguas marinas	0.2
Aguas de impregnación de roca	0.03 a 10

Tabla 4. Resistividades Del Agua (Telford, 1976)

Conductores			Semiconductores		
Metales	Plata	1.47×10^{-9}		grafito	3.5×10^{-5}
	Cobre	1.72×10^{-8}		Germanio	0.60
	Oro	2.44×10^{-9}	Aislantes	Silicio (puro)	2300
	Aluminio	2.75×10^{-8}		Ámbar	5×10^{14}
	Tungteno	5.25×10^{-9}		Vidrio	$10^{10} - 10^{14}$
	Acero	20×10^{-8}		Lucita	$> 10^{13}$
	Plomo	22×10^{-8}		Mica	$10^{11} - 10^{15}$
Aleaciones	Mercurio	95×10^{-8}		Cuarzo (fundido)	75×10^{16}
	Manganina	44×10^{-8}		Azufre	10^{15}
	Constantán	49×10^{-8}		Teflón	$> 10^{13}$
	Nikelcromio	100×10^{-8}		Madera	$10^8 - 10^{11}$

Tabla 5. Resistividad De Algunos Materiales A Temperatura Ambiente (20° C). (Sears et al, 1999)

II.4. SEV - SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

El sondeo eléctrico vertical, también conocido como SEV es una técnica empleada en los métodos eléctricos, como ya se mencionó anteriormente el objetivo de éste es conocer la distribución de las resistividades en 1D a profundidad. En campo al realizar un sondeo eléctrico vertical se emplea la siguiente metodología; se colocan cuatro electrodos, dos de ellos M y N, miden el potencial eléctrico generado en el terreno por la corriente que circula a través de los otros dos electrodos A y B. La figura 5 representa un caso donde por debajo del punto central o de atribución (O) será la zona donde se obtendrá el valor de la resistividad aparente a diferentes profundidades. Los arreglos electródicos más comunes que se utilizan en la vida cotidiana son el Dispositivo Schlumberger y Wenner que se explican más adelante.

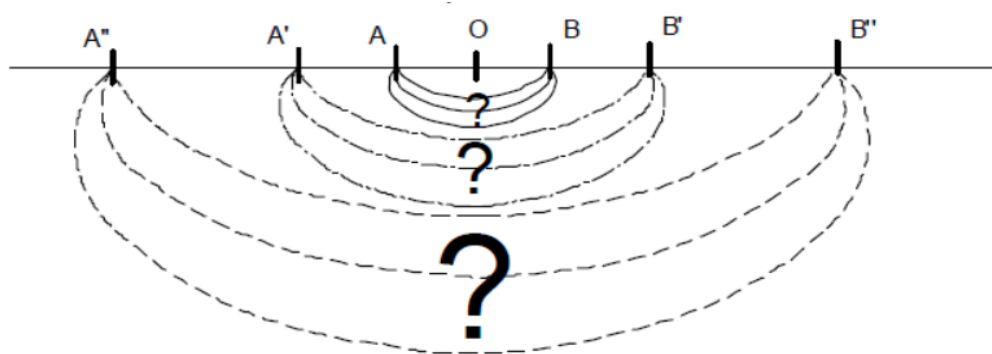


Figura 5. Esquema De Un SEV, La Profundidad De Investigación Aumenta Al Pasar De AB a A'B' y a A''B'' (Sánchez San Román)

Los datos de resistividad se presentan en una gráfica bilogarítmica (Figura 6), donde el eje horizontal representa la distancia que hay entre uno de los electrodos de corriente y el punto de atribución ($AB/2$ corresponde a la mitad de la distancia de los electrodos de corriente), y el eje vertical representa la resistividad aparente de cada punto.

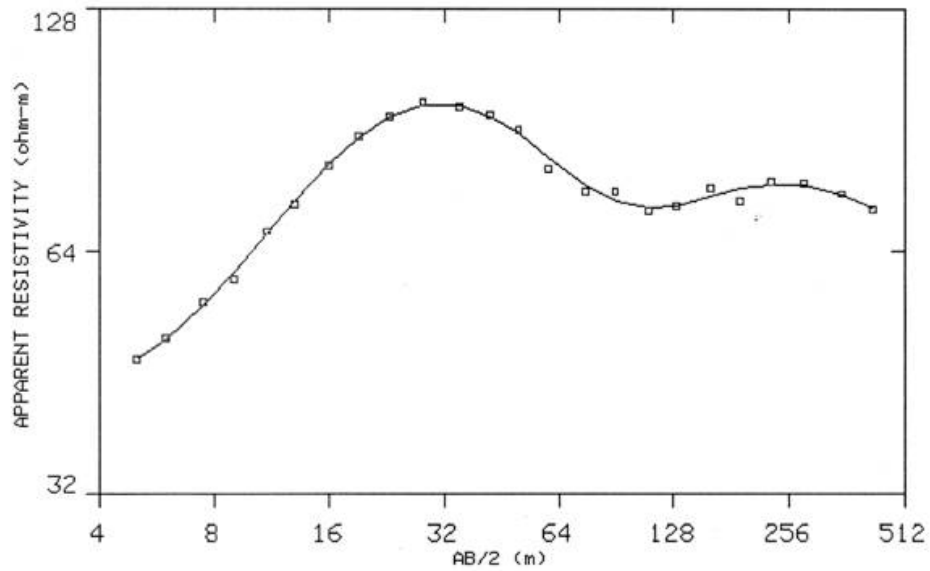


Figura 6. Ejemplo De Curva De Resistividad. (www.monografias.com)

La curva que se presenta se interpreta para conseguir los espesores y las resistividades reales de las unidades geológicas del área a investigar, la última capa tiene un espesor indeterminado ya que no se puede determinar su profundidad verdadera. Cada curva recibe el nombre de corte o modelo geoeléctrico, el cual se compone de n-valores de resistividad y n-1 espesores.

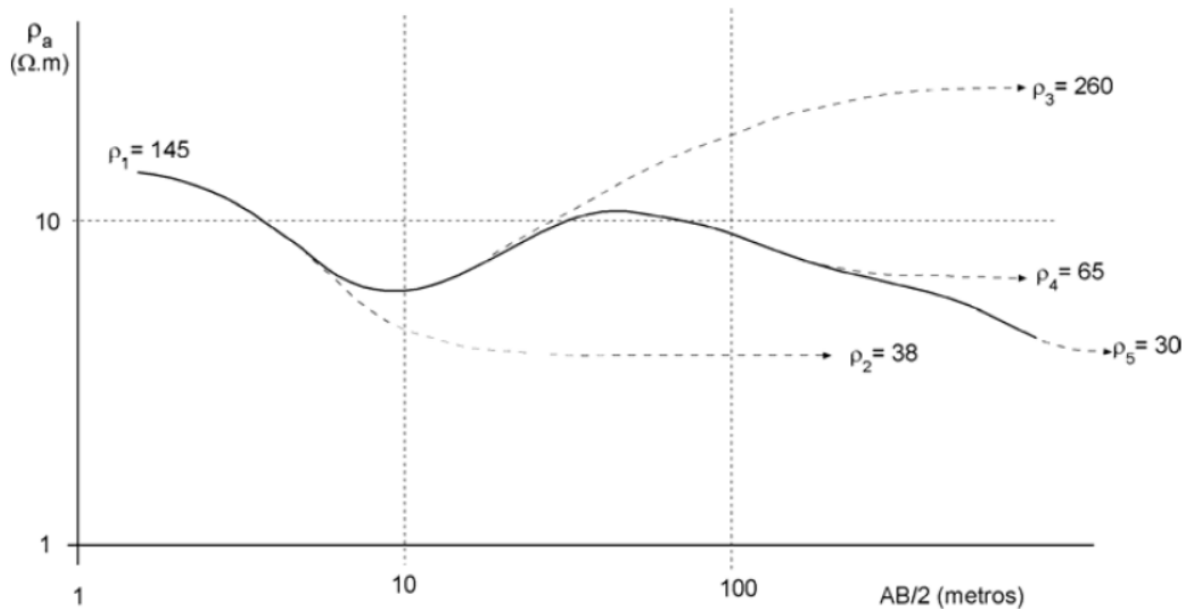


Figura 7. Curva De Resistividad Aparente Del Corte Geoelectrico Con 5 Resistividades y 4 Espesores (Sánchez San Román)

Los cortes geoelectricos son representados en pseudosecciones de resistividad verdadera con el fin de realizar una interpretación geológica.

II.5. DISPOSITIVOS GEOELÉCTRICOS

Dentro de los sondeos eléctricos verticales se encuentran dispositivos eléctricos, los cuales se utilizan dependiendo del objetivo de estudio. Cada arreglo consiste en la disposición alineada de 4 electrodos A, B y M, N, los primeros son de corriente y los segundos de potencial. La distribución de los 4 electrodos determina la diferencia entre cada dispositivo.

II.5.1. Dispositivo Schlumberger

Es un dispositivo donde la distancia de los electrodos de corriente debe ser cinco veces mayor a los electrodos de potencial, donde la separación de M y N permanece constante. (Figura 8). Cuando existe una caída de potencial pueden generarse mediciones erróneas, para solucionarlo se realizan empalmes, que consiste en aumentar la distancia entre los electrodos de potencial y repetir una o dos mediciones con las últimas aberturas de MN.

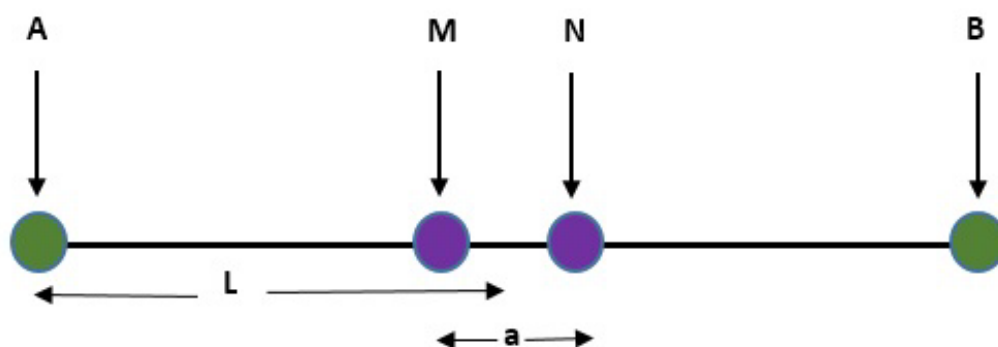


Figura 8. Dispositivo Schlumberger

El factor geométrico que interviene en el cálculo de la resistividad aparente ρ_a , se representa en función de las distancias $AB/2$ y de MN , si $AB/2 = L$ y $MN = a$, el factor geométrico queda como:

$$K = \frac{\pi * L^2}{a}$$

II.5.2. Dispositivo Wenner

En este dispositivo la distancia entre los electrodos de corriente y potencial es la misma, es decir $AM = MN = NB$. (Figura 9).

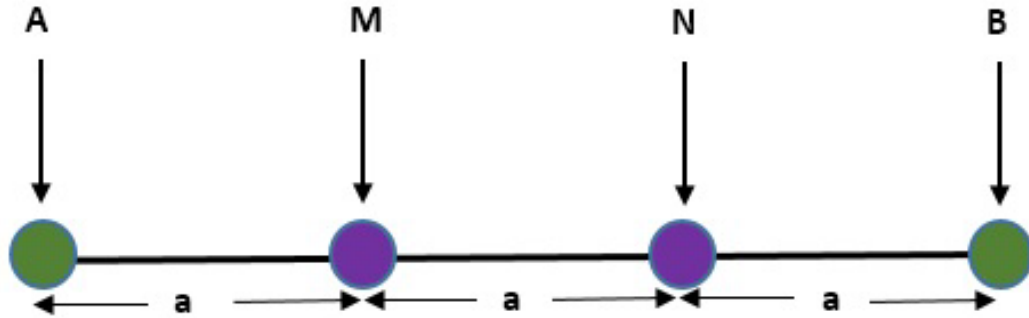


Figura 9. Dispositivo Wenner

El factor geométrico para este dispositivo es el siguiente:

$$K = 2 \cdot \pi \cdot a$$

II.5.3. Dispositivo Dipolo-Dipolo

El dispositivo Dipolo-dipolo mantiene a los electrodos de corriente juntos al igual que los de potencial, cada par de estos electrodos se encuentran a una distancia “n” que va en aumento al realizar cada medida. (Figura 10).

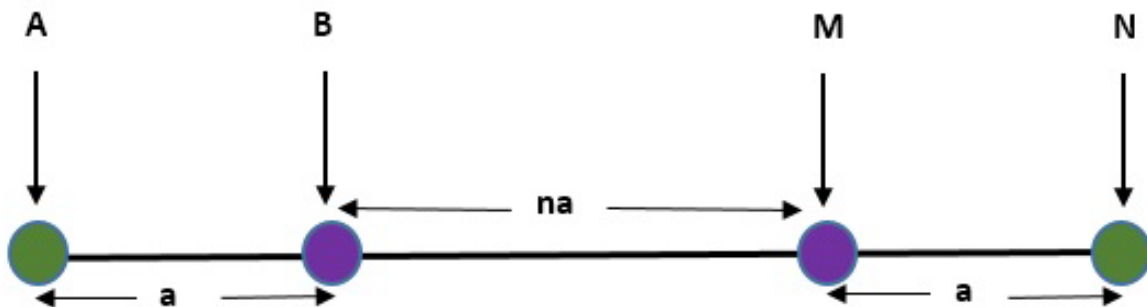


Figura 10. Dispositivo Dipolo-dipolo

El factor geométrico para este dispositivo es:

$$K = 2 \frac{\pi * L^2}{a}$$

II.5.4. Dispositivo Medio Schlumberger

Es un dispositivo que emplea 4 electrodos, los electrodos de potencial M y N permanecen constantes, un electrodo de corriente debe tener una distancia mayor o igual a 5 de MN, mientras el otro se manda al infinito y este no se mueve. Al igual que el dispositivo Schlumberger existen empalmes. (Figura 11).

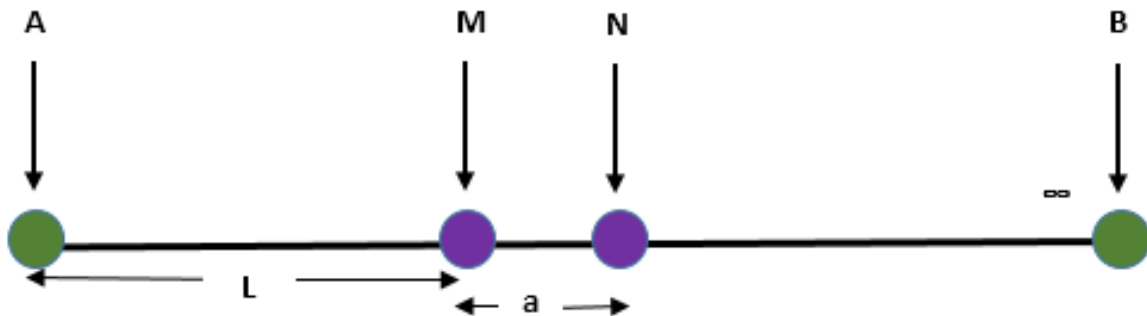


Figura 11. Dispositivo Medio Schlumberger

El factor geométrico para este dispositivo es:

$$K = \frac{\pi * L^2}{a}$$

CAPÍTULO III

ZONA DE ESTUDIO

III.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en el llamado Cerro Prieto perteneciente al ejido de Balzapote en el municipio de San Andrés Tuxtla en el estado de Veracruz, el municipio limita al Norte con el Golfo de México, al Este con Catemaco, al Sur con Hueyapan de Ocampo y al Oeste con Santiago Tuxtla y Ángel R. Cabada (Figura 12). La zona está dentro del campo volcánico de los Tuxtlas, su posición geográfica en Latitud Norte es $18^{\circ} 37''$ y Longitud Oriente de $98^{\circ} 04''$, figura 13.

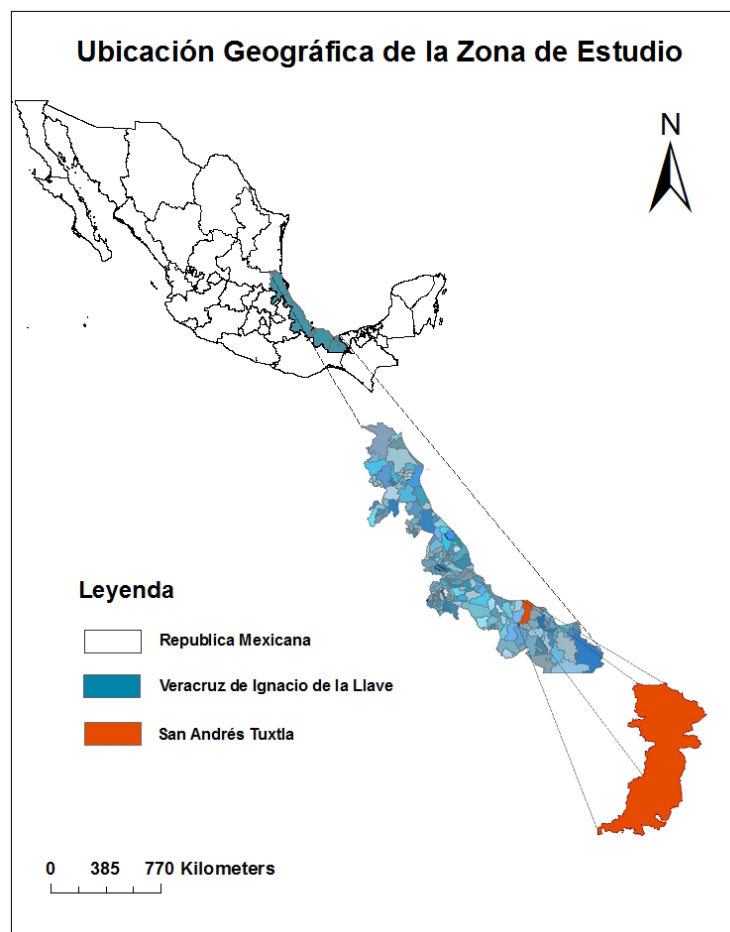


Figura 12. Ubicación Geográfica De La Zona De Estudio

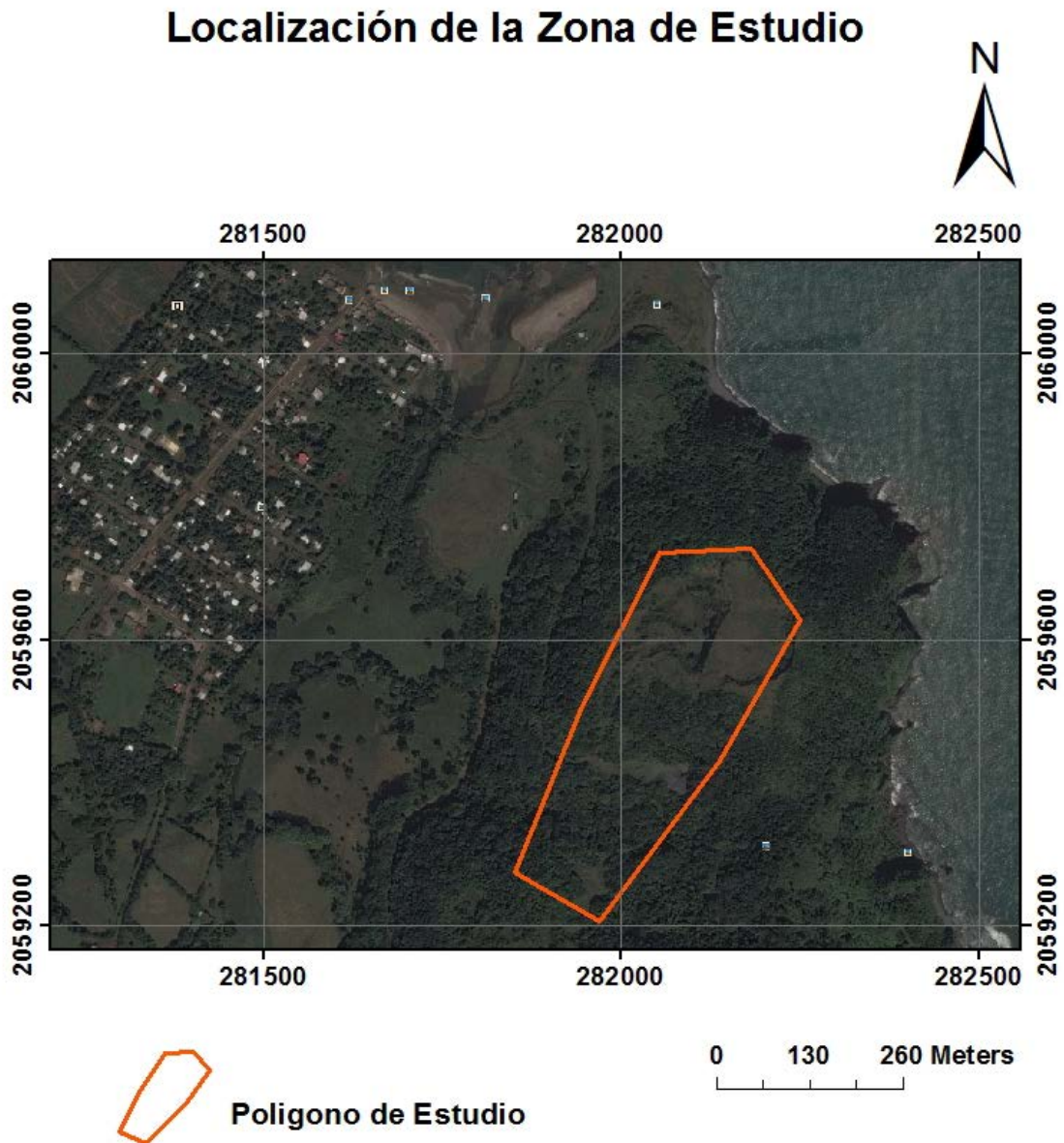


Figura 13. Localización Del Área De Estudio

III.3. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

III.3.1. Marco Vulcanológico

El área de estudio se encuentra en la denominada Sierra de los Tuxtlas la cual es una cordillera de origen volcánico con una extensión aproximada de 90 Km de largo por 50 Km de ancho, la Sierra pertenece a la provincia geomorfológica de la Planicie Costera del Golfo de México y la subprovincia de la Planicie Costera de Veracruz (Geissert 1999), donde

abundan suelos profundos formados por materiales depositados por ríos, como son el Grijalva, el Usumacinta, Coatzacoalcos y Papaloapan. El campo volcánico de los Tuxtlas está constituido por más de 276 estructuras volcánicas, las más sobresalientes son: el Volcán de San Martín Tuxtla, el cerro de Santa Marta, el Cerro del Campanario en la sierra Yohualtajapan, el Cerro Mono Blanco, el San Martín Pajapan, el Cerro el Vigía y el Cerro Blanco.

El vulcanismo de los Tuxtlas, que ha producido principalmente basalto y basanita, comenzó en el terciario hasta la actualidad. Su actividad se manifiesta por el alto contenido de ceniza y arenas volcánicas observadas en las formaciones La Laja del Oligoceno y Depósitos del Mioceno Inferior, constituidas por arcillas tobáceas y areniscas.

Las erupciones son de tipo efusivo-fisural, correspondiendo con magmas de composición alcalina que datan del Mioceno-Oligoceno hasta el Holoceno.

La secuencia más joven corresponde desde el Pleistoceno tardío al presente y sus depósitos consisten en lava y cenizas volcánicas provenientes del volcán San Martín Tuxtla (Mayer, 1962; Reinhardt, 1991)

El substrato de la sierra consiste principalmente de rocas ígneas (basalto y andesitas), mezcladas con cenizas volcánicas (Chizón, 1984), las rocas basálticas aflorantes se encuentran más abundantes en sitios con pendientes fuertes, donde los suelos son someros.

Mayer, 1962 menciona que a fines del Mioceno se retiran los mares definitivamente, iniciando el periodo de erosión. Las depositaciones volcánicas del Plio-Pleistoceno y el Pleistoceno medio están actualmente muy intemperizadas y se encuentran en la zona Sureste de la sierra.

III.3.2. Geología Local

De acuerdo con la carta geológica del INEGI las rocas volcánicas que afloran en el área de estudio se originaron por 2 eventos. El primero de ellos es el de la Sierra de Santa Martha, lo que originó que en la zona de estudio se cuente con la presencia de Brechas volcánicas Basálticas y Basaltos del periodo Terciario y época Plioceno.

El segundo fue el evento la Nueva Victoria el cual está representado por conos cineríticos compuestos por Tobas Basálticas, Basaltos, Arenas y Cenizas de composición basáltica, dicho evento inició en el Pleistoceno, figura 14.

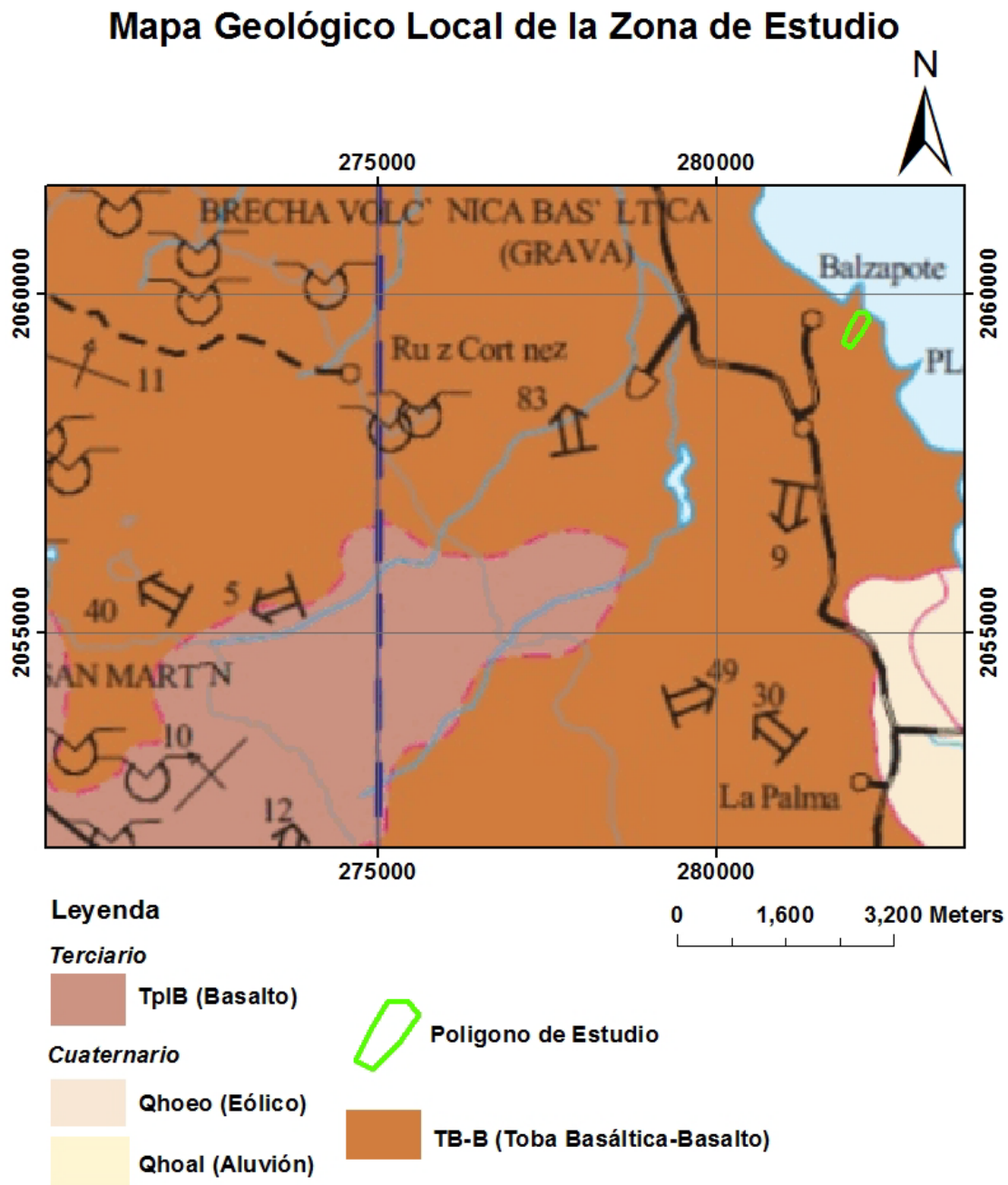


Figura 14. Mapa Geológico De La Zona De Estudio (Modificada Del INEGI)

CAPITULO IV

METODOLOGÍA

IV.1. EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN OCUPADA

La adquisición de los datos de campo se realizó con el resistivímetro DDC-8 desarrollado por la CHONGQING GOLD MECHANICAL & ELECTRICAL EQUIPMENT. La tabla 6 muestra las principales características del equipo empleado.

DZD-6A Resistivímetro de Corriente Directa
Voltaje Máximo de Alimentación / 900 V
Corriente Máxima / 5 A
Rango de Medidas de Voltaje / $\pm 6000\text{mV}$
Rango de Corriente Inyectada / 0.1mA~3000mA
Temperatura / $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$
Medidas / 305×200×202mm

Tabla 6. Características Del Resistivímetro DDC-8

La instrumentación complementaria en la adquisición de los datos de campo se muestra en la tabla 7 y la figura 15 muestra parte del instrumental requerido en campo

Instrumento	No.
Electrodos	10
Batería	1
Carretes	4
Marro	3
GPS	1
Cinta métrica (100 m.)	2
Cinta adhesiva	1

Tabla 7. Instrumental Requerido En El Trabajo De Campo



Figura 15. Instrumental En Campo

IV.2. PROGRAMAS

IV.2.1. IPI2win

Es un software para realizar interpretaciones 1D automáticas o semi-automáticas de las curvas del/los sondeos eléctricos verticales obtenidos de los distintos arreglos de la prospección eléctrica. En la figura 16 se muestra la interfaz del software con los datos de un SEV, su pseudosección y el modelo de resistividades.

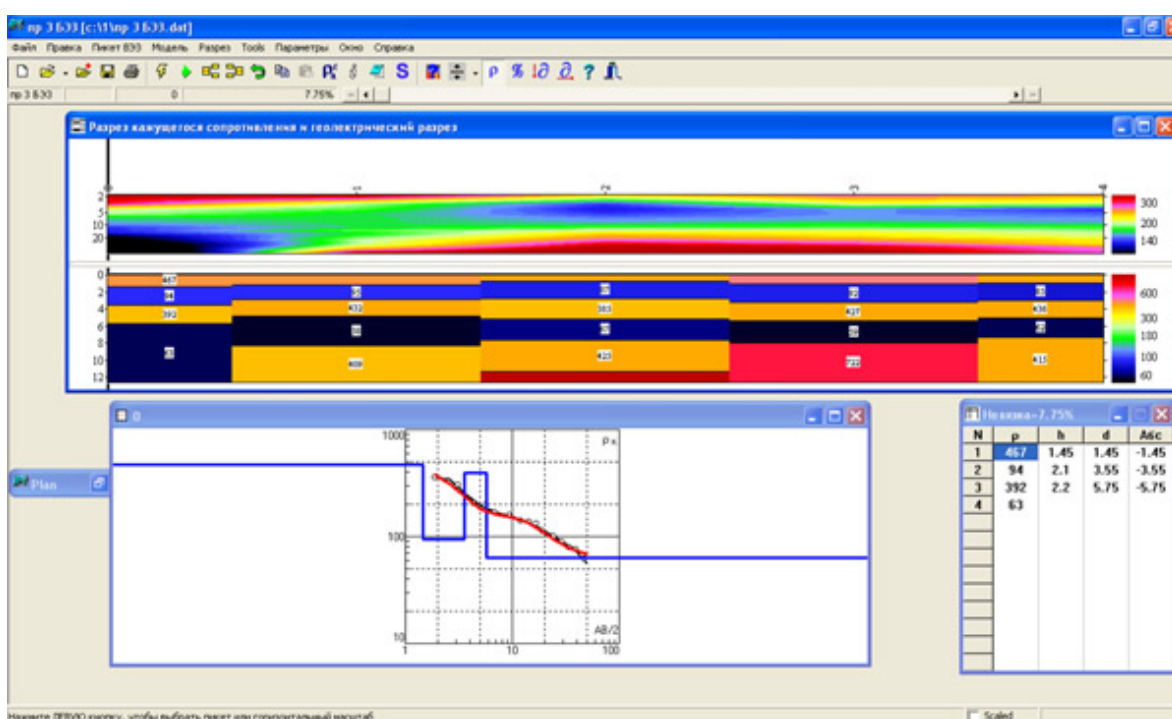


Figura 16. Interfaz del Software IPI2win, (www.ingeocom.com)

IV.2.2. Voxler 3

Voxler 3 es un programa de interpolación de datos 3D que puede generar modelos volumétricos, imágenes o líneas. El software interpola datos XYZC siendo las tres primeras la posición 3D y la última la característica, para generar un arreglo en una, dos o tres dimensiones. Los métodos de interpolación son: inverso de la distancia, medida de los datos y polinomio local.

El método del polinomio local asigna valores a los nodos de la malla usando un ajuste de mínimos cuadrados con peso en un elipsoide de búsqueda.

El método de medida de los datos se usa para calcular valores estadísticos usando los datos encontrados por una búsqueda, la cual se define por varios parámetros, como: valor mínimo, menor cuartil, mediana, rango, medio rango, media, desviación estándar, densidad, entre otros.

El método de inverso de la distancia es un interpolador del promedio de los pesos, los datos son ponderados durante la interpolación, así que la influencia de cada punto se declina con la distancia al nodo de la malla. Cuando se calcula algún nodo los pesos asignados a los datos son fracciones y la suma de los pesos es igual a 1. En la figura 17 se muestra la interfaz del software con un ejemplo.

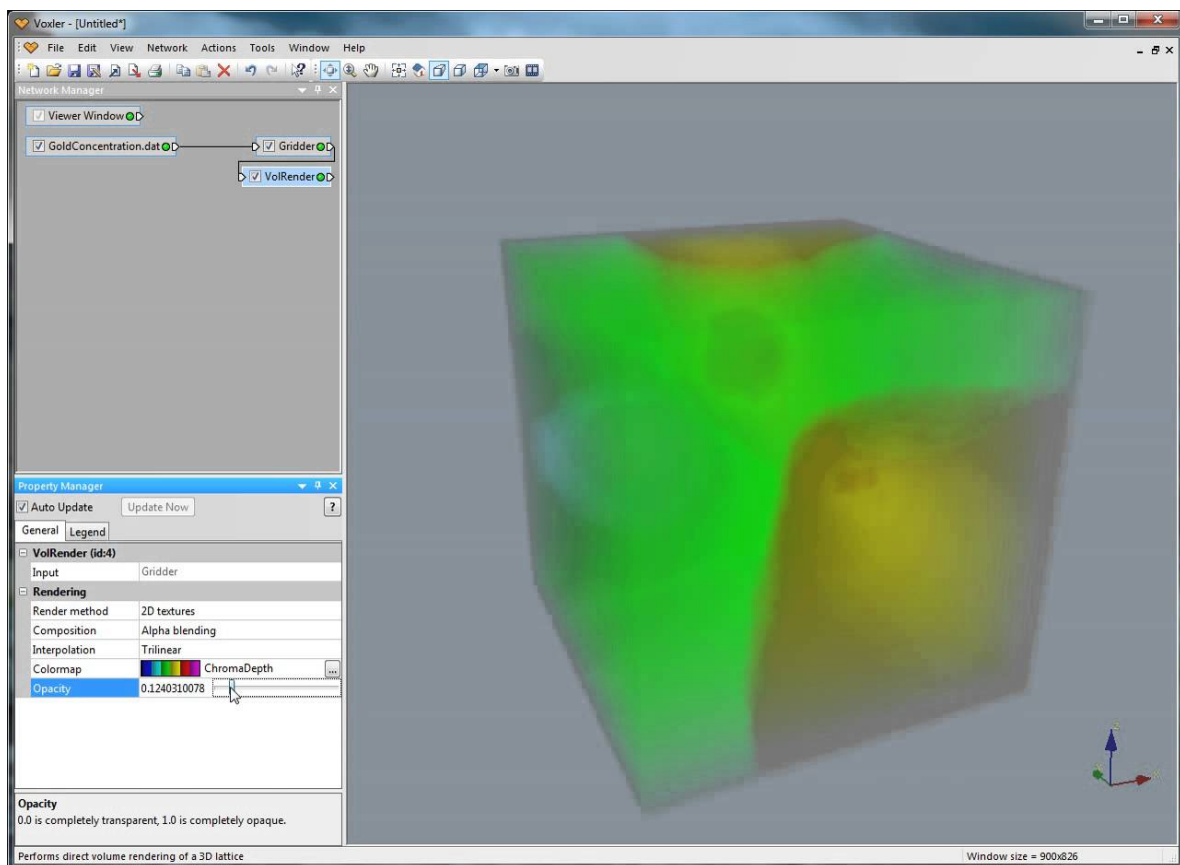


Figura 17. Interfaz Del Software Voxler (<https://i.ytimg.com>)

IV.2.3. Stratter

Stratter es un programa que se utiliza en el área de ciencias de la tierra, entre una de sus aplicaciones esta realizar secciones geológicas, cortes estratigráficos o litológicos etc. En la figura 18 se muestra la interfaz del software con un ejemplo.

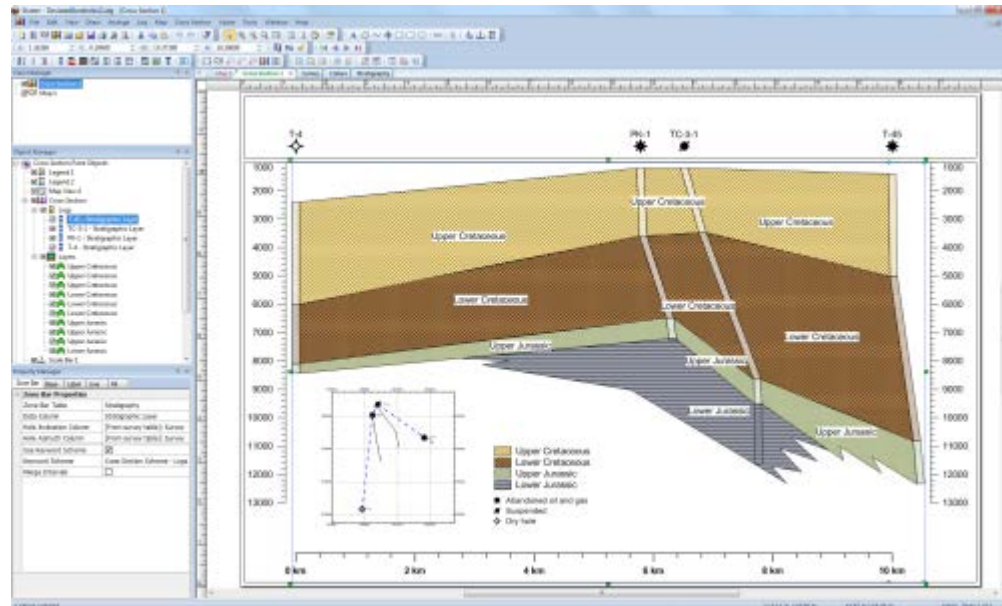


Figura 18. Interfaz Del Software Strater (<http://www.directionsmag.com/>)

IV.3. EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

El trabajo se llevó a cabo en dos etapas. La primera etapa fue realizada en campo y la segunda en oficina.

La etapa de campo se dividió en dos fases

- 1) Reconocimiento de la zona de estudio, esta fase ayudó para la determinación de la ubicación de los sondeos eléctricos verticales, tipo de dispositivo, separación electródica.
- 2) Adquisición de datos, como segunda fase se recabaron los datos en los puntos propuestos con anterioridad.

La etapa de gabinete también fue dividida en dos fases.

- 1) Procesamiento, en esta fase se realizó el ajuste de curvas, obtención de los modelos geoeléctricos, y en base a estos la realización de las secciones geoeléctricas, todo esto en los programas antes mencionados.
- 2) Interpretación, en base de las secciones geoeléctricas se determinaron secciones geológicas, las que ayudaron para la determinación y caracterización del volumen de roca.

IV.4. ADQUISICIÓN DE DATOS

Con el reconocimiento previo del área de estudio se determinó dividir el área en tres zonas debido a q existían variaciones de altura considerables y en algunos puntos el acceso era imposible. Otro de los objetivos por dividir el área, se debió a que el error del cálculo de volumen fuera menor.

Los tendidos eléctricos se llevaron a cabo bajo el dispositivo Medio Schlumberger, ya mencionado anteriormente en la figura 11.

La metodología que se siguió para los tendidos eléctricos fue la siguiente:

Se colocaron y enterraron en el suelo 2 electrodos de corriente y dos de potencial, cada electrodo debe de estar conectado con su respectivo carrete, y estos mismos estarán conectados al equipo el cual mandara la corriente eléctrica en los carretes AB, mientras que en los carretes MN calculara la diferencia de potencial, (véase en anexo 2).

Una vez colocado todo, se procedió a inyectar dicha corriente, mostrándonos en el equipo antes descrito (Figura 15) la resistividad aparente del punto medido en un SEV, los puntos obtenido de un sondeo quedo determinado por el número de aberturas que se le dio a los electrodos AB.

En su totalidad se adquirieron 25 sondeos eléctricos verticales, la longitud de los tendidos varían, es decir, teniendo diferente $AB/2$.

Las zonas quedaron determinadas de la siguiente manera:

- Zona 1 - Se localiza al NE del área de estudio o zona alta, ahí se realizaron 10 SEVs
- Zona 2 – Se encuentra al NW o zona media, cuenta con 10 SEVs
- Zona 3 – Se localiza en la parte Sur o zona baja, en esta zona se llevaron a cabo 5 SEVs

Las tablas 8, 9, 10 muestran la abertura AB/2 máxima, coordenada UTM y altura de cada sondeo eléctrico en su respectiva zona.

Las figuras 19, 20, 21 muestran la localización de los SEVs en su zona determinada.

Zona Alta

Sondeos	Altura (m)	AB/2 máx.	Coordenada X	Coordenada Y
SEV 1	93	170	282113	2059537
SEV 2	93.5	130	282156	2059555
SEV 3	95	120	282203	2059562
SEV 4	92.5	140	282128	2059570
SEV 5	98	180	282175	2059688
SEV 6	92	115	282155	2059632
SEV 7	93	160	282174	2059616
SEV 8	98	170	282185	2059665
SEV 9	99	180	282220	2059633
SEV 10	97.5	160	282201	2059605

Tabla 8. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 1

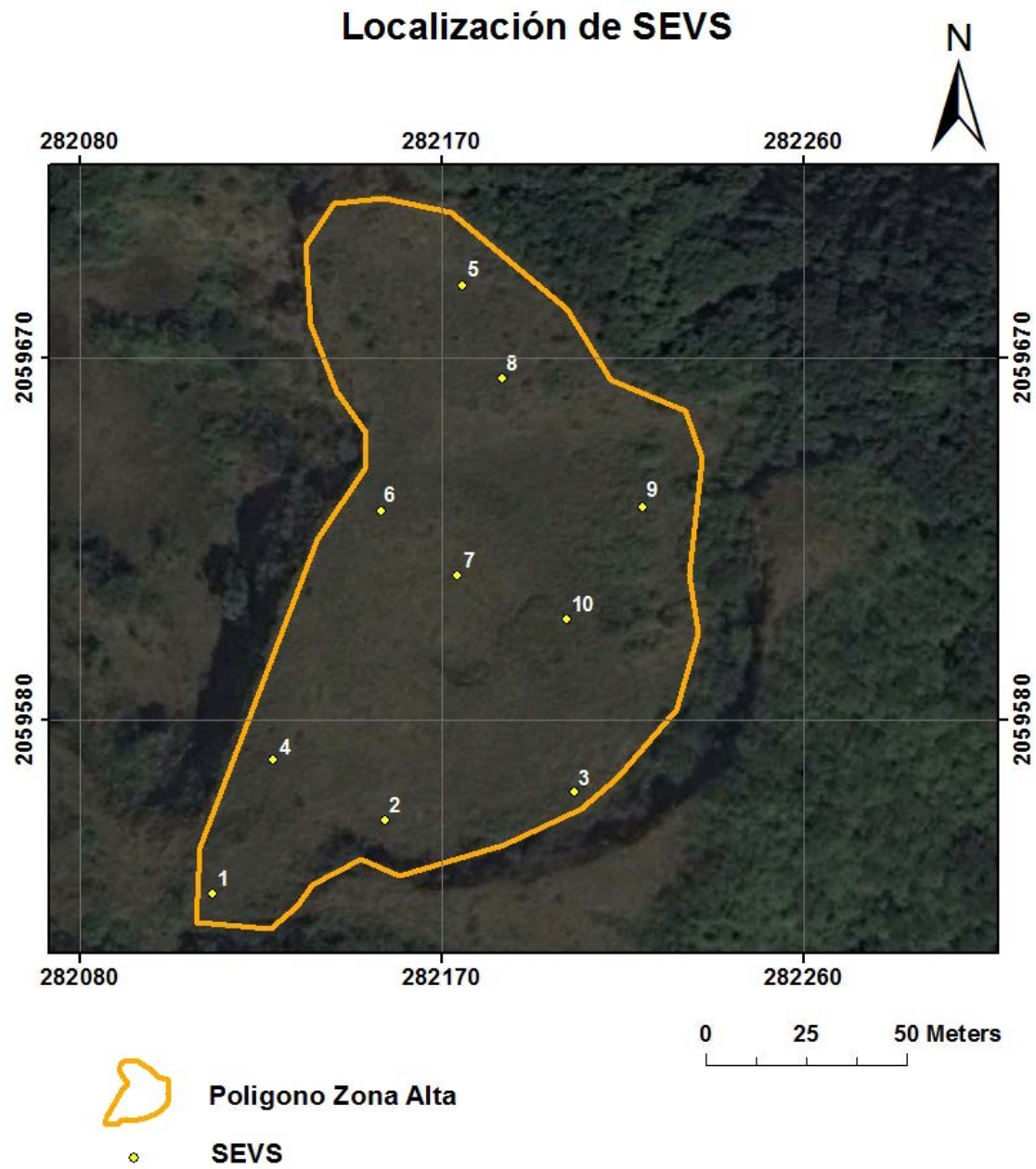


Figura 19. Localización de los SEVs de la zona 1

Zona Media

Sondeos	Altura (m)	AB/2 máx.	Coordenada X	Coordenada Y
SEV 11	76.5	100	282108	2059598
SEV 12	76	140	282100	2059654
SEV 13	75	140	282081	2059643
SEV 14	57	140	282059	2059679
SEV 15	56	140	282027	2059637
SEV 16	65	140	281993	2059551
SEV 17	64	180	281970	2059487
SEV 18	64	180	281962	2059430
SEV 19	75	180	282016	2059386
SEV 20	71	180	282048	2059336

Tabla 9. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 2

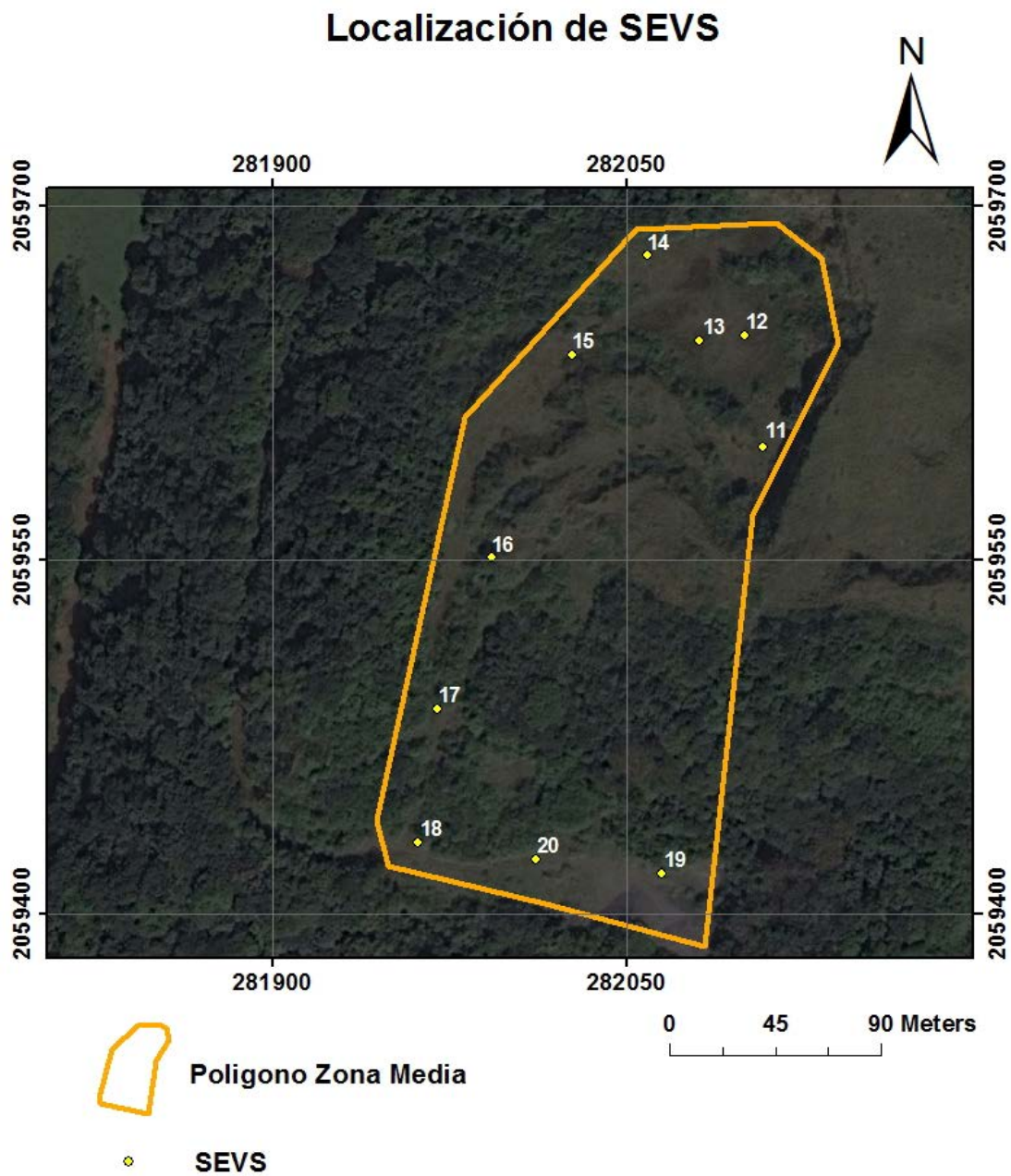


Figura 20. Localización de los SEVs de la zona 2

Zona Baja

Sondeos	Altura (m)	AB/2 máx.	Coordenada X	Coordenada Y
SEV 21	40	180	281893	2059292
SEV 22	70	175	281964	2059229
SEV 23	55	180	281954	2059263
SEV 24	80	200	282065	2059417
SEV 25	80	200	282012	2059423

Tabla 10. Descripción de los sondeos eléctricos en la zona 3

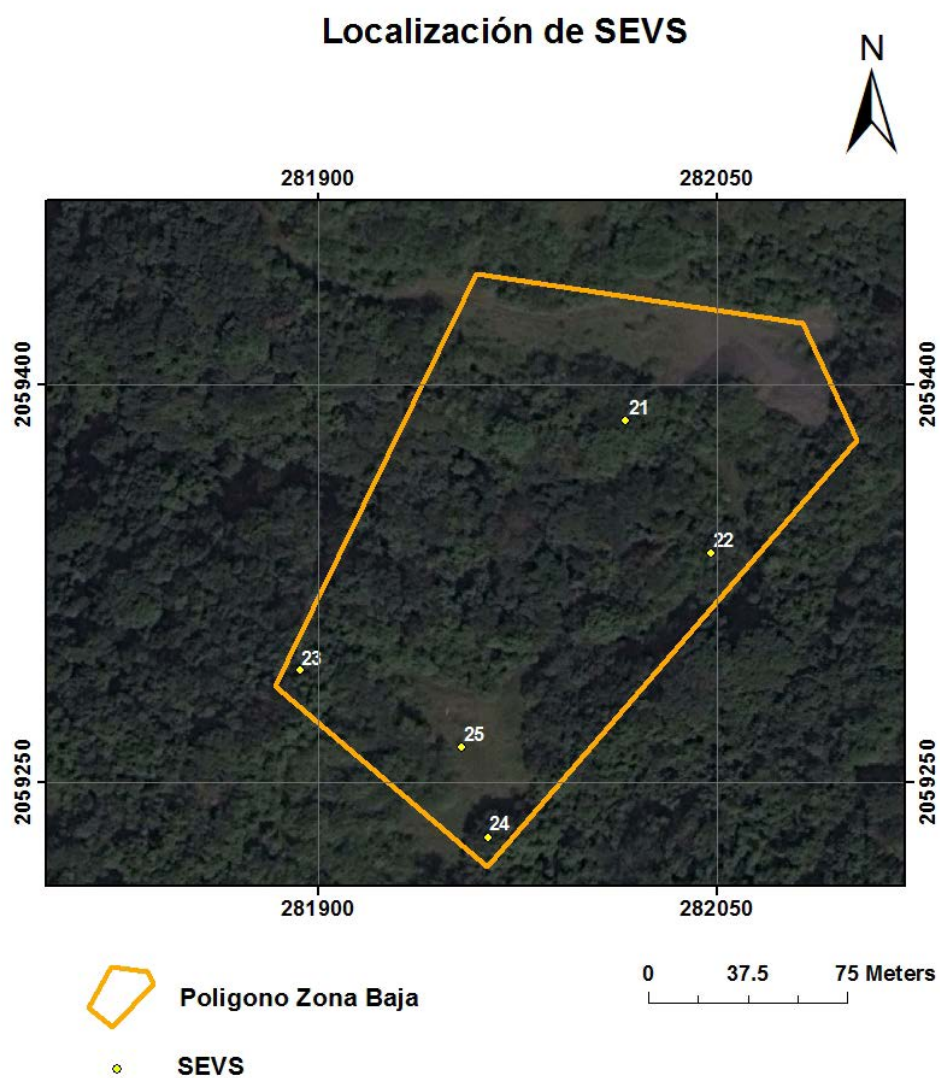


Figura 21. Localización de los SEVs de la zona 3

IV.5 PROCESAMIENTO

Como se mencionó anteriormente, en la segunda etapa se encuentra la fase de procesamiento, el cual constó de meter los datos obtenidos en campo de cada SEV en el programa IPI2win, una vez cargado los datos se obtiene una curva de resistividad aparente.

Sabiendo el número de capas por medio del tipo de curva se puede realizar un ajuste manual de dicha curva, colocando resistividades y espesores para cada capa visualizada. Finalmente como resultado del procesamiento en el programa IPI2win se obtienen las resistividades verdaderas, espesor de las capas, la última capa tiene un espesor indeterminado ya que no se puede determinar su profundidad verdadera, aun sabiendo eso se puede tener el alcance de profundidad al que se llegó.

Posteriormente teniendo el ajuste de las 25 curvas, en el mismo programa se procedió a realizar los perfiles geoelectricos, no es más que la unión de 2 o más sondeos que se encuentran sobre lo más exacto a una línea recta. Cada unidad de los sondeos eléctricos verticales que se hallen dentro del mismo perfil es correlacionada lateralmente, teniendo en cuenta la similitud de resistividades.

Con la observación geológica en campo y con ayuda de la carta geológica del INEGI, los perfiles geoelectricos presentan unidades, las cuales se les da un nombre litológico, por lo tanto, se utilizó el programa Stratter donde se realizaron perfiles geológicos marcando dichas unidades.

Para finalizar esta fase se procedió al cálculo volumétrico. Se realiza una interpolación bidimensional de los perfiles geoelectricos en el programa Surfer. Posteriormente los datos son cargados en el programa Voxler 3 para visualizar las secciones geoelectricas y correlacionarlas, también se procedió a realizar el cálculo del volumen o volúmenes de interés de forma indirecta mediante una interpolación tridimensional.

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 7

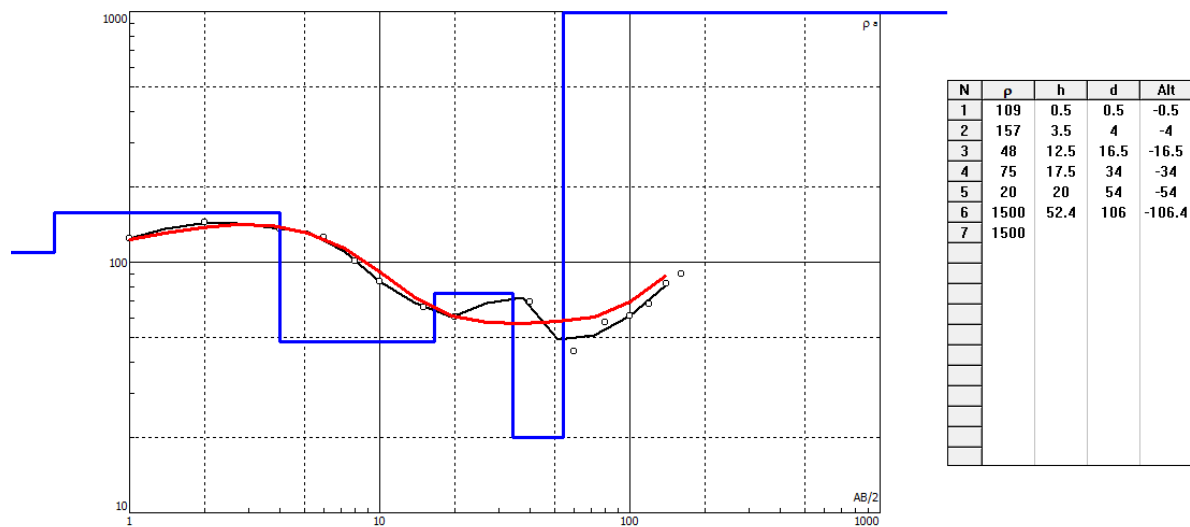


Figura 23. Curva De Resistividad Del SEV 7 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 8

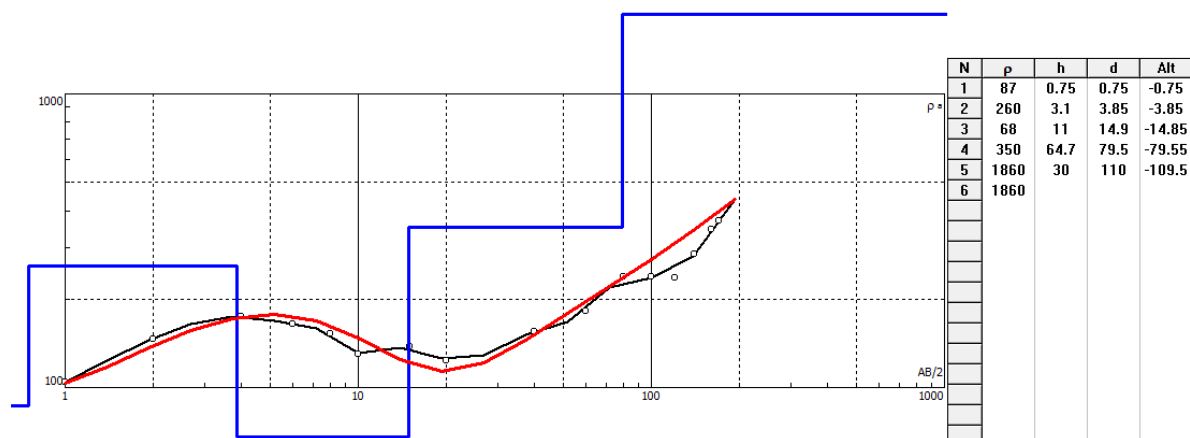


Figura 24. Curva De Resistividad Del SEV 8 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

V.1.2. Zona Media

A esta zona le corresponden los sondeos del 11 al 20, a continuación se presentan 3 de estos sondeos.

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 11

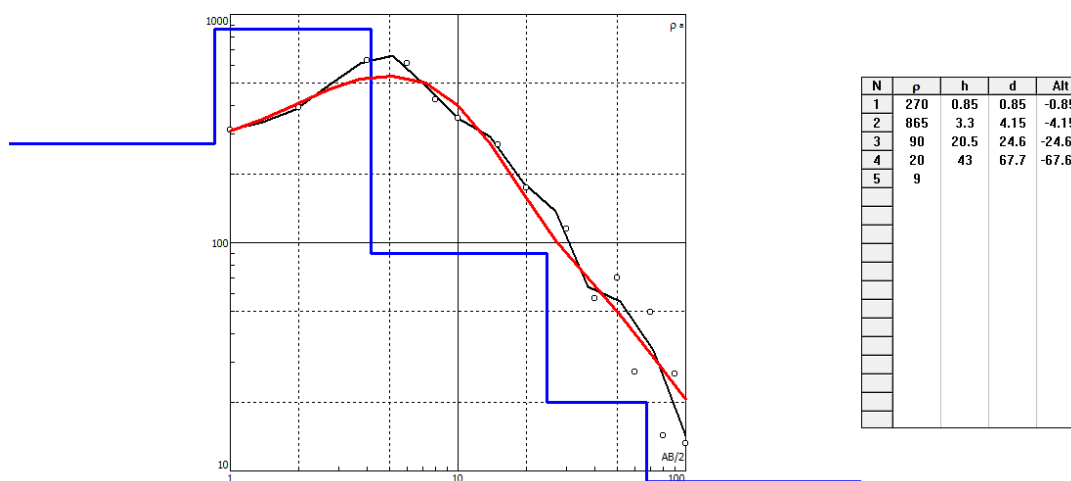


Figura 25. Curva De Resistividad Del SEV 11 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 15

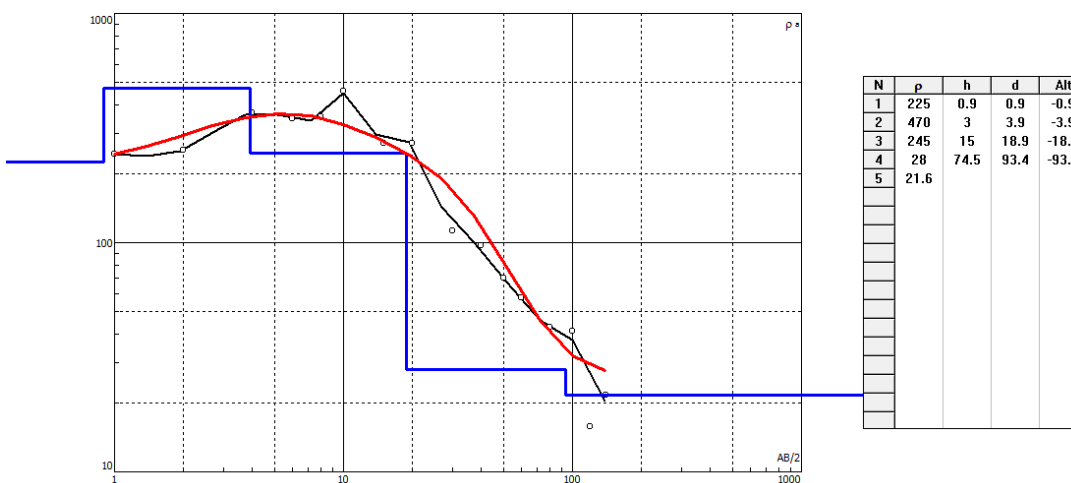


Figura 26. Curva De Resistividad Del SEV 15 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 17

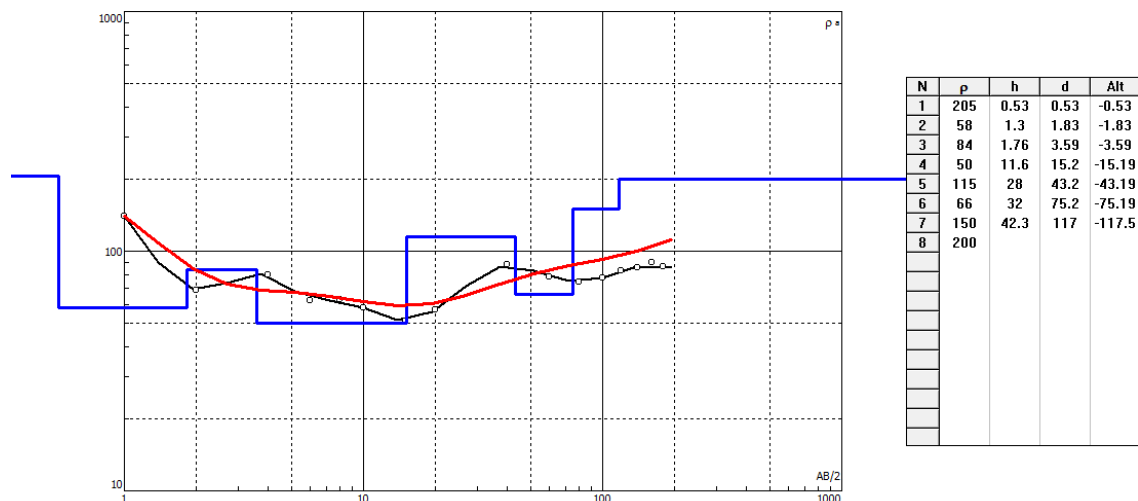


Figura 27. Curva De Resistividad Del SEV 17 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

V.1.3. Zona Baja

Esta zona se compone por los sondeos del 21 al 25, solo 2 de ellos se presentan a continuación.

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 21

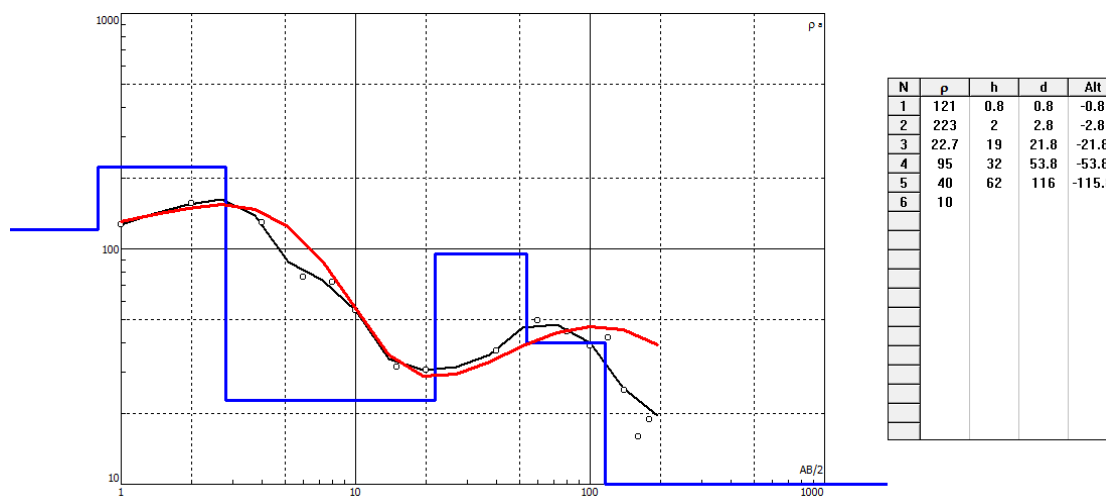


Figura 28. Curva De Resistividad Del SEV 21 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 22

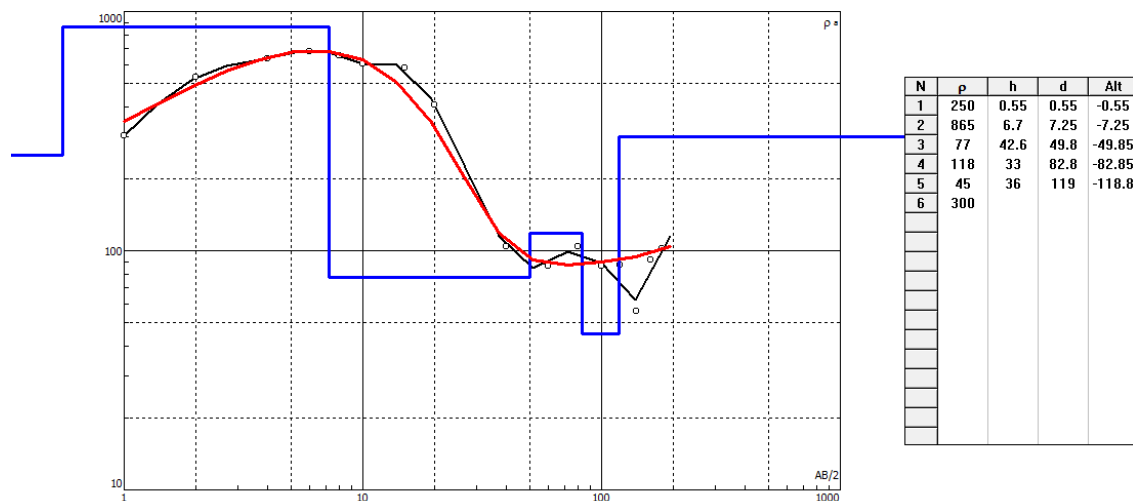


Figura 29. Curva De Resistividad Del SEV 22 En Ohm/Metro (Ωm), Curva De Campo (Línea Negra), Curva Teórica (Línea Roja), Modelo De Resistividad Verdadera (Línea Azul). Tabla Con Valores De Resistividad Verdadera (ρ), Número De Capas (N), Espesores (H) Y Profundidad (D)

V.2. INTERPRETACIÓN

Como se mencionó anteriormente la última fase de la etapa final consta de la interpretación del procesamiento realizado. Donde se analizan las secciones geoeléctricas resultantes del programa IPI2win y las secciones geológicas.

V.2.1. Secciones Geoeléctricas

Se realizó un total de 35 secciones geoeléctricas, de las cuales 13 se utilizaron para la interpretación. A continuación se mencionan las secciones que se ocuparon en sus respectivas zonas.

Analizando las secciones geoeléctricas y con ayuda de la geología local de la zona de estudio, se determinan 3 unidades geoeléctricas que van de los 7 (Ωm) hasta los 2750 (Ωm). De esta manera se logró la interpretación de la secuencia vertical y espesor de las unidades presentes en el área de estudio.

V.2.1.1. Zona Alta

La zona tiene 12 secciones geoeléctricas, de las cuales se necesitaron las secciones 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 12 para la interpretación.

La figura 30 muestra la ubicación de cada sección. La tabla 11 presenta la orientación de las secciones y los sondeos que las conforman.

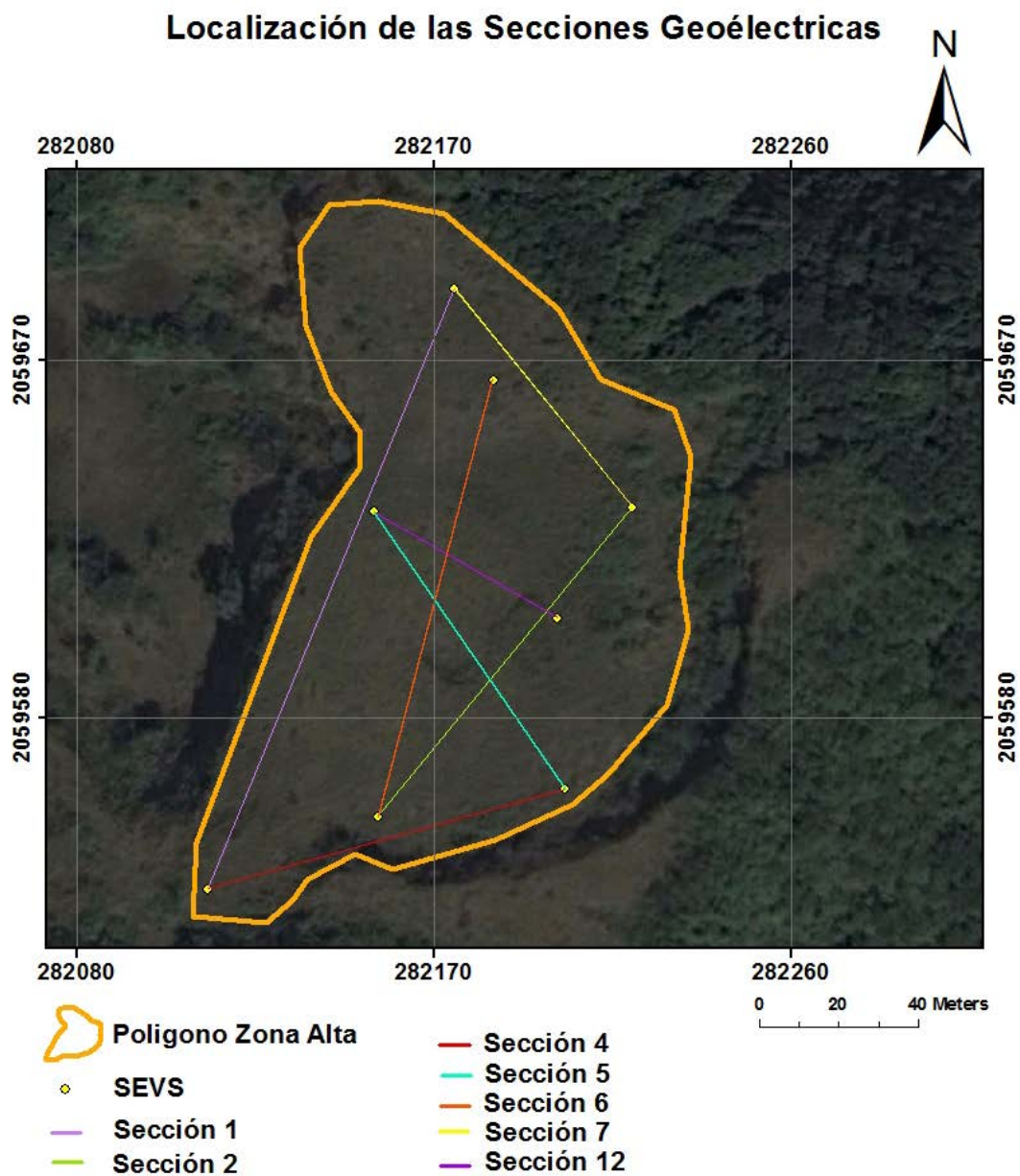


Figura 30. Localización De Las Secciones De La, Zona Alta

Secciones	Orientación	Sondeos
1	SW - NE	1 – 4 – 6 – 5
2	SW - NE	2 – 10 – 9
4	SW – NE	1 – 2 – 3
5	SE - NW	3 – 7 – 6
6	SW – NE	2 – 7 – 9
7	SE – NW	9 – 8 – 5
12	NW – SE	6 – 7 – 10

Tabla 11. Orientación De Las Secciones, Zona Alta

SECCIÓN 1

La sección 1 (Figura 31) tiene una orientación SW – NE con una longitud máxima de 163 m, presenta una altura de 93 msnm en la parte SW y alcanza una altura de 98 msnm en la parte NE, con una profundidad máxima aproximada de 118 m.

Dentro de la sección están los SEVs 1, 4, 6 y 5. En la sección 1 se observan las 3 unidades geoelectricas, la unidad 1 (32 - 148 Ω m) (tonos azules y verde limón) abarca la mayor parte de la sección desde la parte superficial hasta una profundidad casi constante de 83 m. A una longitud de 17 hasta los 69 m se localiza la unidad 3 (875 – 2400) (tonos rosa, amarillo y naranja) con un espesor determinado de 40 m y aumentando indefinidamente. La unidad 2 (265 – 450 Ω m) (tonos verde pistache) se presenta en dos bloques, la primera al NE a una profundidad de 21.5 m con un espesor de 54.5 m, la segunda aparece a los 69 m de longitud hasta el final de la sección a una profundidad de 77.3 m y descendiendo hacia el NE.

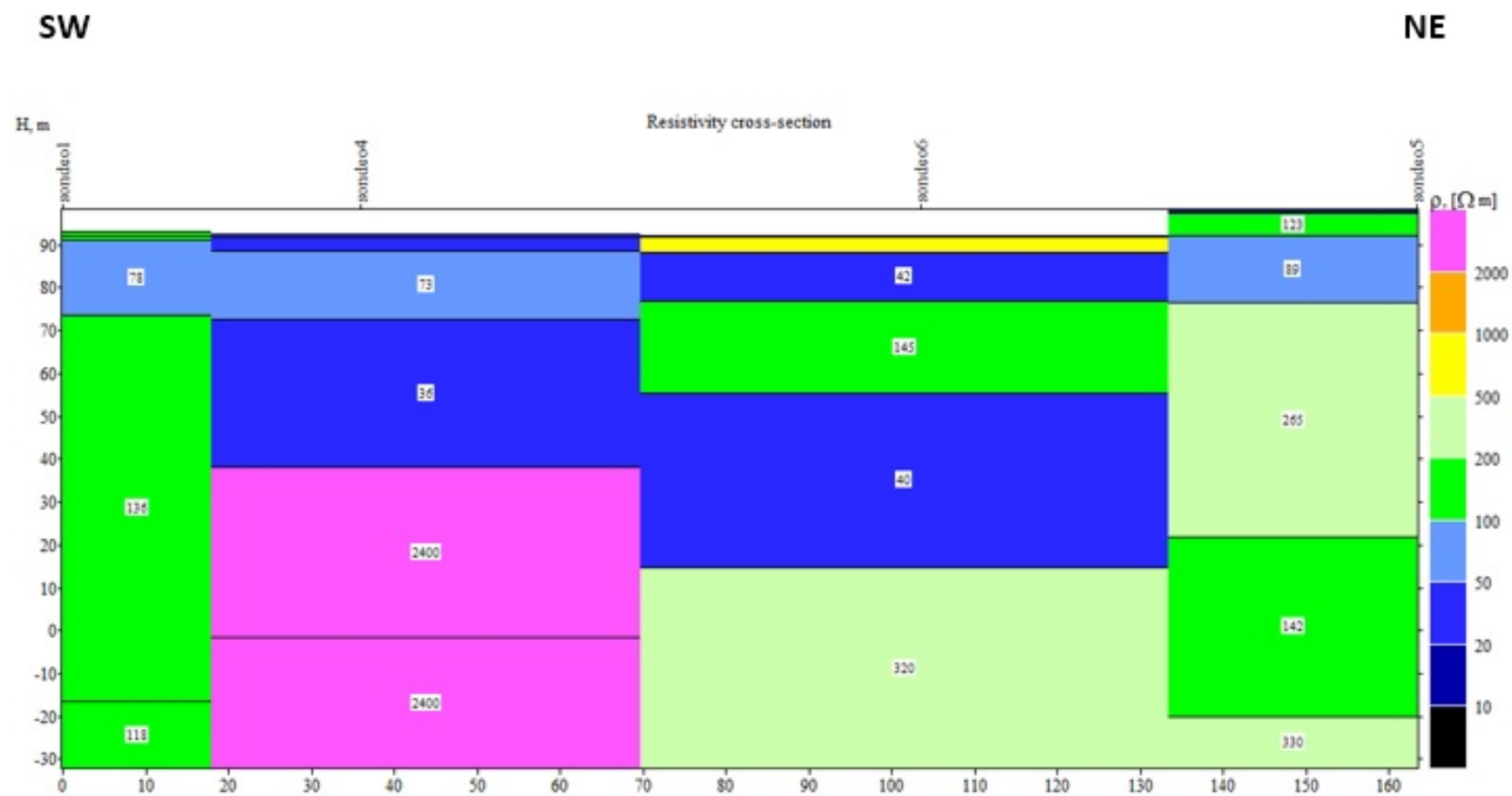


Figura 31. Perfil Geoeléctrico 1

SECCIÓN 2

La sección 2 tiene una orientación SW – NE con una longitud máxima de 100m, presenta una altura de 93.5 msnm al SW y aumentando al NE a 99 msnm, con una profundidad máxima aproximada de 114 m.

En la figura 32 se observan los sondeos que conforman esta sección, los cuales son los SEVs 2, 10 y 9. La sección presenta las tres unidades, encontrándose al SW la unidad 3 (800 – 2350 Ω m) (tonos amarillo, naranja y rosa) a una profundidad de 24 m disminuyendo y desapareciendo hacia el NE a unos 83 m de longitud, esta misma unidad se encuentra a una profundidad de 1.5 m y 0.3 m con espesores menores que van de los 6.5 m a 3.3 m de SW a NE. La unidad 2 (330 – 520 Ω m) (tonos verde y amarillo) se encuentra en la superficie del lado SW con un espesor de 0.5 m, a una longitud aproximada de 33 m deja de aparecer en la superficie, encontrándose a unos 3.6 m en profundidad y aumentando su espesor a 9 m y disminuyendo a 6.3 m al NE, en los 84 m a 100 m de longitud se encuentra la misma unidad siendo la última capa indefinida. Por último la unidad 1 (55 – 230 Ω m) (tonos azules y verde) se encuentra de SW a NE alcanzando un mayor espesor de 102 m a unos 33 m de longitud.

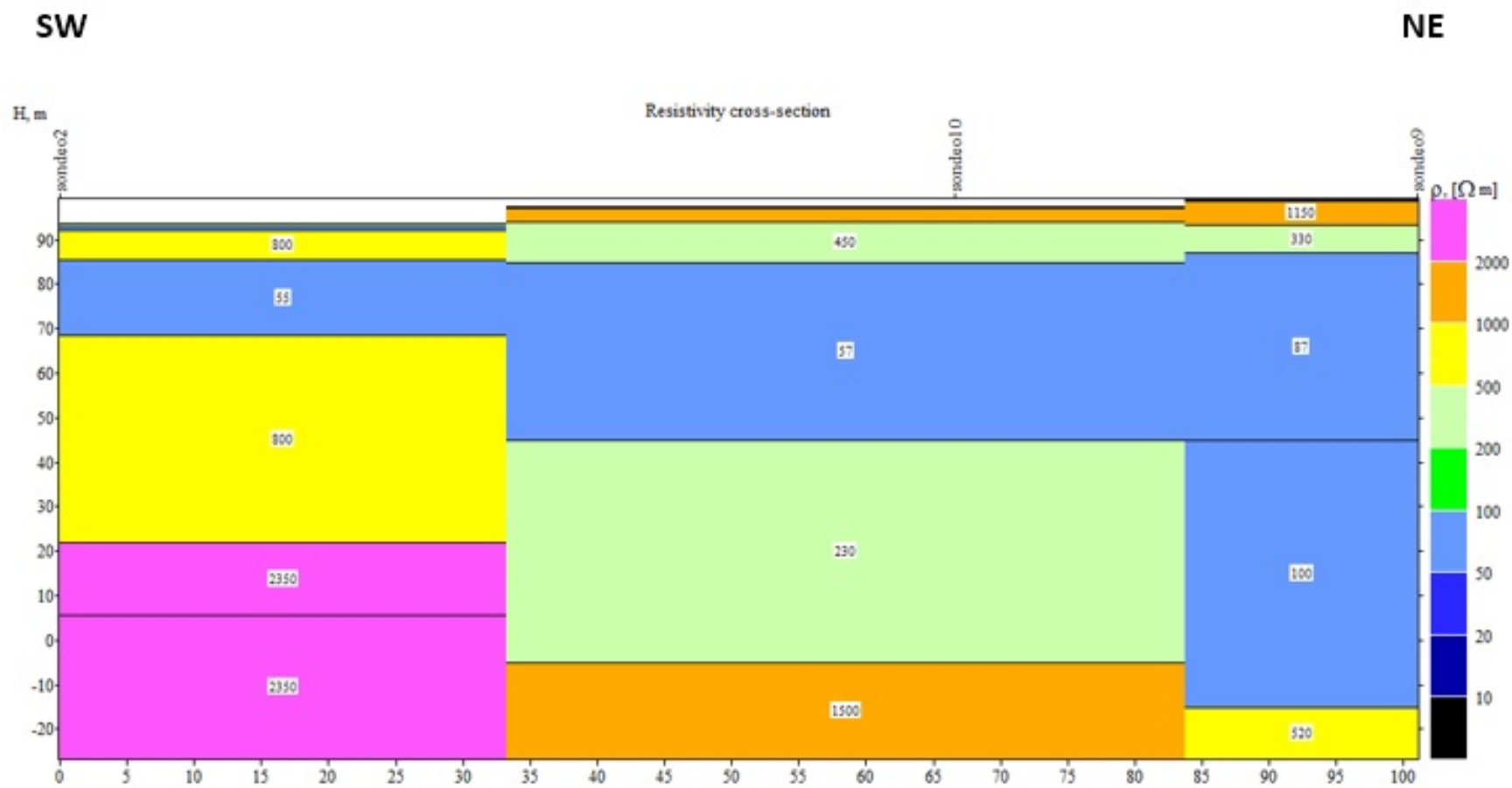


Figura 32. Perfil Geoeléctrico 2

SECCIÓN 4

La sección 4 tiene una orientación SW – NE con una longitud máxima de 94.84 m, del lado NE tiene una altura máxima de 95 msnm disminuyendo a 93 msnm al SW, alcanza una profundidad máxima aproximada de 109 m

En la sección (Figura 33) se encuentran los 3 primeros sondeos, es decir, SEVs 1, 2 y 3. En los primeros 24 m de longitud se encuentra la unidad 1 (30 - 148 Ω m) (tonos azules y verde) abarcando toda la profundidad máxima aproximada. De los 24 a 72 m en longitud a profundidad se encuentra la unidad 3 (800 – 2750 Ω m) (tonos amarillo, rosa) con un espesor de 63 m, teniendo sobre ella la unidad 1 con espesor de 17 m., llegando a la superficie se encuentra nuevamente la unidad 3 con un espesor de 6.5 m, la unidad 1 con espesor de 1 m y finalmente la unidad 2 (350 – 655 Ω m) (tonos verde y amarillo) con espesor de 0.5 m.

Del lado NE en los últimos 22.84 m. se encuentra sobre la superficie la unidad 3 con espesor de 0.4 m, la unidad 2 se encuentra en dos bloques ya que entre ellos está la unidad 1 con un espesor de 28.5 m, el primer bloque tiene un espesor de 8 m y el segundo se localiza a una profundidad de 36.9 m hasta los 81.9 m aproximadamente.

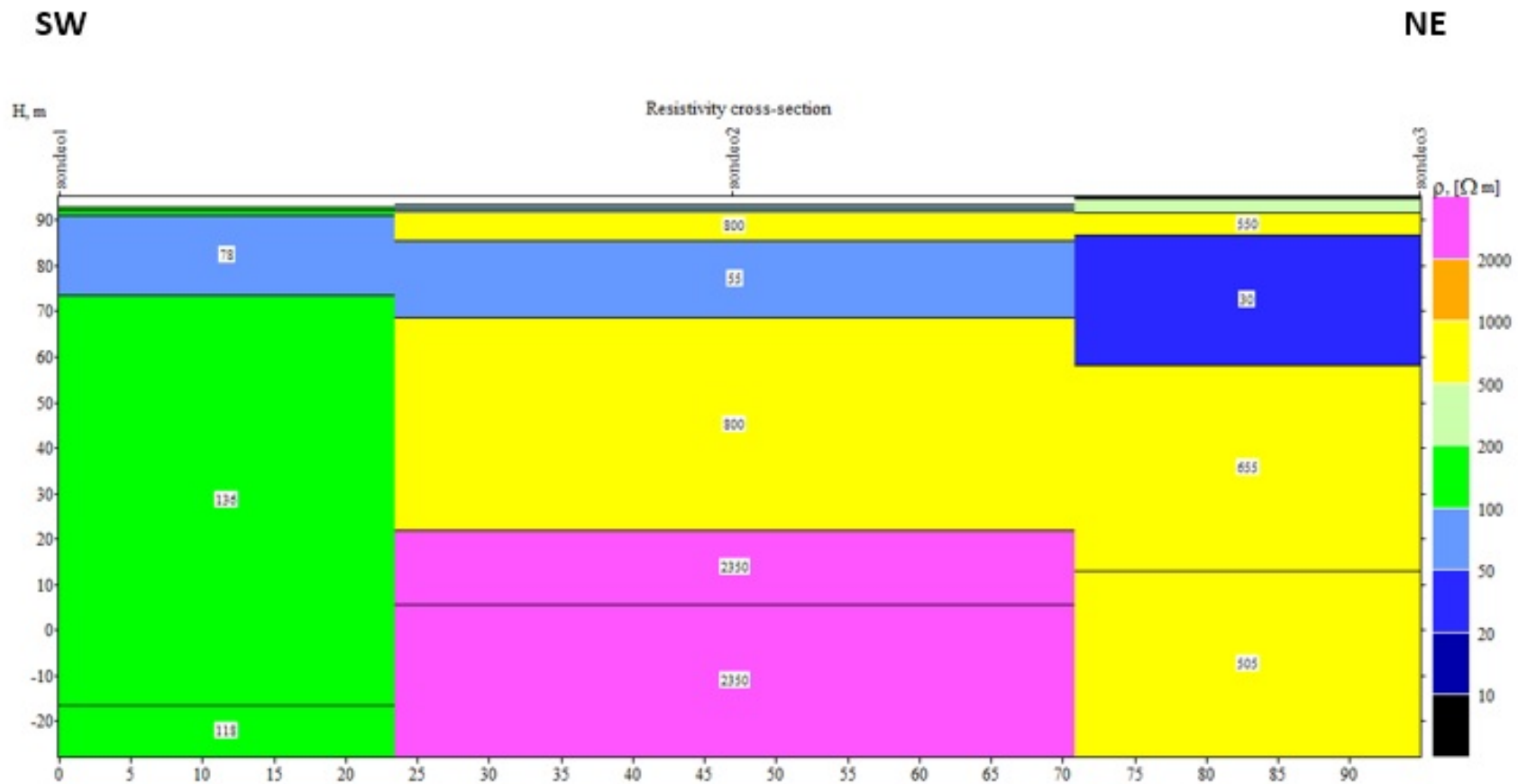


Figura 33. Perfil Geoeléctrico 4

SECCIÓN 5

La sección 5 tiene una orientación SE – NW con una longitud máxima de 86 m, del lado SE tiene una altura de 93 msnm descendiendo hacia el NW a 92 msnm, con una profundidad máxima aproximada de 106 m.

Dentro de la sección están los SEVs 3, 7 y 6 (Figura 34). A lo largo de la sección está presente la unidad 1 (20 – 157 Ω m) (tonos azul y verde limón) con espesor de 28.5 m aumentando a 73.6 m a los 74 m de longitud. En los primeros 33 m de longitud en la superficie se encuentra la unidad 3 (875 – 2750 Ω m) (tonos naranja, amarillo) y por debajo la unidad 2 (320 – 655 Ω m) (tonos verde pistache y amarillo) con espesores de 0.4 m y 8 m respectivamente, en los últimos 12 m de longitud se encuentran estas mismas unidad de modo opuesto, es decir, en la superficie esta la unidad 2 con espesor de 0.3 m y debajo la unidad 3 con un espesor de 3.4 m.

A una profundidad de 36.9 m y al inicio de la sección está la unidad 2 teniendo una ligera pendiente hacia el NW, de los 31 m hasta los 74 m aproximadamente de longitud aparece la unidad 3 a una profundidad de 54 m.

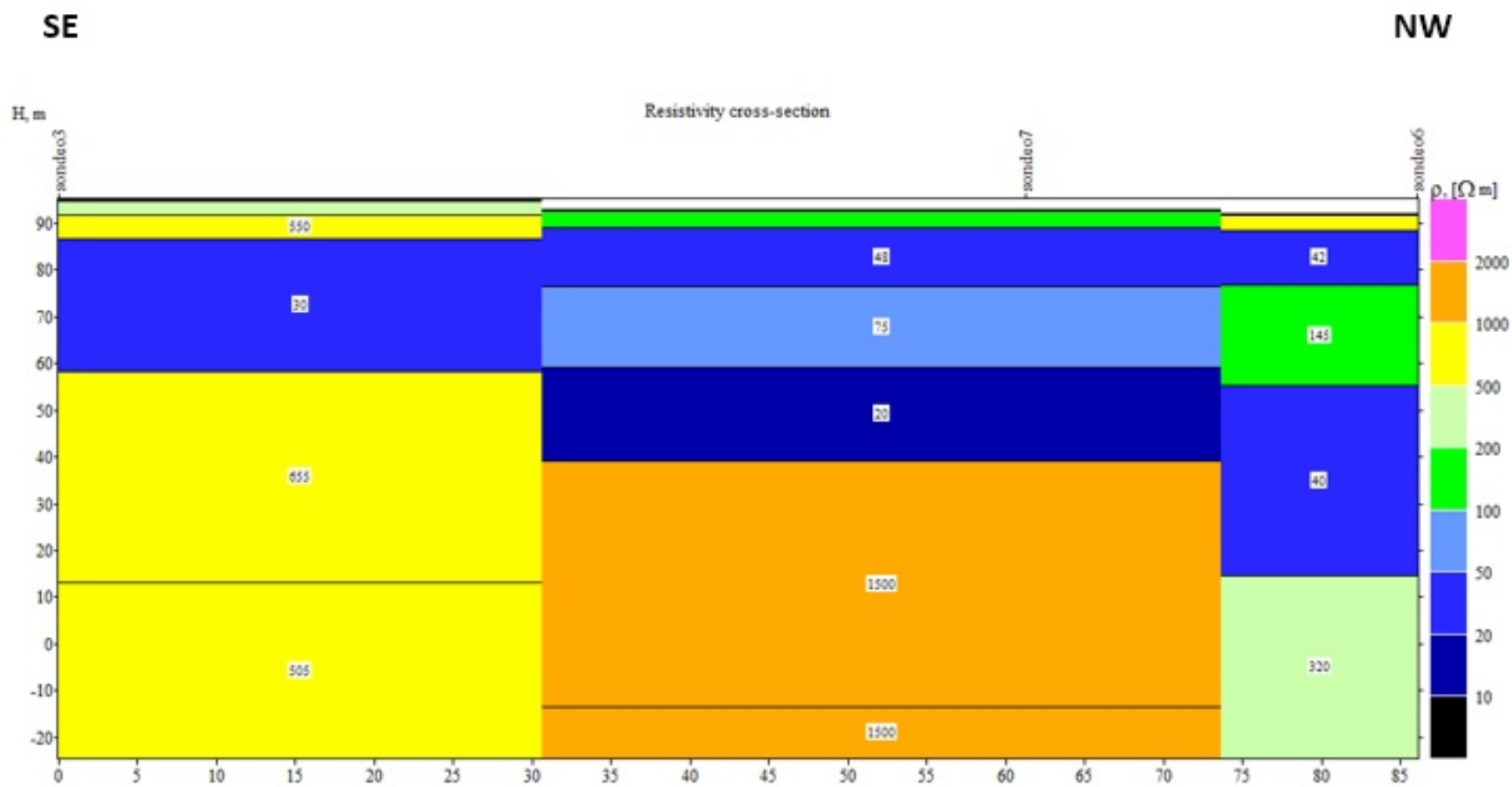


Figura 34. Perfil Geoelectrico 5

SECCIÓN 6

La sección 6 (Figura 35) tiene una orientación SW – NE con una longitud máxima aproximada de 114.46 m, presenta una altura de 93.5 msnm del lado SW y aumenta hacia el NE a 98 msnm, cuenta con una profundidad máxima aproximada de 110 m.

La sección está conformada por los SEVs 2, 7 y 8. Se pueden observar dos unidades principales en toda la longitud de la sección. La unidad 3 es la más profunda (800 – 2350 Ω m) (tonos amarillos, naranja, rosas), localizada a 25 m de profundidad y aumentando hacia el NE a 79.55 m, esta unidad también es encontrada a 1.5 m de profundidad en los 32 m de longitud, con un espesor de 6.5 m. La unidad 1 (20 – 157 Ω m) (tonos azules y verde limón) se encuentra sobre la unidad 3 hasta los 89 m en longitud, con un espesor máximo de 54 m entre los 32 m y 89 m de longitud. La unidad 2 (260 – 350 Ω m) (tonos verde pistache) se presenta de los 89 m de longitud hasta el final de la sección a unos 14.85 m de profundidad con un espesor de 64.7 m, también se presenta la misma unidad en la superficie en los primeros 32 m con un espesor de 0.5 m y en los últimos 25.46 m se ubica a 0.75 m de profundidad con espesor de 3.1 m.

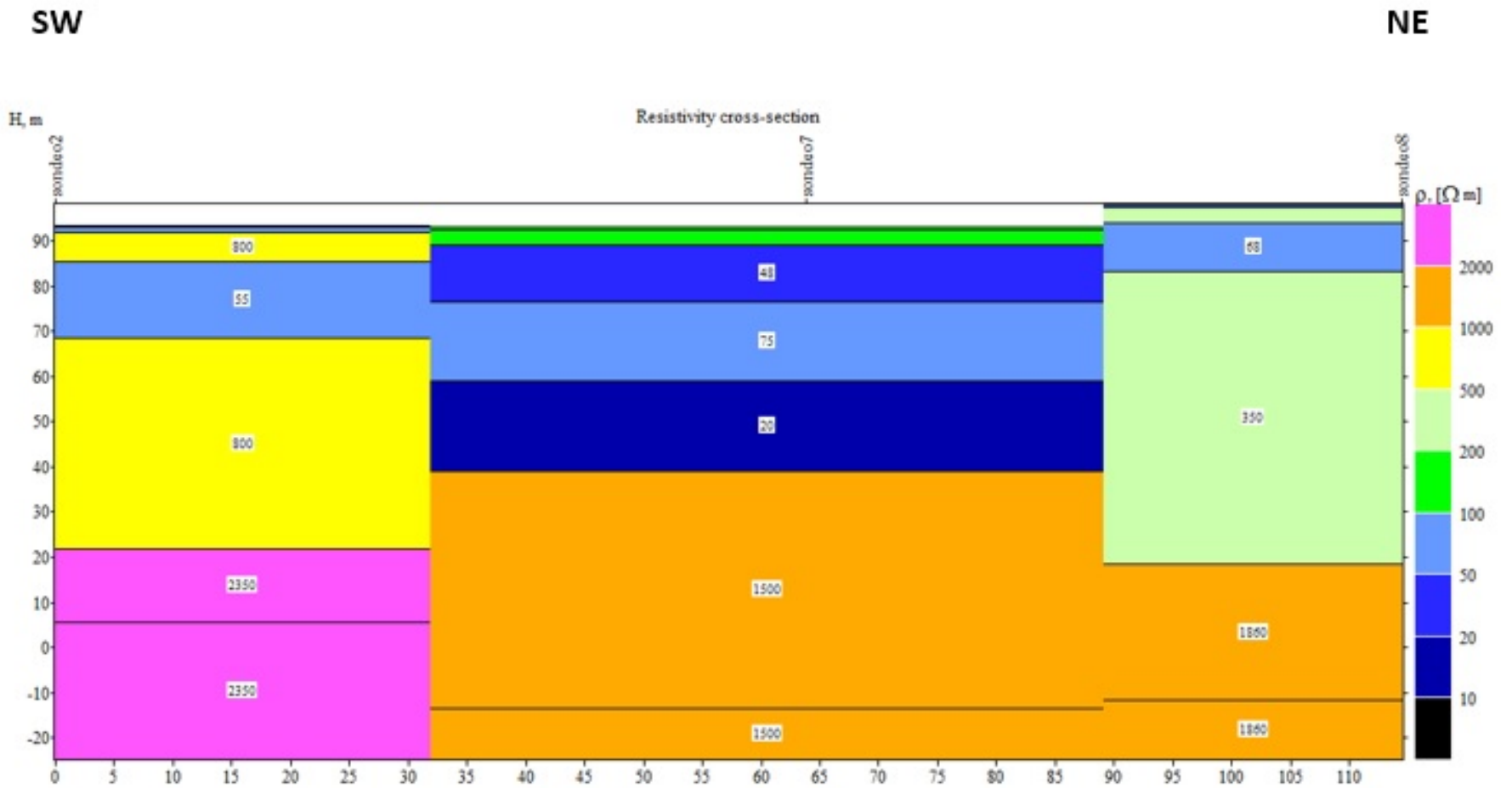


Figura 35. Perfil Geoeléctrico 6

SECCIÓN 7

La sección 7 (Figura 36) tiene una orientación SE – NW con una longitud máxima de 73.22 m, presenta una altura de 99 msnm en la parte SE y disminuye un metro al NW, con una profundidad máxima aproximada de 118 m.

En la sección están presentes los SEVs 9, 8 y 5. Se observa la unidad 1 (32 – 153 Ω m) (tonos azules y verde limón) con espesor máximo de 102 m en los primeros 24 m de longitud. La unidad 2 (260 – 520 Ω m) (tonos verde pistache y amarillo) se encuentra sobre la unidad 1 hasta los 61 m de longitud con espesor de 6.3 m disminuyendo a 3.1 m, del lado SE se encuentra a una profundidad de 5.75 m disminuyendo a 0.75 m, la unidad 2 también es encontrada al inicio de la sección a una profundidad de 114 m disminuyendo a 14.85 m en la parte media de la sección y volviendo aumentar a 21.5 m hasta el final de la sección. La unidad 3 (1150 – 1860 Ω m) (tonos naranjas) se presenta en menor proporción en los primeros 24 m de longitud casi en la superficie, es decir, a 0.45 m de profundidad, con espesor de 5.3 m, la misma unidad se encuentra de los 24 m a 61 m de longitud, a una profundidad de 79.55 m.

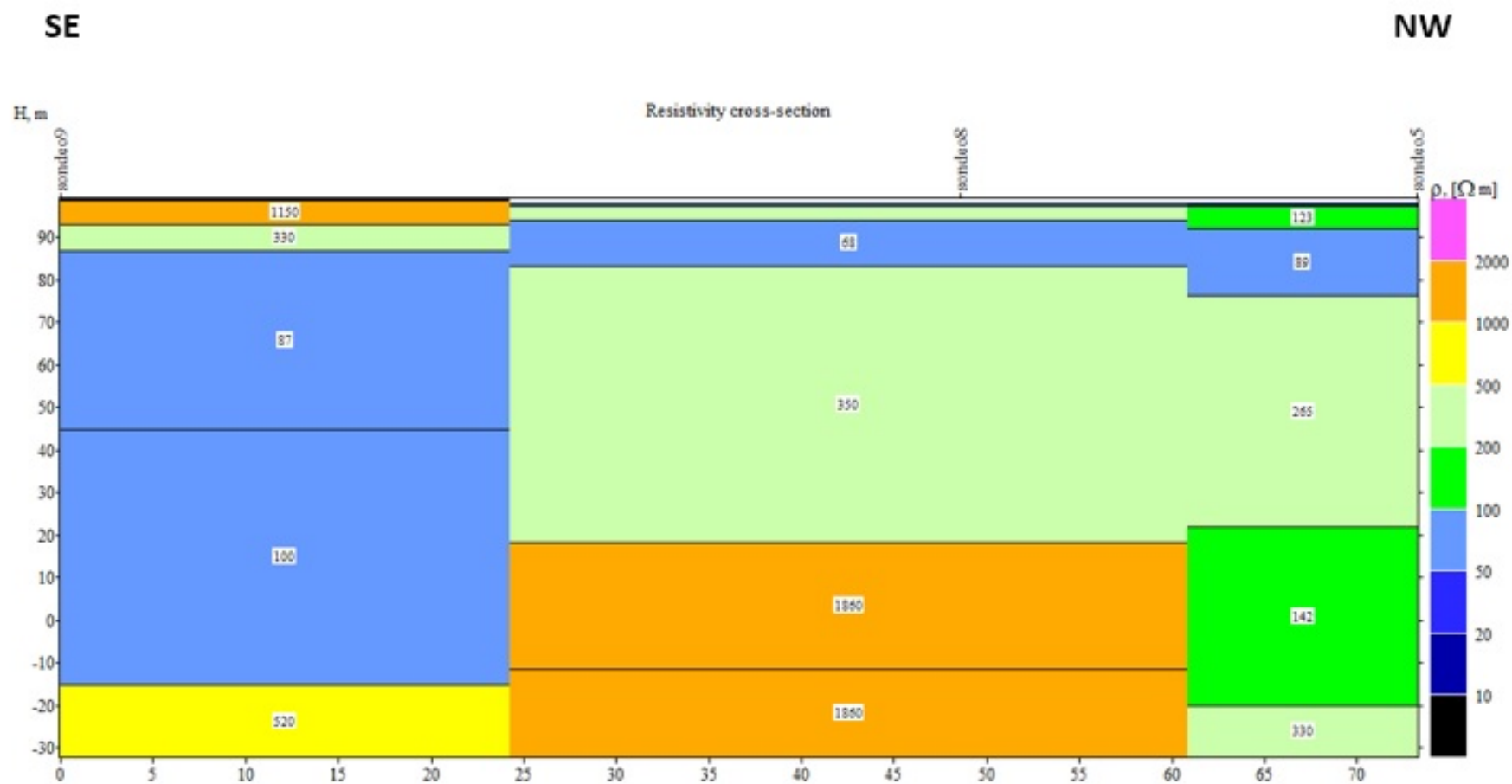


Figura 36. Perfil Geoeléctrico 7

SECCIÓN 12

La sección 12 tiene una orientación NW – SE con una longitud máxima de 54.23 m, tiene una altura de 92 msnm y alcanza una altura de 97.5 msnm al SE, presenta aproximadamente una máxima profundidad de 106 m.

Los SEVs 6, 7 y 10 conforman esta sección (Figura 37). La unidad 1 (20 – 230 Ω m) (tonos azules y verde limón) está a lo largo de la sección, los primeros 12 m se ubica a 3.7 m de profundidad con espesor de 73.6 m, de los 12 m – 39 m en longitud se encuentra sobre la superficie con un espesor de 36 m y en los últimos 15.23 m se presenta en la superficie con un espesor de 0.3 m y a una profundidad de 12.6 m con espesor de 90 m. La unidad 2 (320 – 450 Ω m) (tonos verde pistache) se encuentra en los primeros 12 m de longitud a una profundidad de 77.3 m siendo esta la capa indeterminada de este punto, también se observa en los últimos 15.23 m a una profundidad de 3.6 m con espesor de 9 m. Por último la unidad 3 (875 – 1500 Ω m) (tonos naranja y amarillo) con un espesor de 3.4 m se encuentra en los primeros 12 m de longitud a poca profundidad (0.3 m), esta misma unidad se ubica de los 12 m a 39 m con un espesor aproximado de 52.4 m y a una profundidad de 54 m, de los 39 m al final de la sección cambia a un espesor indeterminado y la profundidad de localización aumenta a 102.6 m

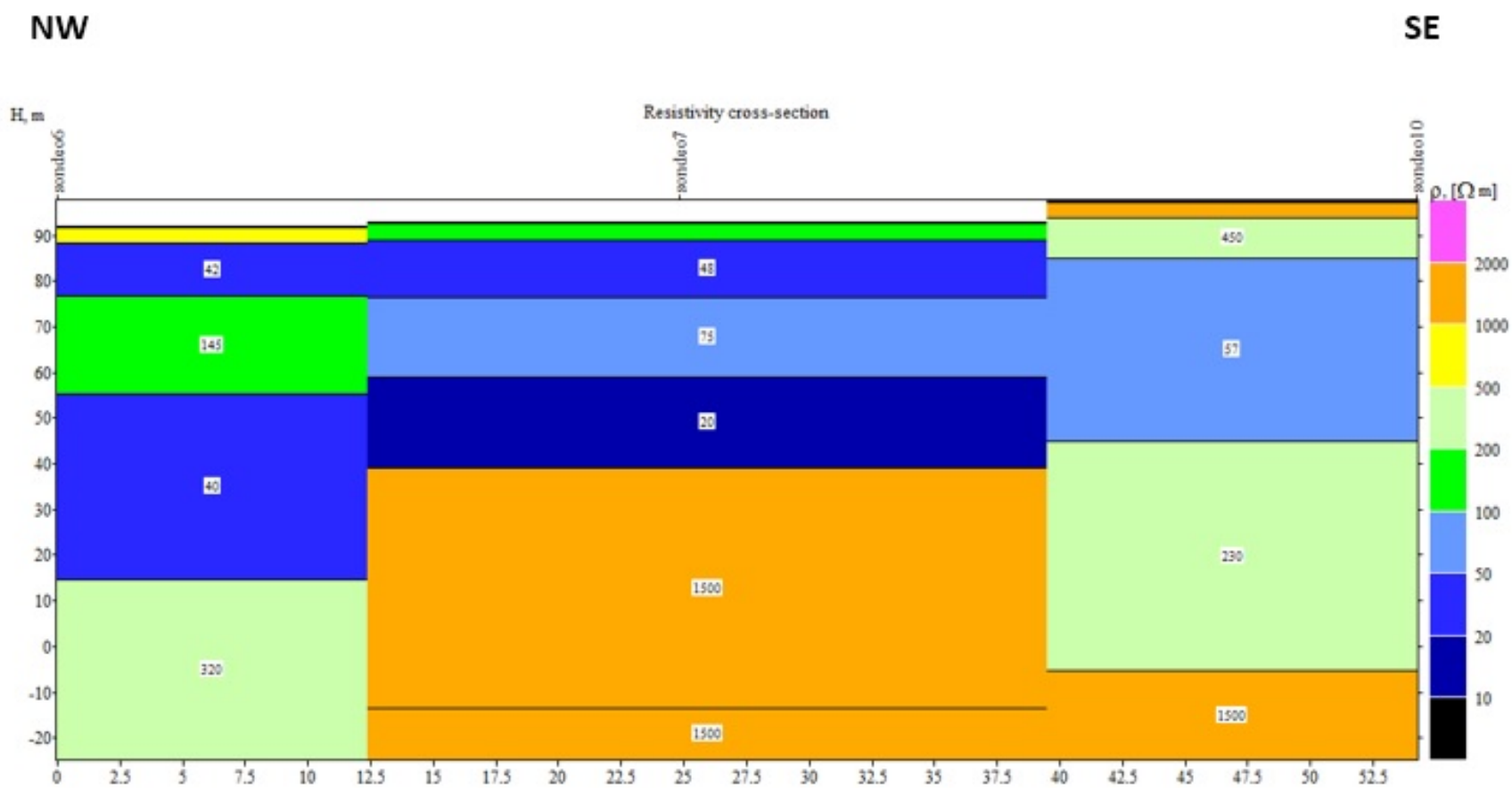


Figura 37. Perfil Geoeléctrico 12

V.2.1.2. Zona Media

La zona tiene 11 secciones geoeléctricas, de las cuales se necesitaron las secciones 1, 2, 3 y 4.

La figura 38 muestra la ubicación de cada sección y la tabla 12 la orientación de cada una.

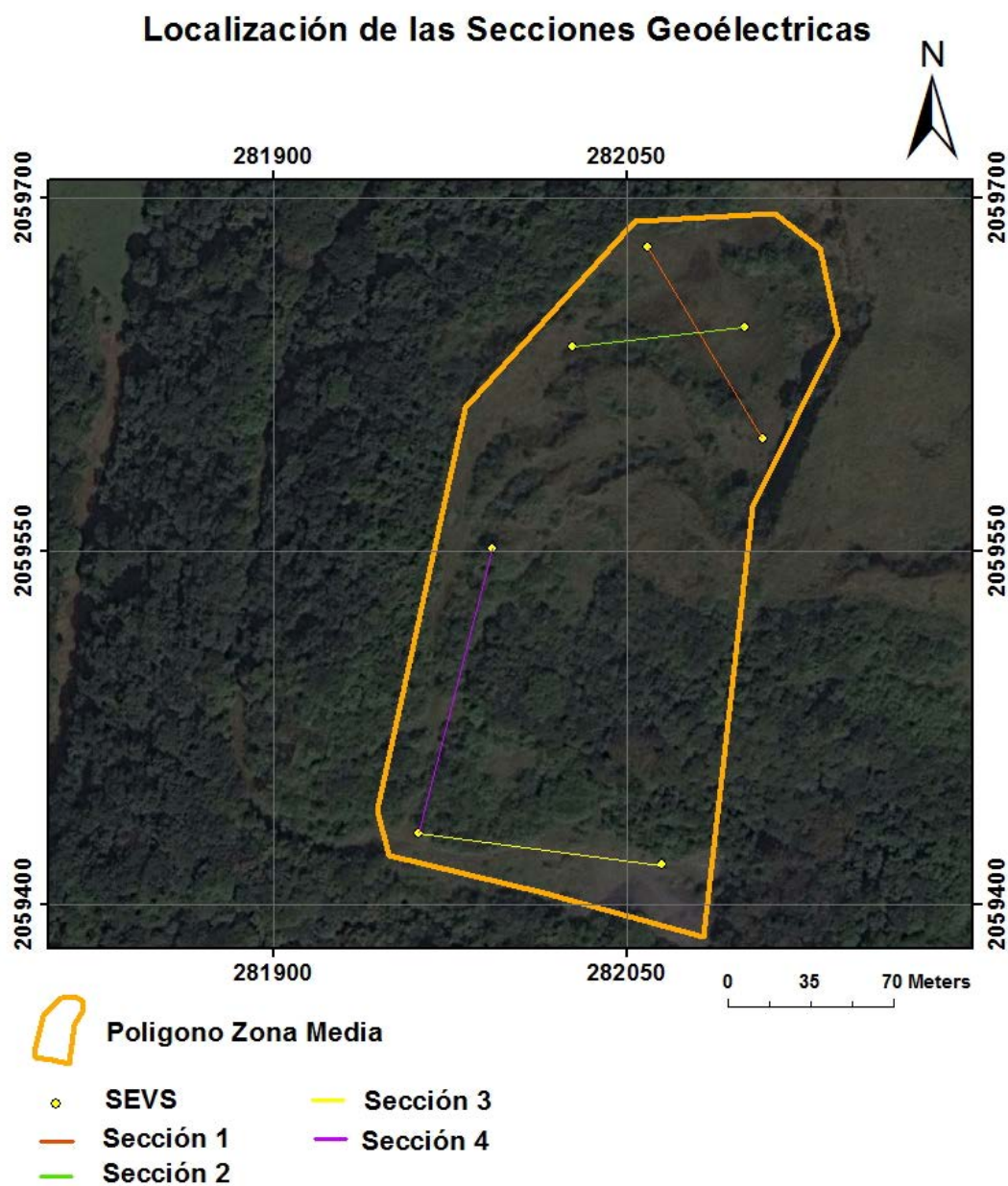


Figura 38. Localización De Las Secciones De La, Zona Media

Secciones	Orientación
1	SE – NW
2	NE – SW
3	SE – NW
4	NE – SW

Tabla 12. Orientación De Las Secciones, Zona Media

SECCIÓN 1

La figura 39 muestra la sección 1, tiene una orientación SE – NW con una longitud máxima de 95.93 m, presentan una altura de 79.5 msnm al SE y desciende a 74 msnm al NW, cuenta con una profundidad máxima aproximada de 93.8 m.

La sección cuenta con los SEVs 11, 13 y 14. En los primeros 26 m de longitud se presentan las tres unidades, la de mayor espesor es la unidad 1 (7- 120 Ω m) (tonos negro, azules y verde limón) con 89.7 m aproximadamente, sobre ella está la unidad 3 (750 – 865 Ω m) (tonos amarillo) con un espesor de 3.3 m y en la superficie se encuentra la unidad 2 (255 – 650 Ω m) (tonos amarillo y verde pistache) con un espesor de 0.85 m. De los 26 m a 74.5 m de longitud, se encuentra en la superficie la unidad 2 con un espesor de 2.4 m, por debajo con un espesor de 53 m esta la unidad 1 a una profundidad de 2.4 m, la unidad 2 se vuelve a encontrar a una profundidad de 55.4 m con un espesor de 38.4 m, como última capa e indeterminada se encuentra nuevamente la unidad 3. En los últimos 21.43 m de longitud esta la unidad 1 desde la superficie hasta los 14.35 m, por debajo se presenta la unidad 2 abarcando toda la profundidad restante de la sección.

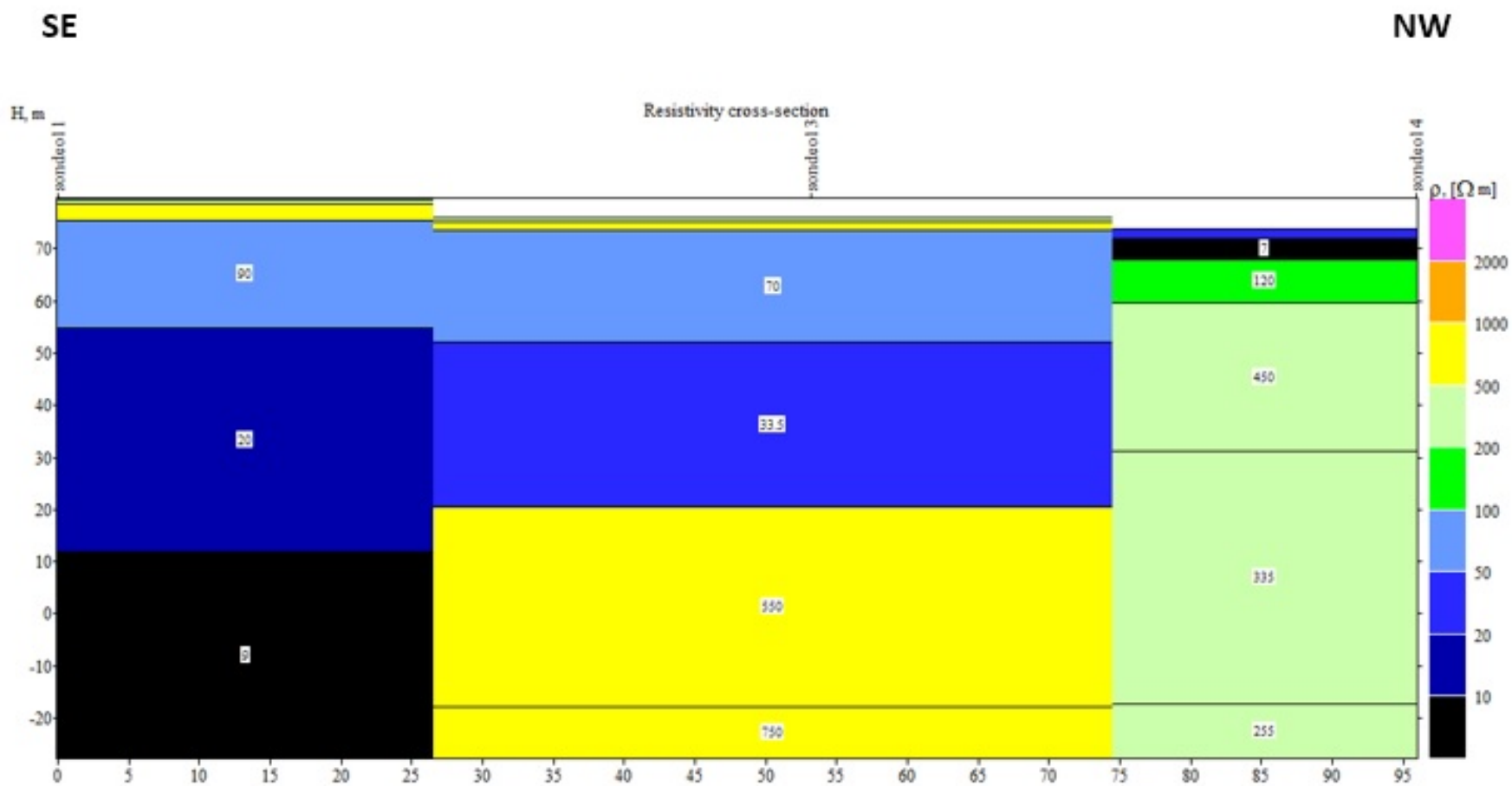


Figura 39. Perfil Geoeléctrico 1

SECCIÓN 2

La sección 2 (Figura 40) tiene una orientación NE – SW con una longitud máxima de 74.41 m, presenta una altura de 77 msnm en la parte NE y de 75 msnm al SW, con una profundidad máxima aproximada de 93.8 m.

La sección cuenta con los SEVs 12, 13 y 15. La unidad 2 (235 – 650 Ω m) (tonos verde pistache y amarillo) se encuentra en la superficie, teniendo un espesor de 3 m al NE, alcanzando un espesor de 18.9 m hacia el SW, vuelve a presentarse con un espesor de 38.4 m entre los 9.5 m y 47 m de longitud a una profundidad de 55.4 m. La unidad 1 (13 – 225 Ω m) (tonos azules y verde limón) se presenta a una profundidad aproximada de 3 m en los primeros 47 m de longitud aumentando a 18.9 m en los últimos 27.41 m abarcando toda la profundidad de la sección, con excepción de los 9.5 m a 47 m. La unidad 3 (750 Ω m) (tono amarillo) solo aparece entre los 9.5 m y 47 m de longitud como la capa indeterminada a los 93.8 m de profundidad.

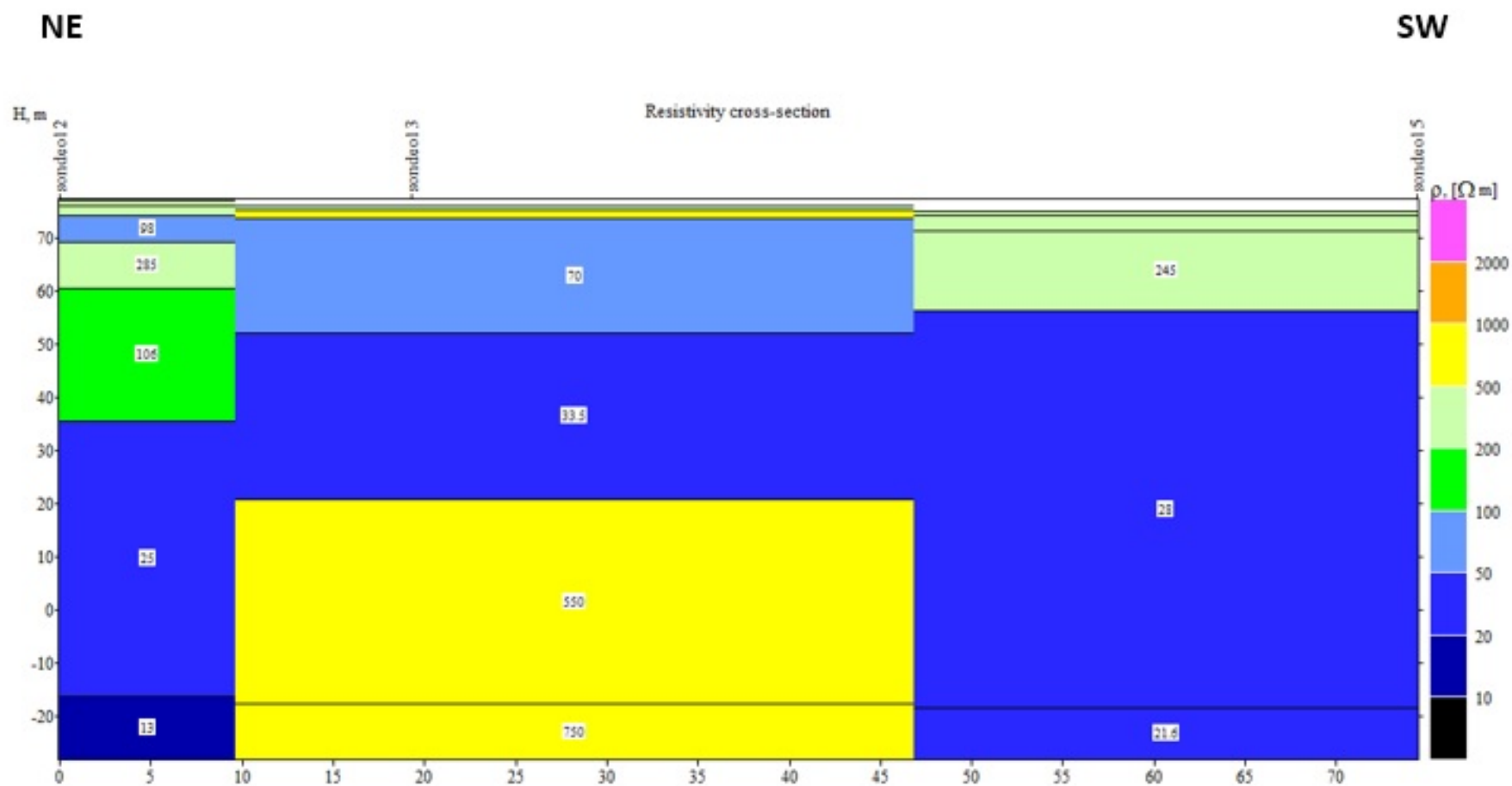


Figura 40. Perfil Geoeléctrico 2

SECCIÓN 3

La sección 3 (Figura 41) tiene una orientación SE – NW con una longitud máxima de 103.18 m, presenta una altura de 75 msnm al SE y desciende hacia el NW a 70.5 msnm, con una profundidad máxima aproximada de 134 m.

Los SEVs que conforman la sección son 19, 20 y 18. En la sección 3 se presenta la unidad 1 (15.7 – 135 Ω m) (tonos azules y verde limón) a una profundidad de 2.13 m en los primeros 26 m de longitud con un espesor de 62.66 m, de los 26 m a 78 m se encuentra a los 1.9 m en profundidad con un espesor de 5.2 m y a los 16.97 m de profundidad con un espesor de 141 m, hacia el NW en los últimos 25.18 m de longitud la unidad 1 se encuentra desde la superficie hasta los 88.41 m. La unidad 2 (268 – 660 Ω m) (tonos amarillo y verde pistache) se encuentra en la superficie de los 0 m a 78 m de longitud con espesor de los 0.75 m y disminuyendo a 0.45 m, entre los 26 m – 78 m de longitud la unidad se localiza a una profundidad de 7.1 m con un espesor de 9.87 m, a una profundidad de 101.29 m en los primeros 26 m existe un bloque de esta unidad siendo indeterminado su espesor, en los últimos 25.18 m en longitud esta unidad aparece con un espesor de 30 m a una profundidad de 88.41 m. La unidad 3 (786 – 930 Ω m) (tonos amarillos) se localiza en primer lugar a una profundidad de 0.75 m disminuyendo a 0.45 m de los 0 m a 78 m con espesor promedio de 1.41 m, en segundo lugar la unidad 3 se localiza a una profundidad de 64.79 m en los primeros 26 m con espesor de 36.5, en los 26 m de longitud aumenta de profundidad a 128.97 m y a los 78 m de longitud disminuye nuevamente a una profundidad de 118.41 m, teniendo espesor indeterminado de los 26 m hasta el final de la sección.

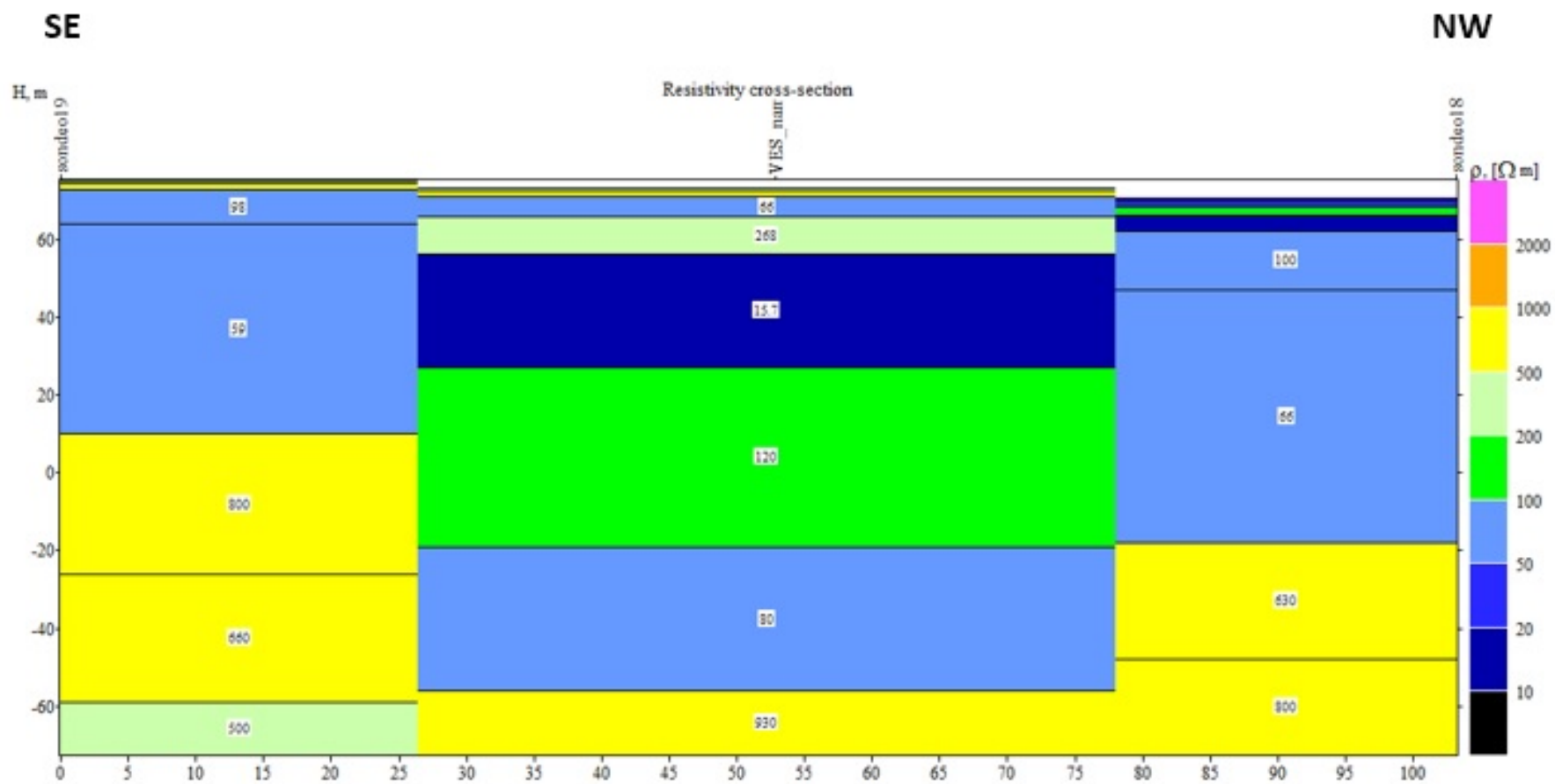


Figura 41. Perfil Geoeléctrico 3

SECCIÓN 4

La sección 4 (Figura 42) tiene una orientación NE – SW con una longitud máxima de 125.46 m, presenta una altura de 79.5 msnm al NE descendiendo hacia el SW a 70.5, con una profundidad máxima aproximada de 118 m.

Dentro de la sección están los SEVs 16, 17 y 18. La unidad que cubre casi todo la sección es la unidad 1 ($7.2 - 205 \Omega\text{m}$) (tonos negro, azules y verde limón) estando desde la superficie en toda la longitud, en los primeros 34.5 m de longitud tiene un espesor de 16.83 m, de los 34.5 m a 95.5 m de longitud su espesor máximo aproximado es de 117 m disminuyendo a 88.41 m de los 95.5 m al final de la longitud de la sección. La unidad 2 ($350 - 630 \Omega\text{m}$) (tonos verde pistache y amarillo) se localiza entre los 0m y 34.5 m en longitud a una profundidad de 16.83 con espesor aproximado de 97.7 m, también se encuentra en los últimos 29.96 m de longitud a una profundidad de 88.41 m con un espesor de 32.6 m. La unidad 3 ($800 \Omega\text{m}$) (tono amarillo) se localiza como última capa indeterminada en los últimos 29.96 m de longitud.

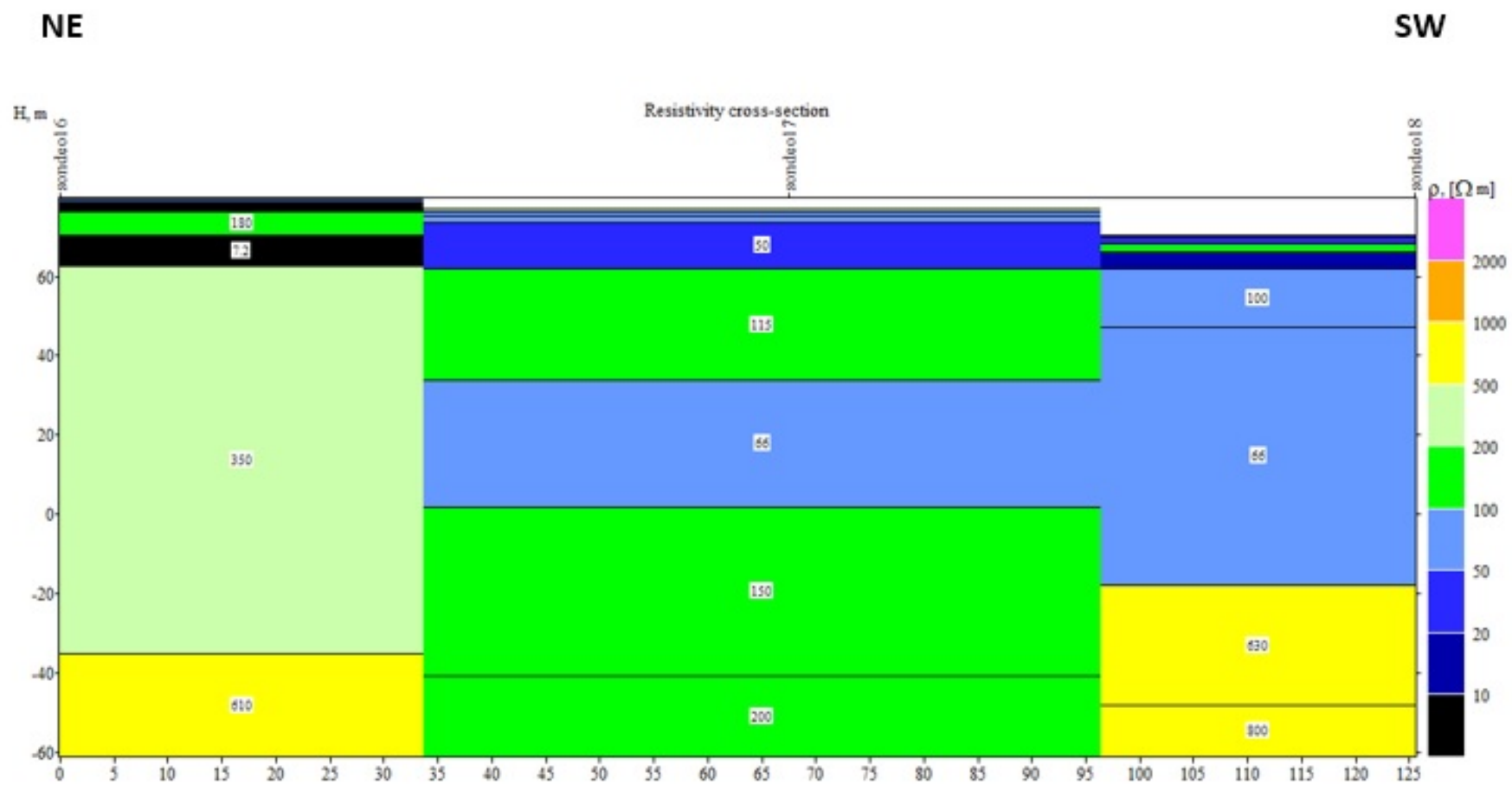


Figura 42. Perfil Geoeléctrico 4

V.2.1.3. Zona Baja

La zona tiene 11 secciones geoeléctricas, de las cuales se necesitaron las secciones 2 y 3.

La figura 43 muestra la ubicación de cada sección y la tabla 13 la orientación de cada una.

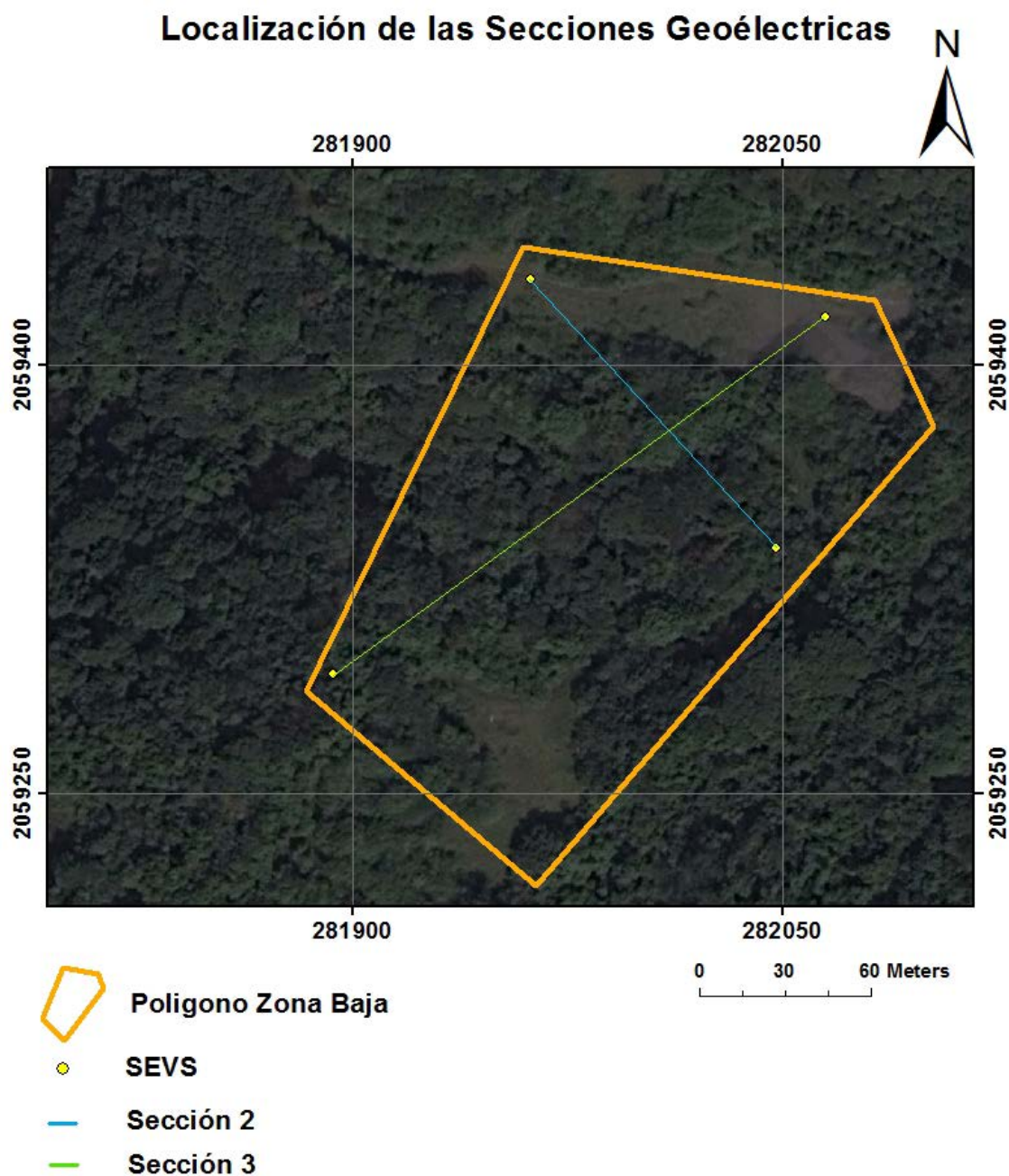


Figura 43. Localización De Las Secciones De La, Zona Baja.

Secciones	Orientación
2	NW - SE
3	SW - NE

Tabla 13. Orientación De Las Secciones, Zona Baja.

SECCIÓN 2

La sección 2 (Figura 44) tiene una orientación NW – SE con una longitud máxima de 127.42 m, presenta una altura al NW de 70.5 msnm disminuyendo al SE a 65 msnm, con una profundidad máxima aproximada de 119 m.

Dentro de la sección están los SEVs 18, 21 y 22. En la sección 3 se observan las tres unidades geoeléctricas, la unidad 1 (10 – 223 Ω m) (tonos azules y verdes) se encuentra en los primeros 34.5 m de longitud en la superficie con un espesor de 88.41 m, entre los 34.5 m y 98 m la unidad abarca toda la profundidad máxima aproximada, en los últimos 29.42 m de longitud la misma unidad se localiza a una profundidad de 7.25 m teniendo un espesor de 111.6 m. La unidad 2 (250 – 630 Ω m) (tonos amarillo y verde pistache) se presenta con un espesor de 30 m a una profundidad de 88.41 m en los primeros 34.5 m y en los últimos 29.42 m de longitud se localiza esta unidad como capa indeterminada. La unidad 3 (800 – 865 Ω m) (tonos amarillo) se localiza como capa indeterminada de los 0 m a 34.5 m de longitud, también se encuentra en los últimos 29.42 m a una profundidad de 0.55 m con un espesor de 6.7 m.

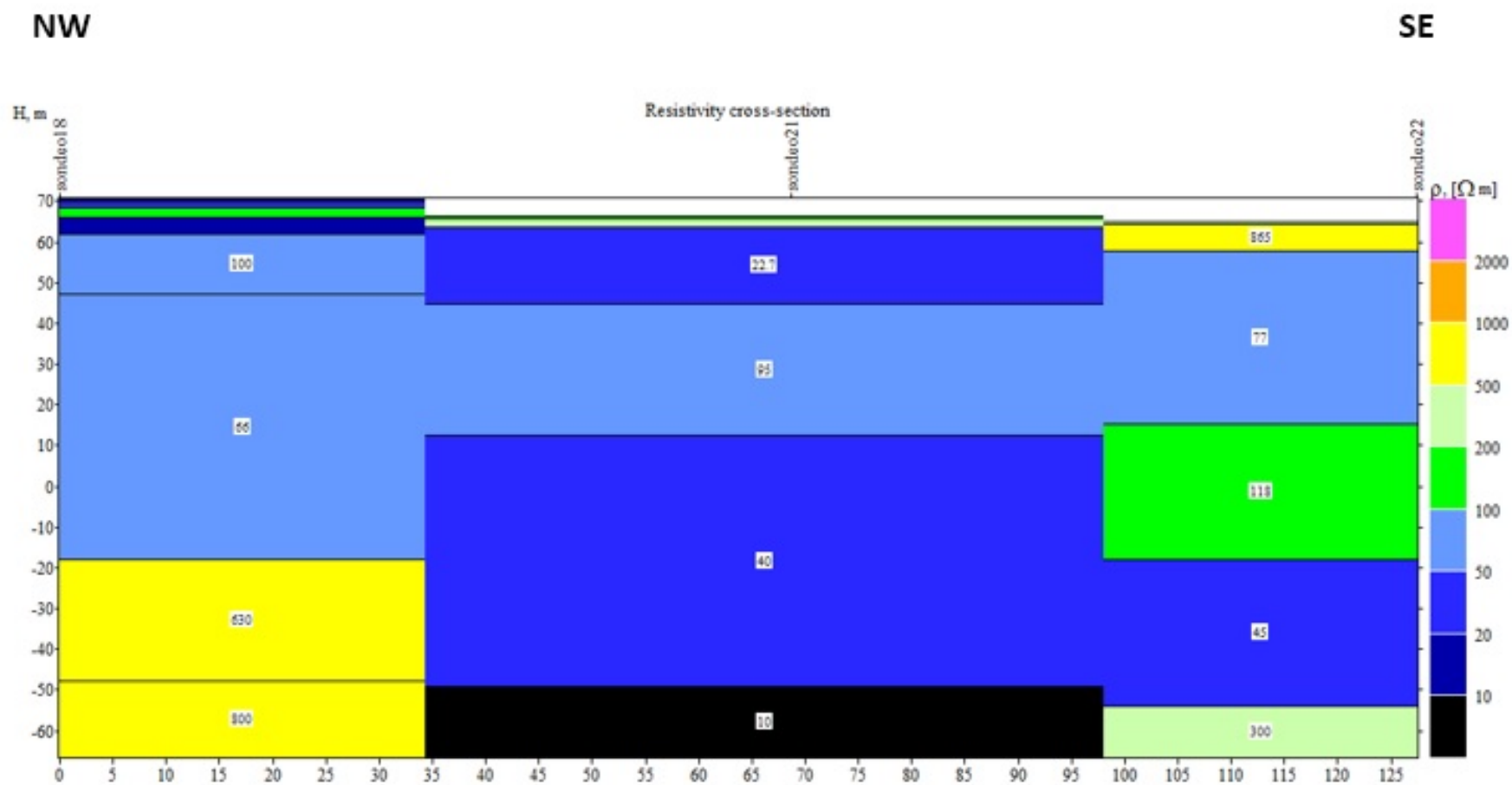


Figura 44. Perfil Geoeléctrico 2

SECCIÓN 3

La sección 3 (Figura 45) tiene una orientación SW – NE con una longitud máxima de 211.59, presenta una altura la SW de 70.5 msnm y alcanza una altura de 75 msnm en la parte NE, con una profundidad máxima aproximada de 134 m.

La sección cuenta con los SEVs 23, 21 y 19. La unidad 1 se encuentra a lo largo de la sección teniendo tres espesores diferentes importantes y estando en la superficie desde la longitud 0 hasta los 182 m, el primer espesor es de 70 m desde el inicio de la sección hasta una longitud de 78 m, el segundo es de 116 m y el tercero se ubica en los últimos 29.59 m de longitud con espesor de 62.66 m a una profundidad de 2.13 m. La unidad 2 (470 – 670 Ω m) (tonos amarillo y verde pistache) se encuentra en los primeros 78 m a dos profundidades, la primera a 1.5 m con espesor de 11 m y la segunda a una profundidad de 82.5 m con espesor indeterminado, en los últimos 29.59 m de longitud se vuelve a encontrar la unidad 2 en la superficie con un espesor de 0.75 m y nuevamente se observa a una profundidad de 101.29 con espesor indeterminado. La unidad 3 (786 – 800 Ω m) (tonos amarillos) solo se encuentra en los últimos 29.59 m de longitud a dos profundidades diferentes, la primera a una profundidad de 0.75 m con espesor de 1.38 m y la segunda se encuentra a una profundidad de 64.79 m con espesor de 36.5 m.

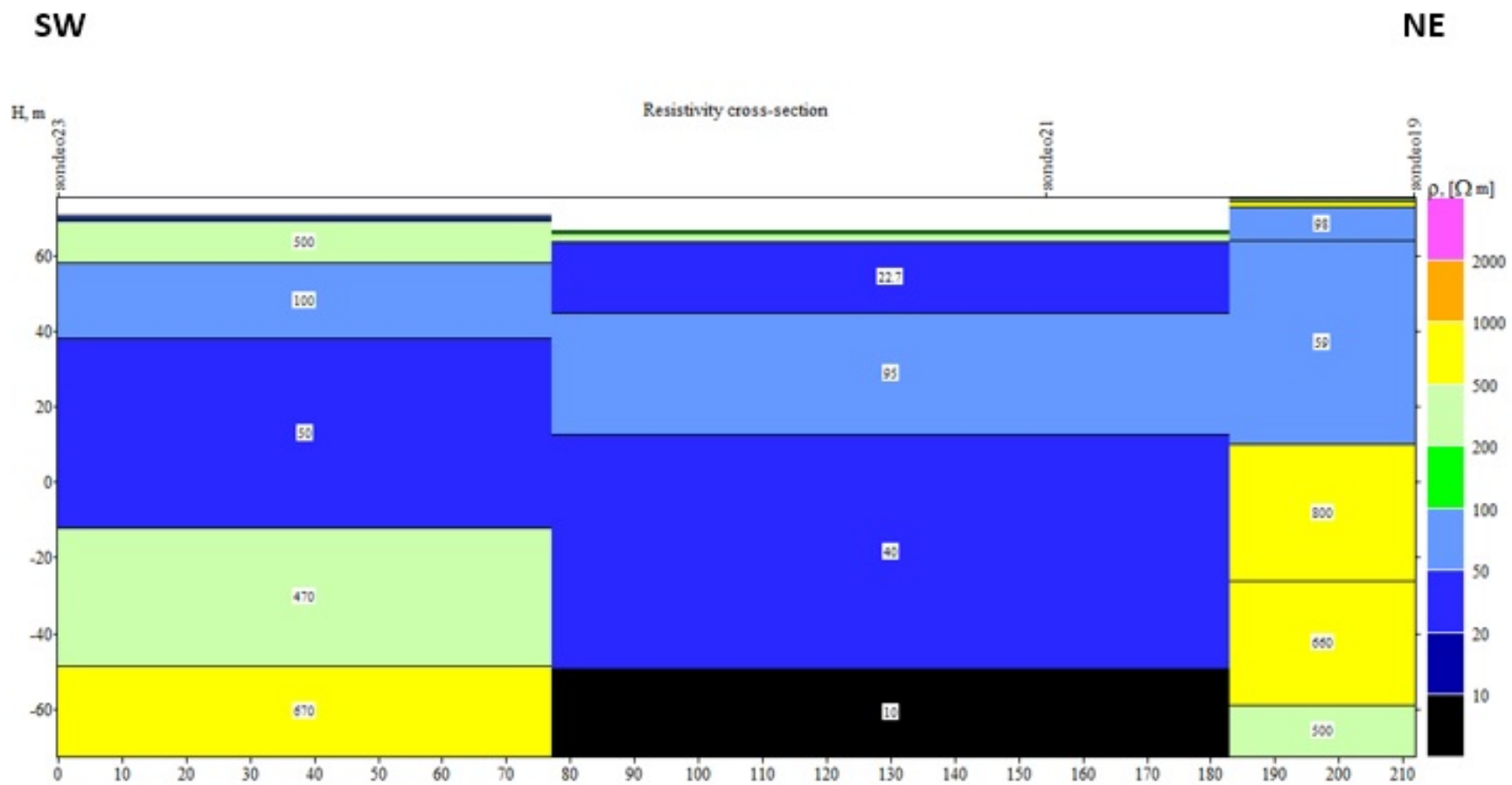


Figura 45. Perfil Geoeléctrico 3

V.2.2. Secciones Geológicas

Una vez realizada la interpretación geoeléctrica y nuevamente con ayuda de la geología local así como los datos del apartado II.3 se procedió a realizar 13 secciones geológicas, que no es más que asignar unidades geológicas a las unidades geoeléctricas.

En la interpretación anterior se determinaron 3 unidades geoeléctricas que corresponden a roca ígnea de tipo basalto con material volcánico, por lo visto en campo la roca presenta una coloración oscura y su condición va de altamente fracturada a poco fracturada (véase en anexo 2) , los valores poco resistivos que van de los 7 a los 230 Ωm pertenecen a la unidad 1 que es asociada al basalto altamente fracturado con material volcánico, la unidad 2 pertenece a las resistividades intermedias que van de los 235 a los 650 Ωm las cuales se asocian al basalto medianamente fracturado y la unidad 3 corresponde a las resistividades más altas que son de los 730 a los 2750 Ωm las que se asocian al basalto poco fracturado.

A continuación se presentan la interpretación de las secciones geológicas en su respectiva zona.

V.2.2.1. Zona Alta

La zona Alta tiene las secciones 1, 2, 4, 5, 6, 7 y 12

SECCIÓN GEOLÓGICA 1

En la figura 46 se observa la presencia de las 3 unidades geológicas, la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) se extiende de SW a NE en casi toda la sección. Se encuentran intrusiones de la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) en la parte NE a una profundidad de 21.5 m y otra a los 7.3 m desde los 69 m de longitud hasta el final del perfil, esta misma unidad se localiza en la superficie entre los 69 y 125 m a lo largo de la sección. La unidad 3 (basalto poco fracturado) está como lente de bajo del lente de la unidad 2 y una intrusión entre los 17 m y 69 m a una profundidad de 54.4 m.

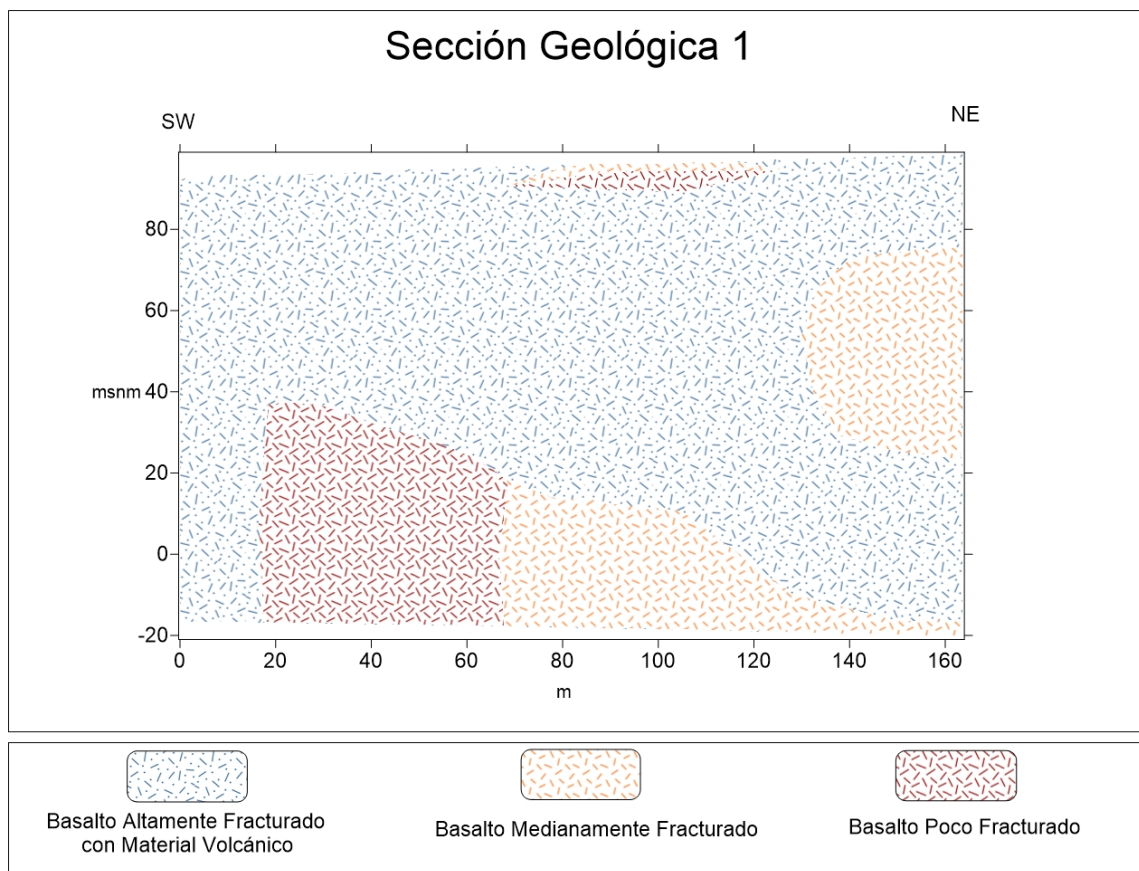


Figura 46. Sección Geológica 1, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 2

En la figura 47 se presenta la sección 2, la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) se presenta a una profundidad promedio de 52 m de SW a NE, estando en la superficie con un espesor de 0.3 m dentro de los 33 m a los 100 m. La unidad 2 (basalto medianamente fracturado) se localiza en la superficie en los primeros 33 m intrusionando al NE, se presenta nuevamente al final de la sección a una profundidad de 114 m. La unidad 3 denominada basalto poco fracturado esta intrusionando entre la unidad 2 en los primeros 33 m de longitud y de los 33m al final de la sección se encuentra debajo de la unidad 1, por último se localiza del lado SW a una profundidad de 24 m disminuyendo y desapareciendo a los 83 m.

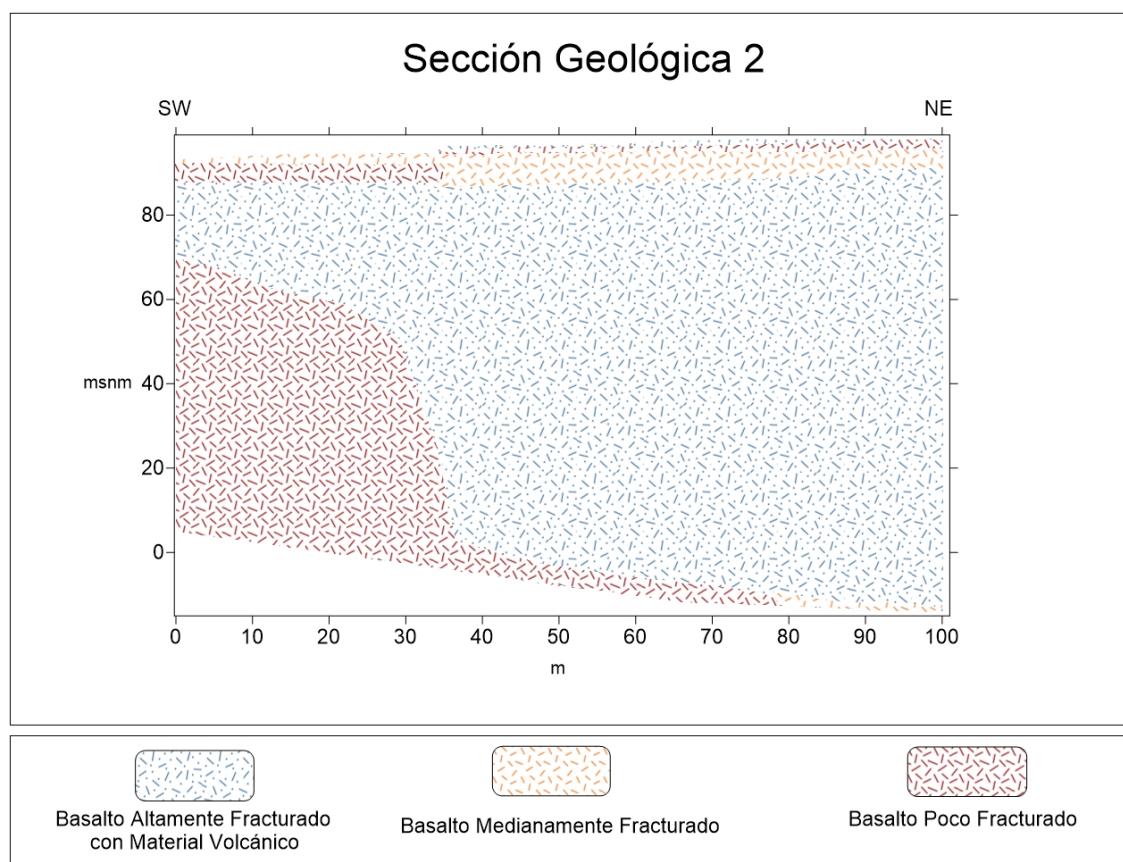


Figura 47. Sección Geológica 2, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 4

En la figura 48 se presenta la sección 4, a lo largo del perfil en la superficie se encuentran las tres unidades, en los primeros 24 m de longitud se localiza la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) con material volcánico, de los 24 m a 72 m se encuentra la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) y en los últimos 22.84 m está la unidad 3 (basalto poco fracturado). Se encuentra dos intrusiones entre la unidad 1, el primero corresponde a la unidad 3 con un espesor de 63 m entre los 24 m y 72 m localizado a una profundidad de 25 m, el segundo se encuentra a una profundidad 36.9 m con un espesor no determinado y corresponde a la unidad 2. Con un espesor de 6.5 a una profundidad de 1.5 m con una longitud de 48 m en la parte central de la sección se encuentra un lente de basalto poco fracturado.

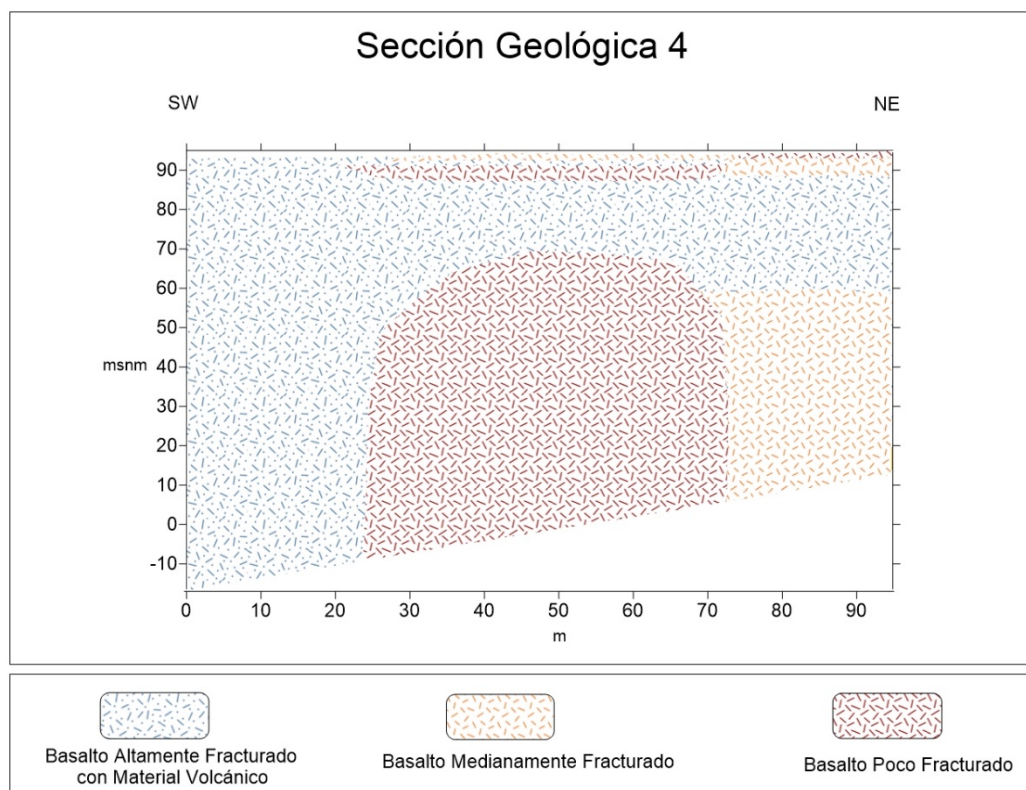


Figura 48. Sección Geológica 4, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 5

En la figura 49 se presenta la sección 5, en la superficie en los primeros 33 m de largo se encuentra la unidad 3 (basalto poco fracturado) debajo de esta unidad se encuentra con un espesor de 8 m la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) estando nuevamente como una intrusión a una profundidad de 36.9 m en los primeros 33 m de longitud, pasando estos y con una longitud de 43 m intrusión el basalto poco fracturado a una profundidad de 54 m. Se aprecia al NW de la sección con espesores de 0.3 m y 3.4 la unidad 2 en la superficie y debajo de ésta la unidad 3. La unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) se observa en la parte media de la sección a todo lo largo.

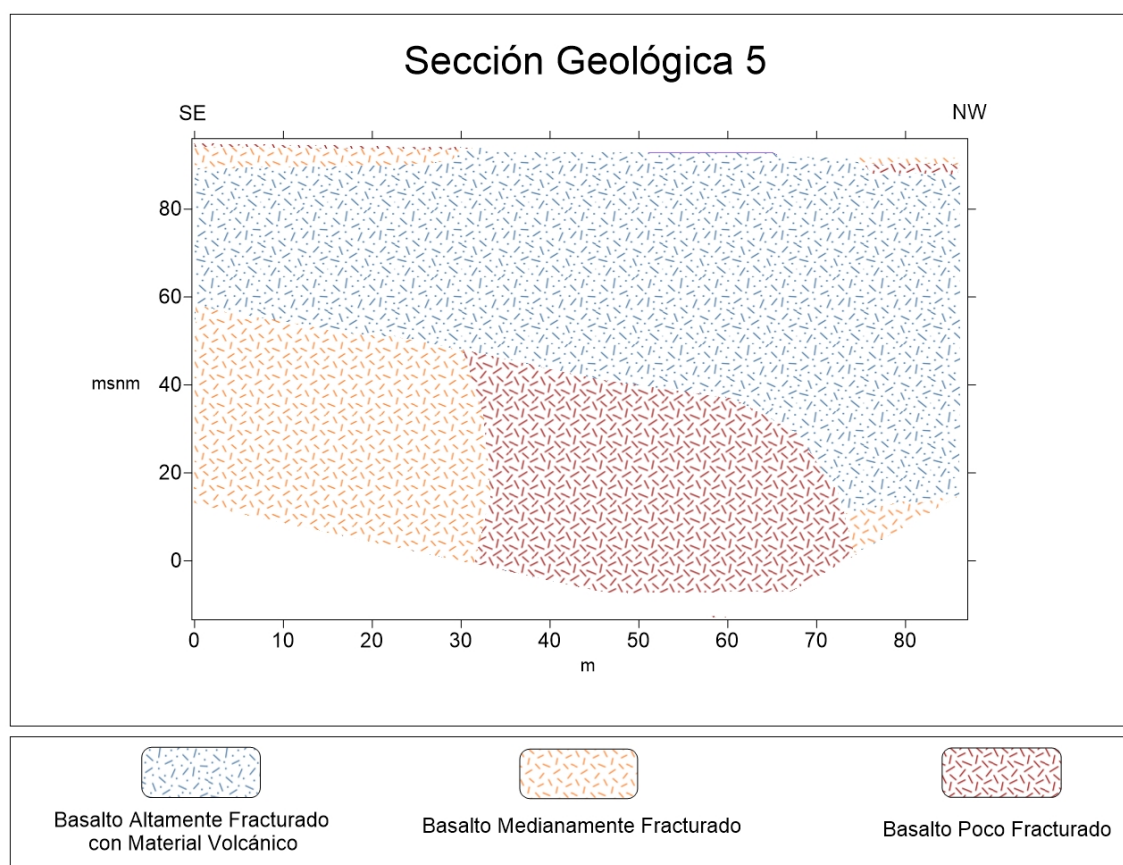


Figura 49. Sección Geológica 5, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 6

En la figura 50 se presenta la sección 6, en la superficie en los primeros 32 m de largo, con un espesor de 0.5 m y en los últimos 25.46 m con un espesor de 0.75 m se encuentra la unidad 2 (basalto medianamente fracturado), como una intrusión al NE de la sección con un espesor de 64.7 m. La unidad 3 (basalto poco fracturado) se encuentra a lo largo del perfil al SW se localiza a una profundidad de 25 m y aumentando hacia el NE. La unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) se encuentra sobre la unidad 3 y rodeando los lentes y el intrusivo de la unidad 2.

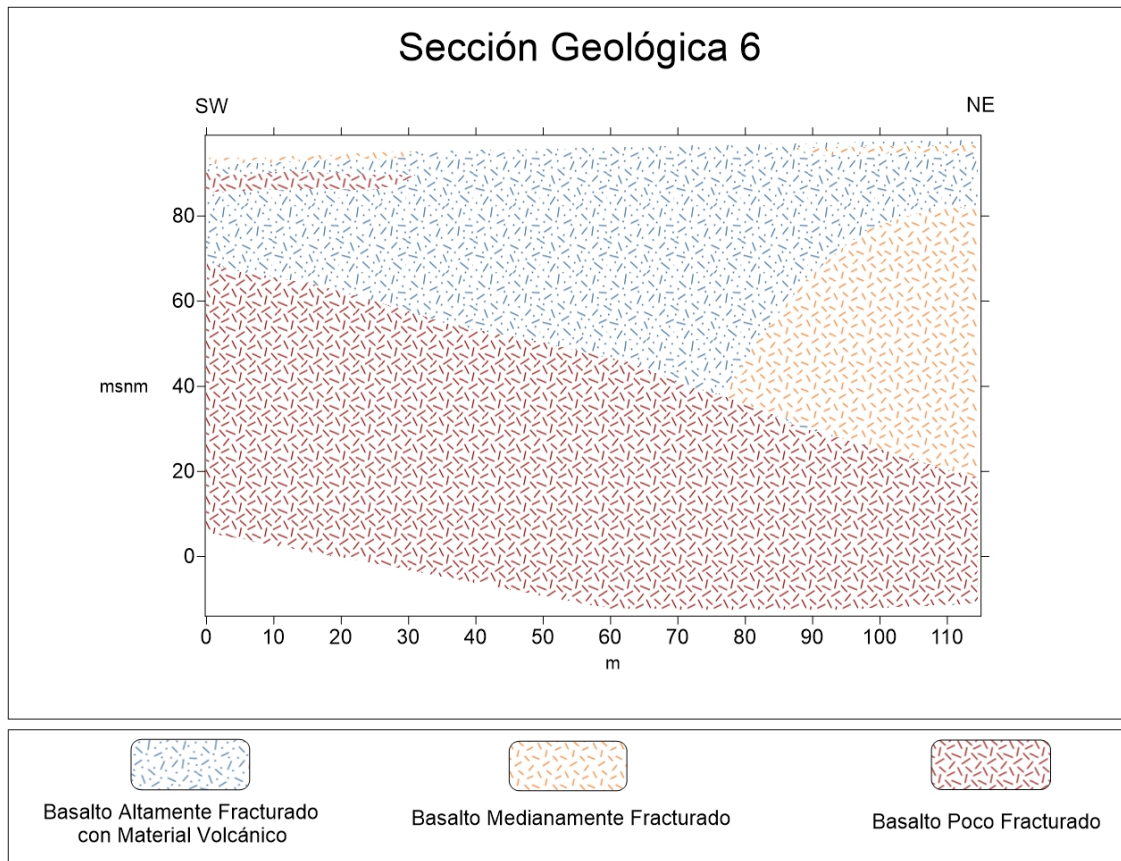


Figura 50. Sección Geológica 6, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 7

En la figura 51 se presenta la sección 7, en la superficie se encuentra la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) con un espesor promedio de 0.3 m, en los primeros 24 m y debajo de la unidad 1 se encuentra un lente de la unidad 3 (basalto poco fracturado) con espesor de 5.3 m, debajo de la unidad 3 se presenta un lente de la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) el cual alcanza una longitud de 61 m y por debajo se encuentra de nuevo la unidad 1 con un espesor de 83 m al SE y disminuyendo de espesor y apareciendo en la superficie al NW. La unidad 2 se encuentra a una profundidad de 114 m al SE la cual se extiende hacia el NW subiendo hacia la superficie y alcanzando un espesor promedio de 60 m. La unidad 3 intrusión debajo de la unida 2 entre los 24 m y 61 m de longitud.

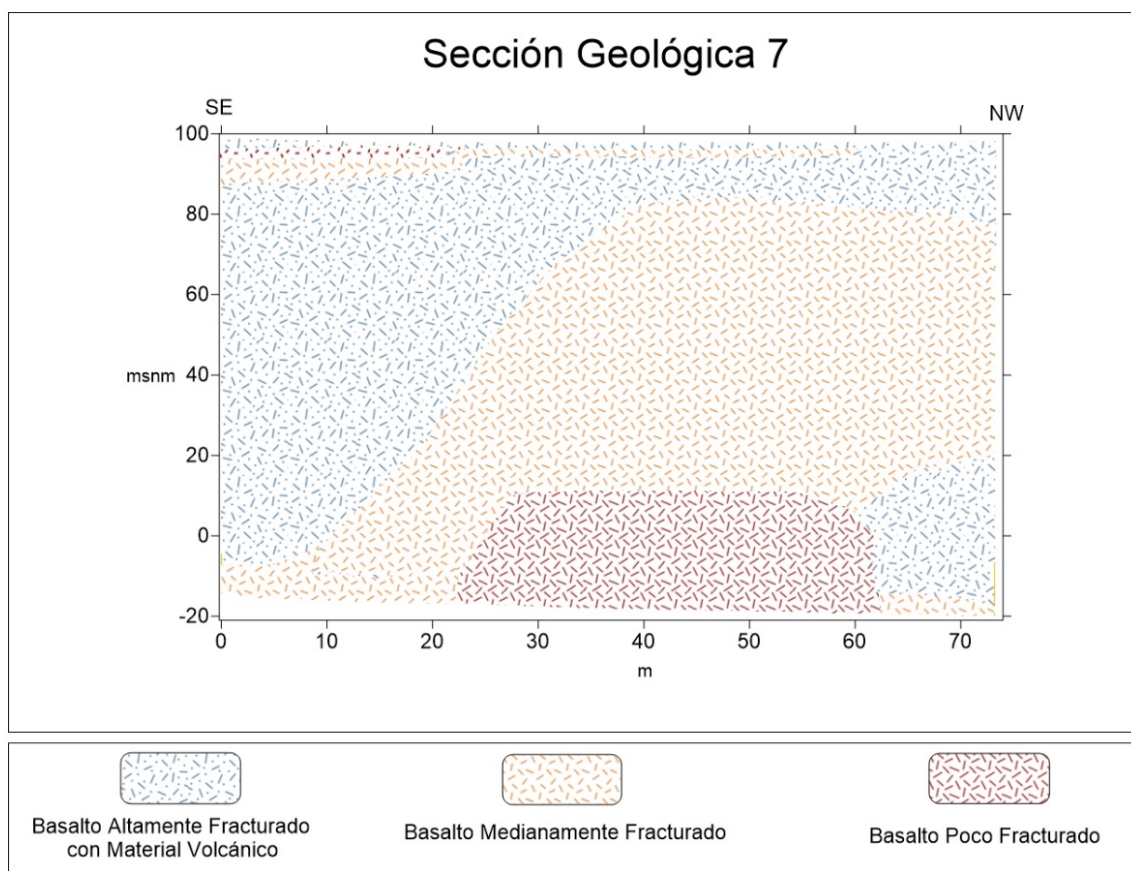


Figura 51. Sección Geológica 7, Zona Alta

SECCIÓN GEOLÓGICA 12

En la figura 52 se presenta la sección 12, en el perfil se observa que la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) se extiende desde el NW hasta SE abarcando casi todo el perfil y aflorando en la parte central, la unidad 3 (basalto poco fracturado) aparece como intrusión a los 12 m de longitud con un espesor aproximado de 52.4 el cual va descendiendo conforme se acerca al final de la sección al SE. Se presentan lentes de la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) y la unidad 3, en la superficie de los primeros 12 m se localiza la unidad 2, debajo de ella está la unidad 3. En los últimos 15.23 m se encuentra en la superficie la unidad 3 y por debajo el lente de la unidad 2.

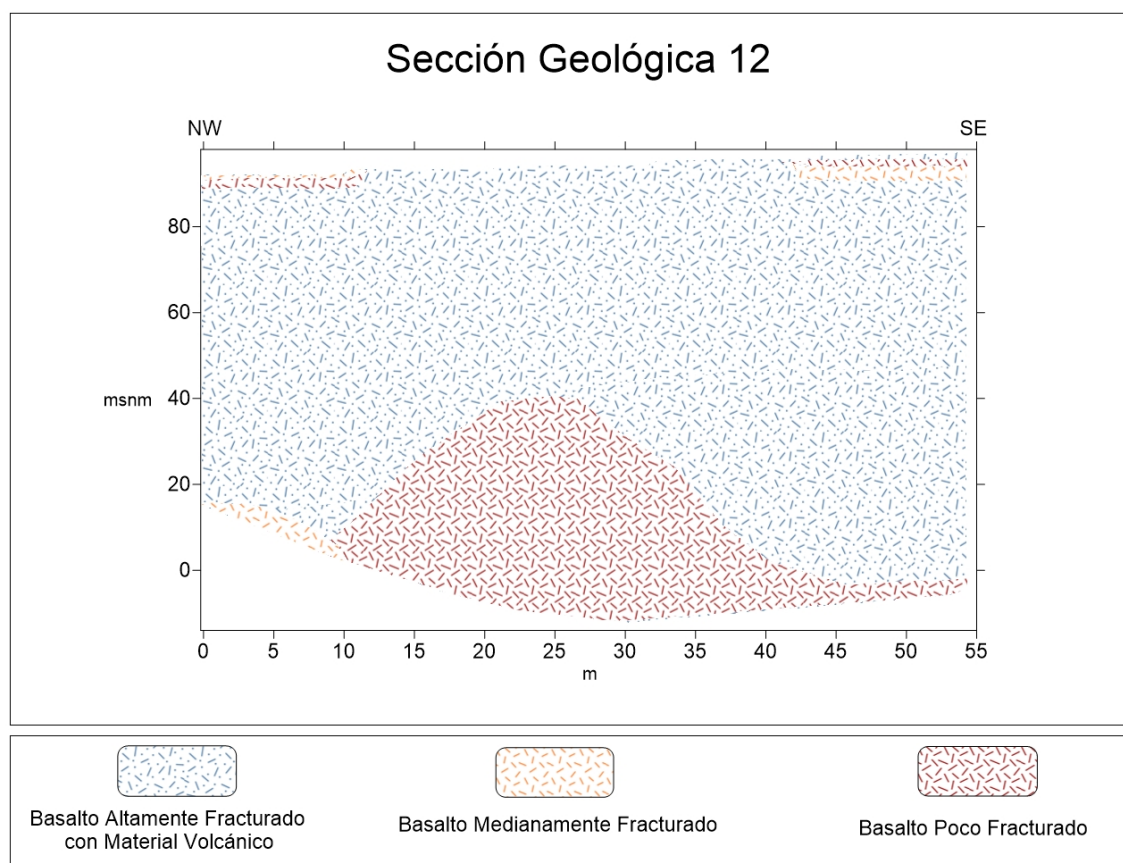


Figura 52. Sección Geológica 12, Zona Alta

V.2.2.2. Zona Media

La zona Media tiene las secciones 1, 2, 3 y 4

SECCIÓN GEOLÓGICA 1

En la figura 53 se presenta la sección 1 de la zona media, en la superficie de la sección de los 0 m a los 74.5 en la superficie se presenta la unidad 2 (basalto medianamente fracturado), por debajo de esta unidad y en los últimos 21.43 m de longitud en la superficie se encuentra la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico). La unidad 3 (basalto poco fracturado) se presenta como un pequeño lente en los 26 m y como una intrusión sin conocer su espesor a una profundidad de 93.8 m entre los 26 m y 74.5 m. La unidad 2 intrusiona al NW a una profundidad de 14.35 m apareciendo más profundo hacia el SE y desapareciendo a los 26 m de longitud.

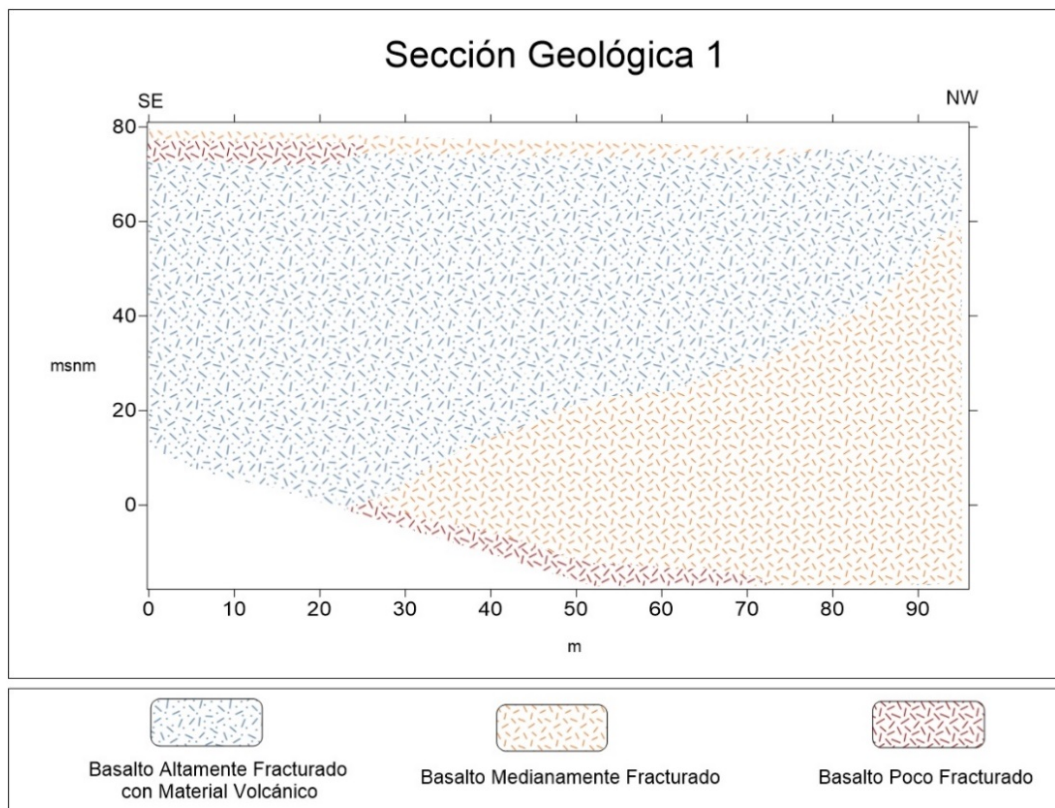


Figura 53. Sección Geológica 1, Zona Media

SECCIÓN GEOLÓGICA 2

En la figura 54 se presenta la sección 2, la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) se encuentra en la superficie, teniendo un espesor de 3 m al NE, alcanzando un espesor de 18.9 m hacia el SW, como intrusivo se encuentra en los 9.5 m a una profundidad de 8 m. La unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) abarca todo lo largo del perfil alcanzando un espesor mínimo en la parte central de 53 m, en los extremos de la sección es decir del lado NE y SW la unidad 1 alcanza toda la profundidad máxima estudiada. Se presenta una intrusión entre los 9.5 y 47 m en longitud a una profundidad de 55.4 m la unidad 2 y debajo de ella se encuentra la unidad 3 (basalto poco fracturado), teniendo espesores de 38.4 la unidad 2 e indeterminado para la unidad 3.

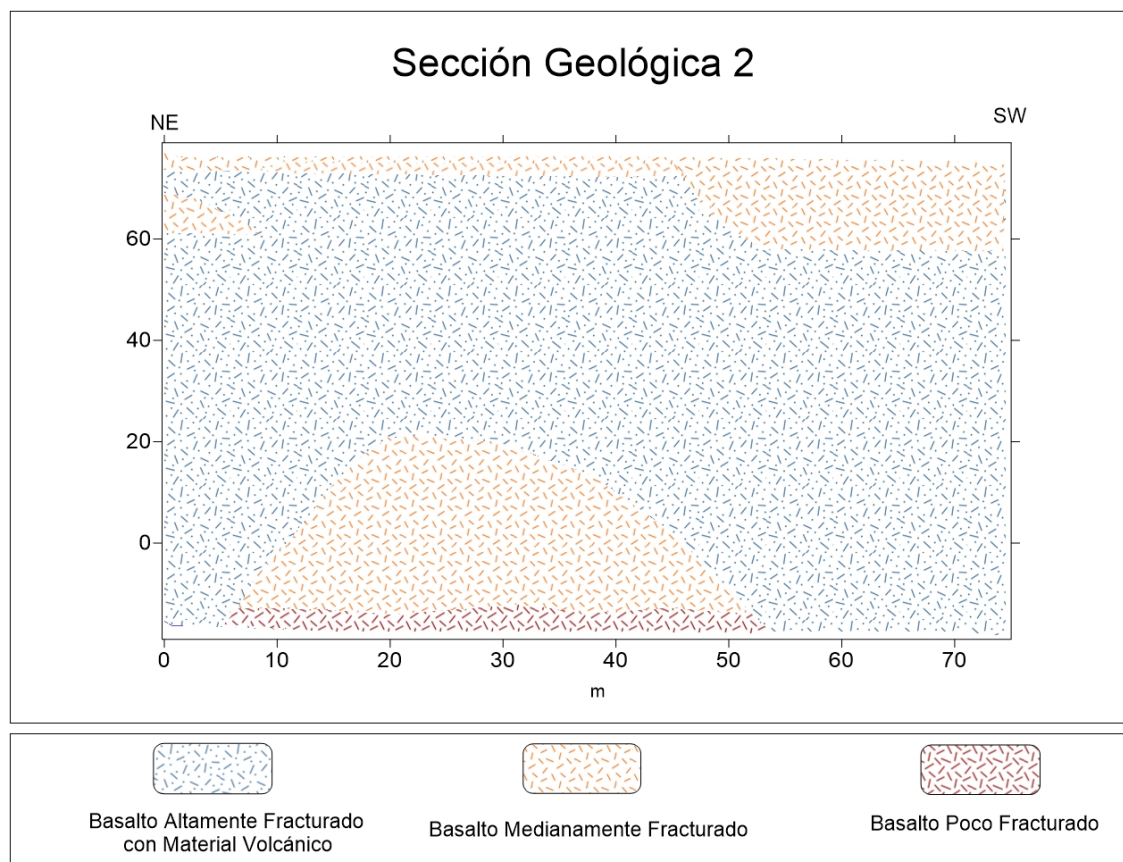


Figura 54. Sección Geológica 2, Zona Media

SECCIÓN GEOLÓGICA 3

En la figura 55 se presenta la sección 3, la unidad que abarca mayor parte la sección es la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico), presentándose a los 2.13 m de profundidad al SE y sobresaliendo a la superficie al NW. En la superficie con una longitud de 78 m y un espesor promedio de 0.6 m se encuentra la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) por debajo de ella se encuentra la unidad 3 (basalto poco fracturado) teniendo un espesor de 1.41 m, a los 7.1 m de profundidad en la parte central de la sección se observa un lente de la unidad 2 que presenta un espesor de 5.2 m. En el interior del perfil a los extremos SE y NW existe la intrusión de la unidad 2, del lado NW tiene un espesor de 30 m y en el SE es indeterminado. Al SE a una profundidad de 64.79 m se encuentra la unidad 3 con un espesor de 36.5 m el cual va disminuyendo e intrusionandose por debajo de la unidad 2 al NW.

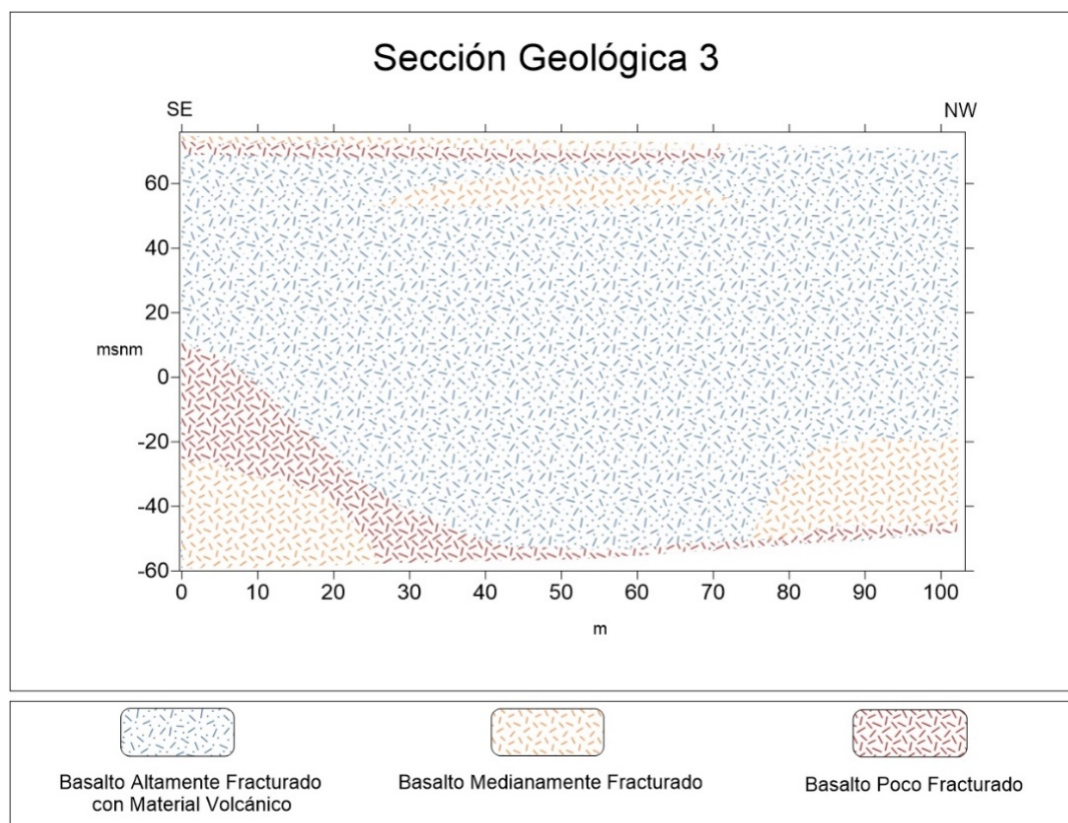


Figura 55. Sección Geológica 3, Zona Media

SECCIÓN GEOLÓGICA 4

En la figura 56 se presenta la sección 4. De NE a SW se encuentra aflorando la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico) abarcando toda la profundidad en la parte central de la sección. Al NE a una profundidad de 16.83 m aparece como una intrusión la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) y al SW se encuentra esta misma unidad a una profundidad de 88.41 m con un espesor de 32.6 m y por debajo con un espesor no determinado se encuentra la unidad 3 (basalto poco fracturado).

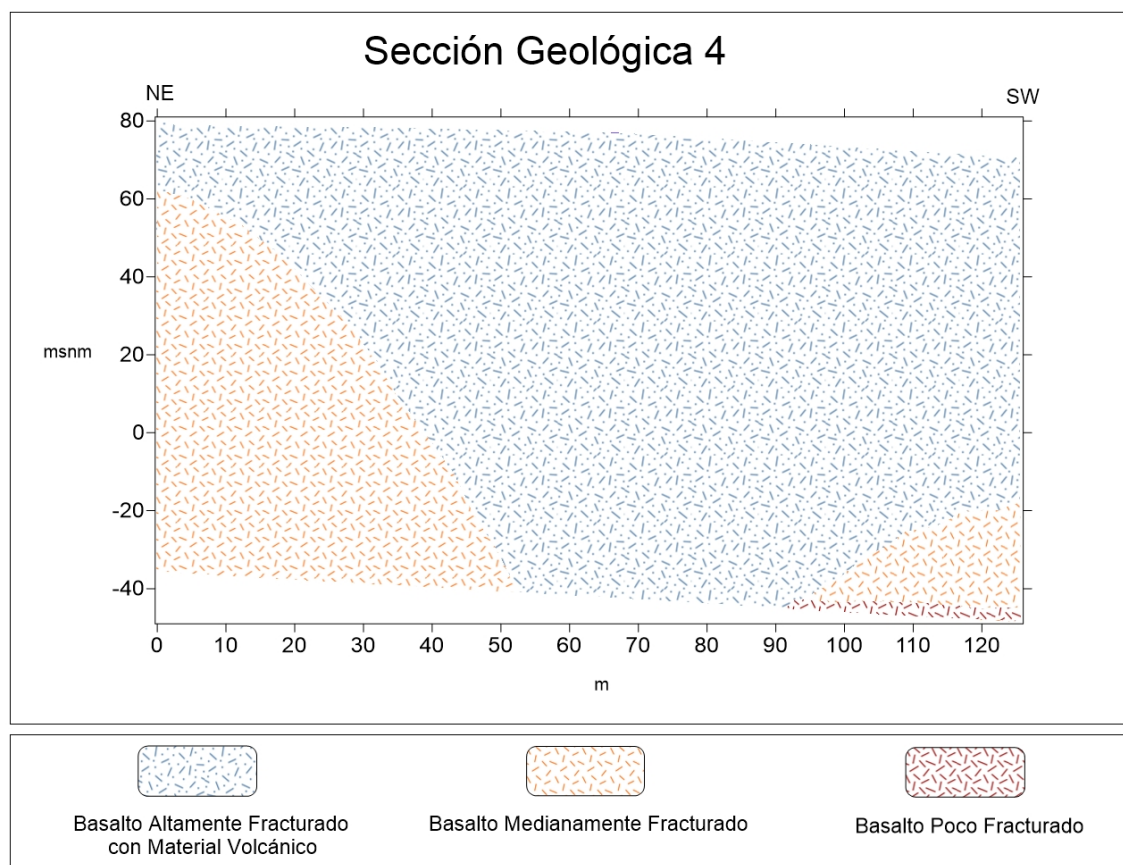


Figura 56. Sección Geológica 4, Zona Media

V.2.2.3. Zona Baja

La zona baja tiene las secciones geológicas 2 y 3

SECCIÓN GEOLÓGICA 2

En la figura 57 se presenta la sección 2 de la zona baja. La unidad que cubre casi por completo con excepción de algunas intrusiones es la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico). A una profundidad de 88.41 al NW se presenta una intrusión de la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) con un espesor de 30 m, en la superficie con una longitud de 29.42 m al SE aflora la misma unidad teniendo un espesor de 0.55 m y a una profundidad de 119 m esta como capa indeterminada. La unidad 3 (basalto poco fracturado) se encuentra como intrusión por debajo de la unidad 2 en los primeros 34.5 m y de igual manera casi en la superficie en los últimos 29.42 m.

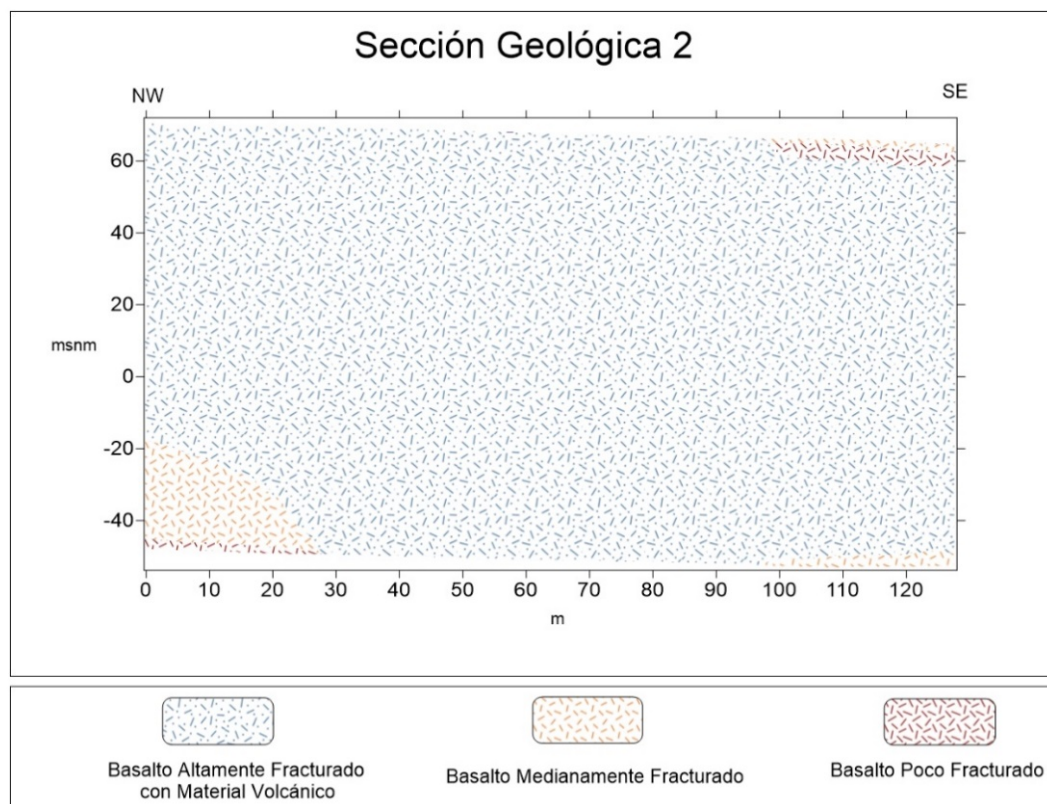


Figura 57. Sección Geológica 2, Zona Baja

SECCIÓN GEOLÓGICA 3

En la figura 58 se presenta la sección 3. En el perfil se observan intrusiones debajo y sobre la unidad 1 (basalto altamente fracturado con material volcánico). Las intrusiones de la unidad 2 (basalto medianamente fracturado) se localizan en la parte NW con una longitud aproximada de 78 m y a dos profundidades, la primera es somera estando a 1.5 m con un espesor de 11 m, la segunda se encuentra a una profundidad de 82.5 m sin conocer su espesor. Hacia el NW con una longitud aproximada de 29.59 m se vuelven a ver las intrusiones de la unidad 2 pero esta vez acompañadas de la unidad 3 (basalto poco fracturado), la unidad 2 se encuentra aflorando y por debajo con un espesor de 1.38 m está la unidad 3, a una profundidad de 64.79 m se localiza la unidad 3 teniendo un espesor de 36.5 m y por debajo de ella con un espesor no determinado se presenta la unidad 2.

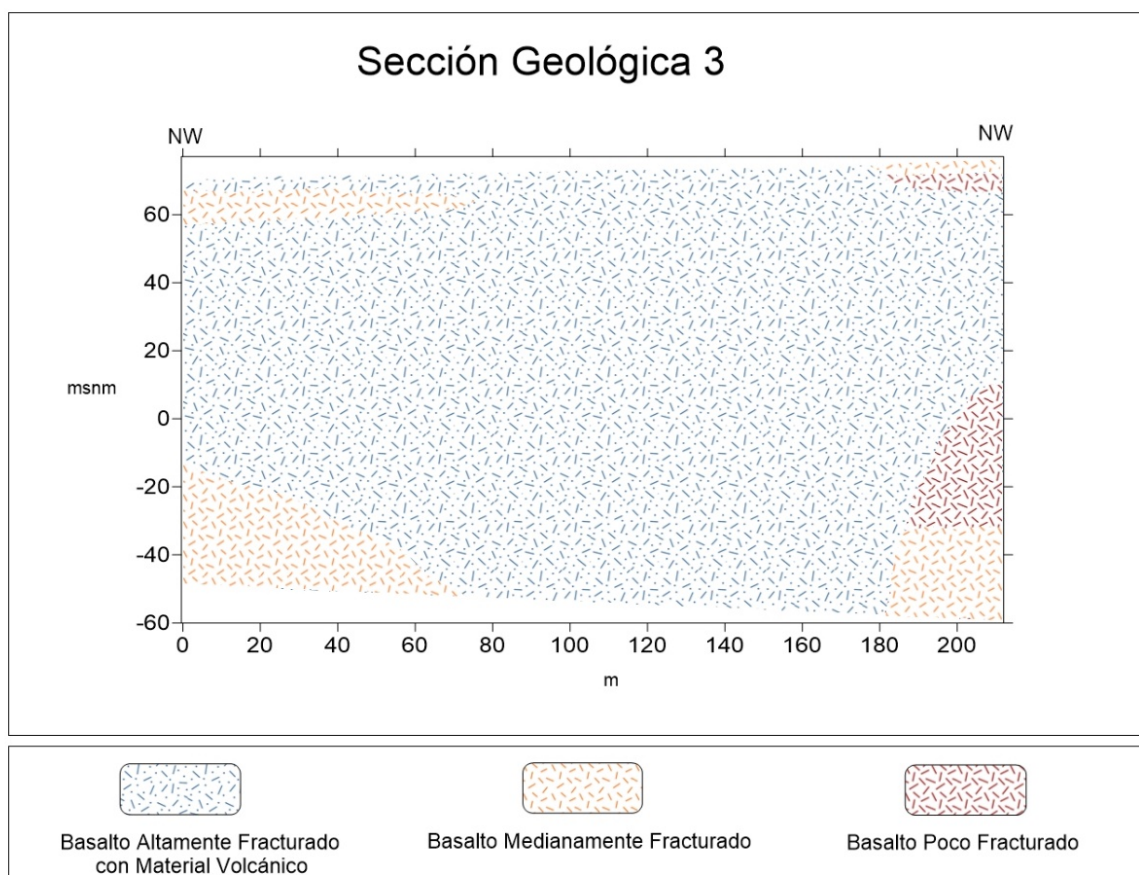


Figura 58. Sección Geológica 3, Zona Baja

V.3. MODELO VOLUMÉTRICO

Para la obtención de los modelos volumétricos primero se realizó una interpolación triangular de las secciones geoeléctricas, esto con el fin de conocer la distribución de resistividades en cada sección.

V.3.1. Correlación De Las Secciones Geoeléctricas.

Para la correlación de las secciones, se importaron en el programa voxler 3, con la finalidad de observar las similitudes que existe entre ellas y visualizar mejor lo antes descrito, a todas las secciones se les asignó una misma escala de colores el cual muestra los rangos de resistividades presentados en las secciones geoeléctricas.

V.3.1.1. Zona Alta

En la figura 59 con vista SW a NE y 60 con vista NE a SW se presentan las 12 secciones geoeléctricas correspondientes a la zona alta del área de estudio, se observa que en la parte profunda en casi todos los perfiles se encuentra el basalto poco fracturado (tonos naranjas y rojizos) con excepción de la sección 10 y 9 ya que estas a profundidad presentan basalto medianamente fracturado (tonos verdes y amarillos). El basalto altamente fracturado con material volcánico (tonos azules) se observa en todos los perfiles casi al llegar a la superficie y aflorando en algunas partes de las secciones que se pueden observar al Oeste, también se presentan afloramientos de basalto medianamente fracturado al SE principalmente en las secciones 4, 8 y 5 y al NE existen afloramiento de basalto poco fracturado en las secciones 10, 9, 3, 2, 7 y 11.

Las Figuras 61 con vista SE – NE y 62 con vista Sur – Norte, muestran las secciones separadas en dos partes para visualizar mejor lo descrito anteriormente.

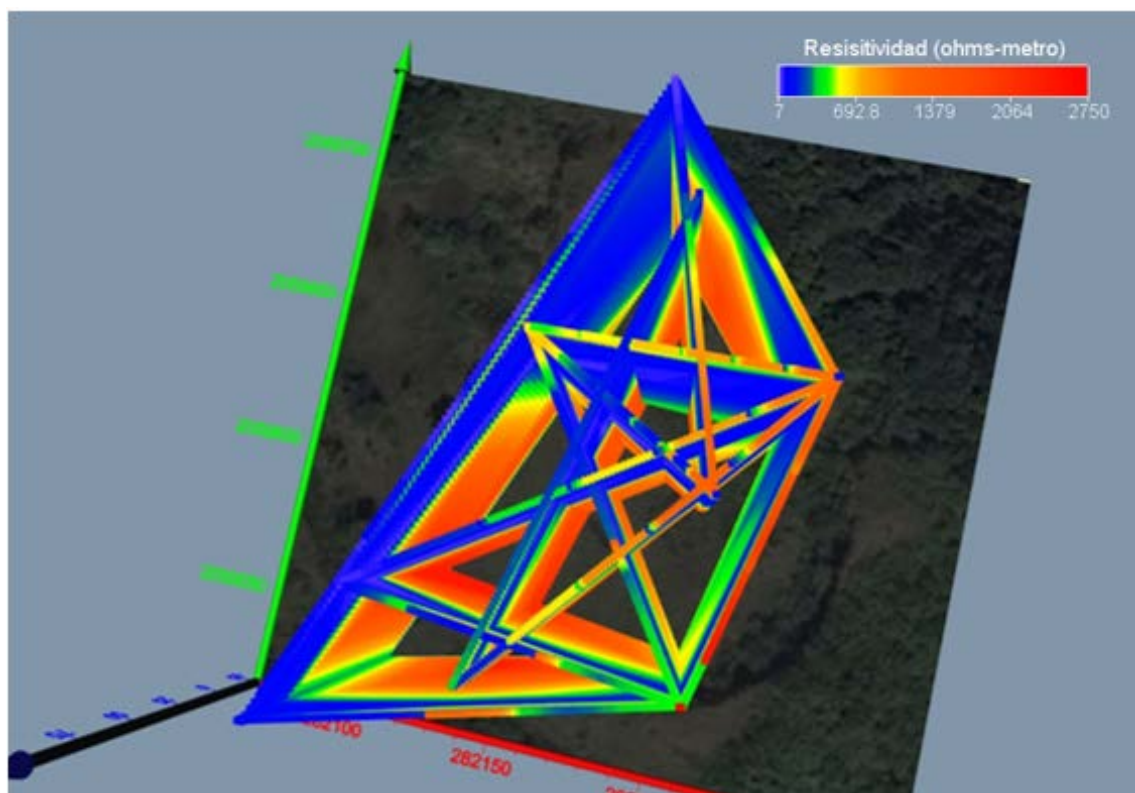


Figura 59. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista SW - NE

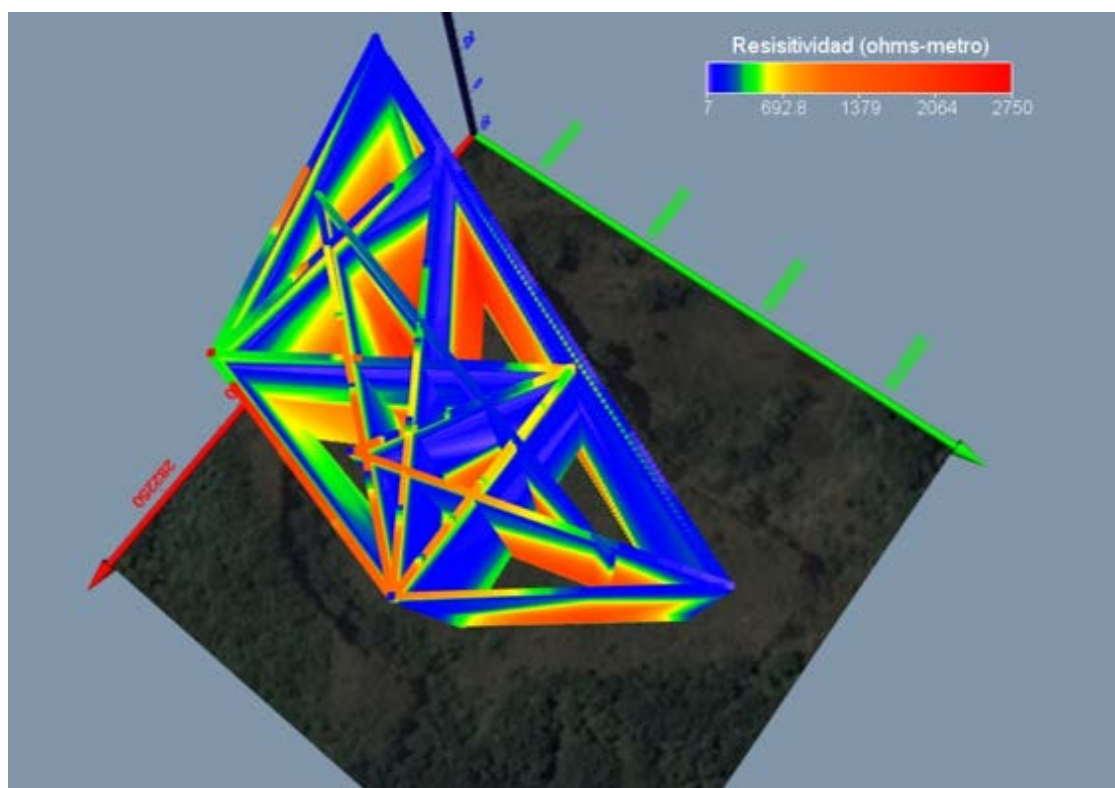


Figura 60. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista NE – SW

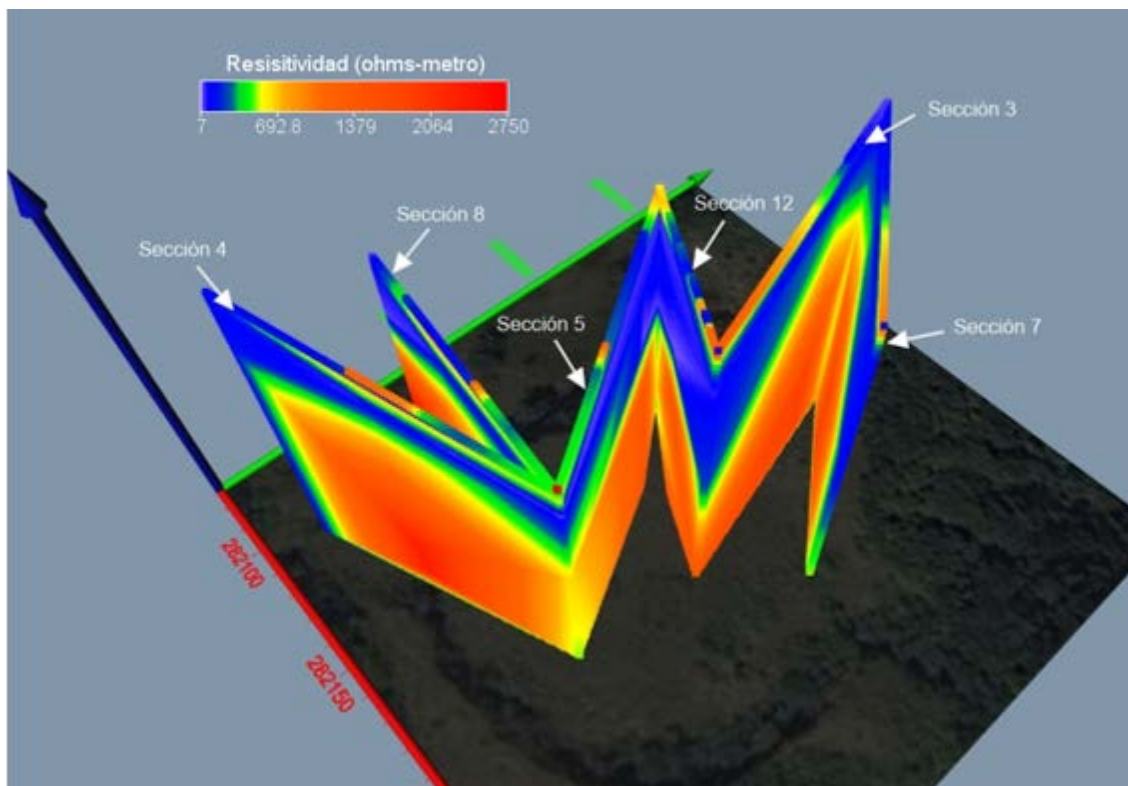


Figura 61. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista SE – NW

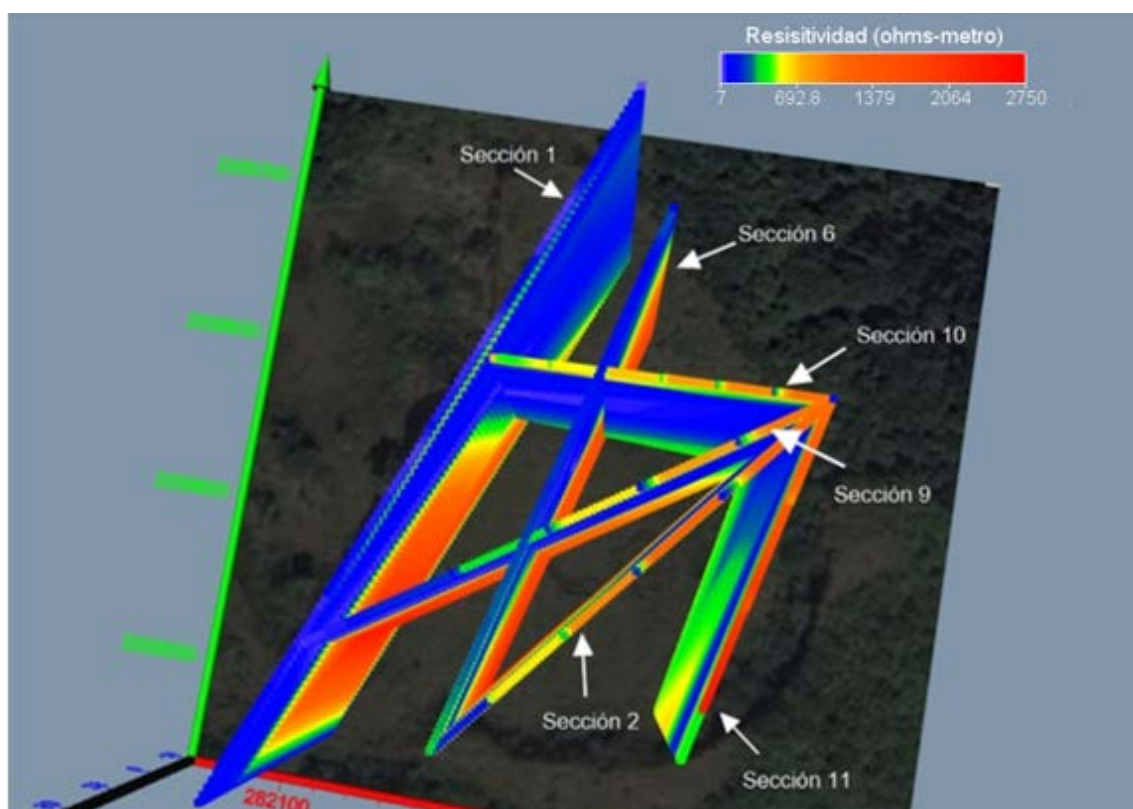


Figura 62. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Alta Vista S – N

V.3.1.2. Zona Media

En la zona media fue necesario dividir las secciones en dos áreas, las cuales se les nombro área A y área B, esto con el propósito de disminuir el error a la hora de realizar el cálculo de volumen, ya que en la parte SE y media del área total no se adquirieron datos debido al imposible acceso por la vegetación densa que había.

En la figura 63 se presentan las 11 secciones geoeléctricas, correspondientes a la zona media, la vista es de Este a Oeste. En las secciones que corresponden al área A se puede observar que en el fondo de los perfiles 5, 7, 8 y 6 se encuentra el basalto altamente fracturado con material volcánico (tonos azules), en cambio la sección 1 hacia el NW junto con el perfil 2 en su parte NE se presenta en su parte media en profundidad el basalto medianamente fracturado (tonos verdes y amarillos) con pequeños rasgos en el fondo del basalto poco fracturado (tonos naranjas). En la superficie al NW y al NE se presentan aflorando el basalto altamente fracturado con material volcánico, al SE se observan afloramientos del basalto poco y medianamente fracturado, al Oeste se presenta aflorando el basalto medianamente fracturado.

En el área B hay un cambio en la profundidad comparando el área A, En todas las secciones en el fondo se observa intrusiones pequeñas de basalto poco fracturado (tonos naranjas) el cual está cubierto por el basalto medianamente fracturado (tonos verdes y amarillos), el basalto altamente fracturado con material volcánico se encuentra aflorando en la sección 4 en su totalidad, los perfiles 9, 11 y 10 presentan este afloramiento en la parte NW y el perfil 3 al W. Al SE en los perfiles 9, 11 y 3 se presentan afloramientos de basalto medianamente y poco fracturado.

Las figuras 64 y 65 con vista Este - Oeste muestran las secciones de las dos áreas por separadas para visualizar mejor lo descrito anteriormente.

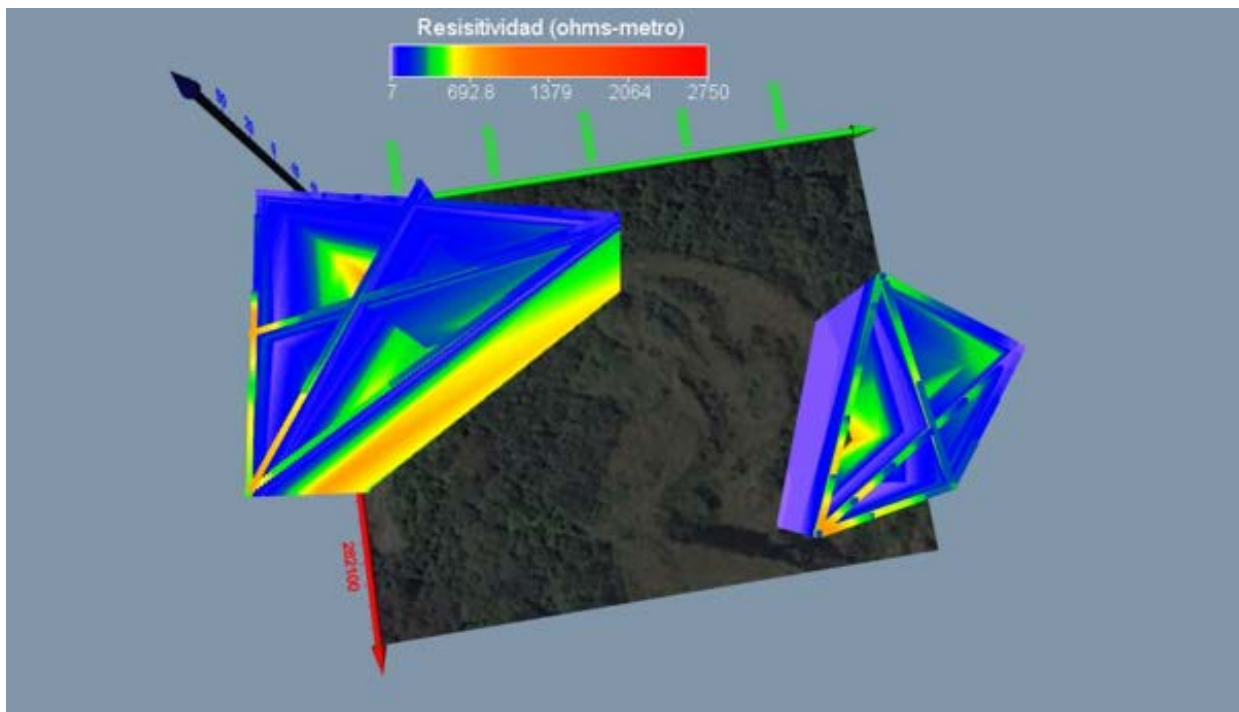


Figura 63. Secciones Visualizadas En Voxler, Zona Media Vista E – W

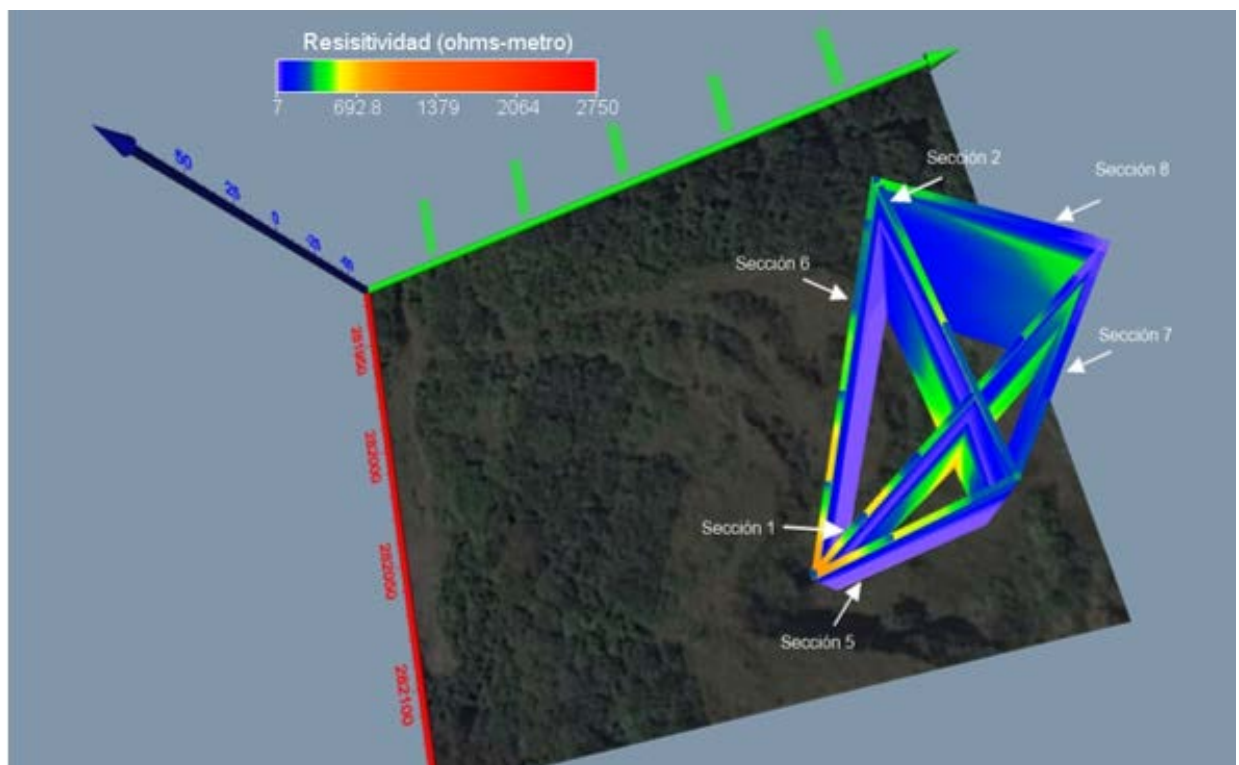


Figura 64. Secciones Visualizadas Del Área A En Voxler, Zona Media Vista E – W

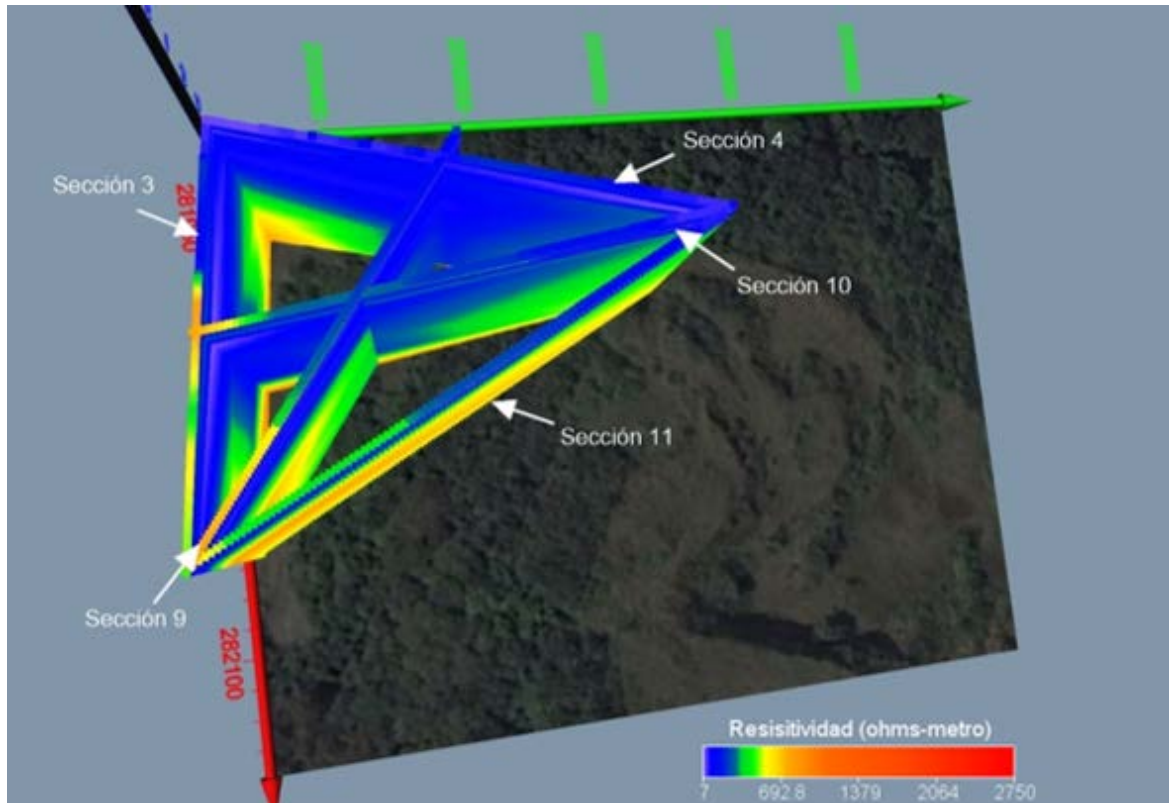


Figura 65. Secciones Visualizadas Del Área B En Voxler, Zona Media Vista E - W

V.3.1.3. Zona Baja

En la figura 66 se presentan las 12 secciones geoeléctricas, correspondientes a la zona baja del área de estudio, la vista es de Sur a Norte. En las secciones 3 y 2 en la parte central se presenta el basalto altamente fracturado (tonos azules) desde el fondo hasta la superficie, en el fondo de las demás secciones se observan ligeras intrusiones del basalto poco fracturado (tonos naranjas), como material que cubre a esas intrusiones se observa el basalto medianamente fracturado (tonos verdes y amarillos). En la parte NE se presentan afloramientos del basalto medianamente y poco fracturado, al Sur se presentan mayor afloramientos del basalto poco fracturado y de SE hacia el Norte el afloramiento es del basalto altamente fracturado con material volcánico.

Las figuras 67 con vista SW - NE y 68 con vista SE - NW muestran las secciones separadas en dos partes para visualizar mejor lo descrito anteriormente.

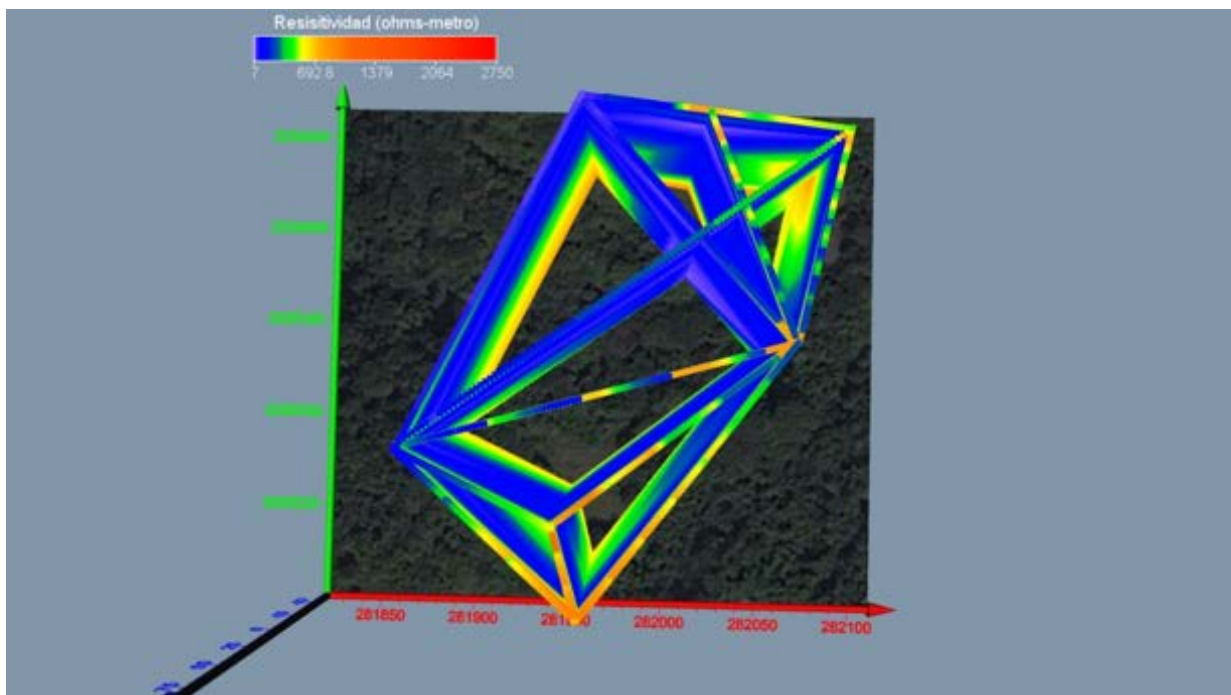


Figura 66. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista S – N

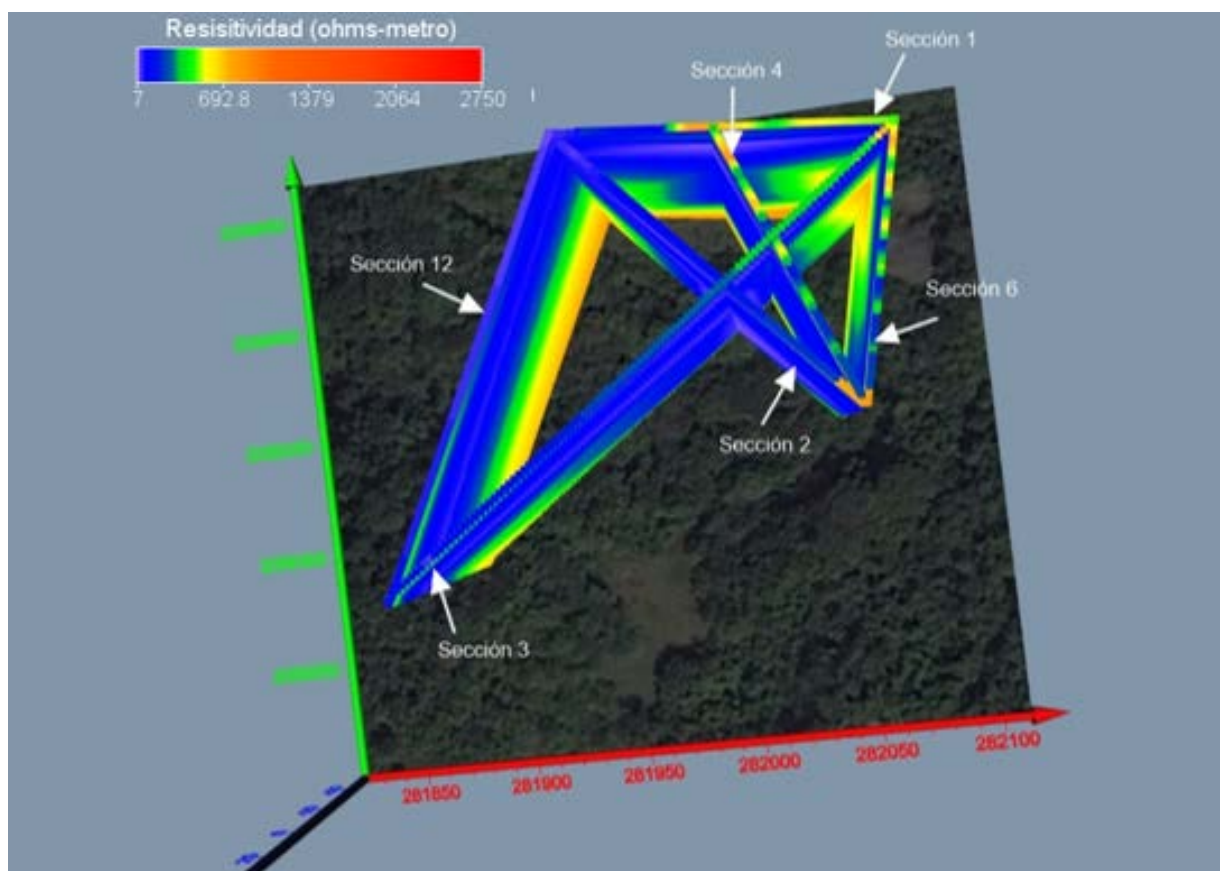


Figura 67. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista SW – NE

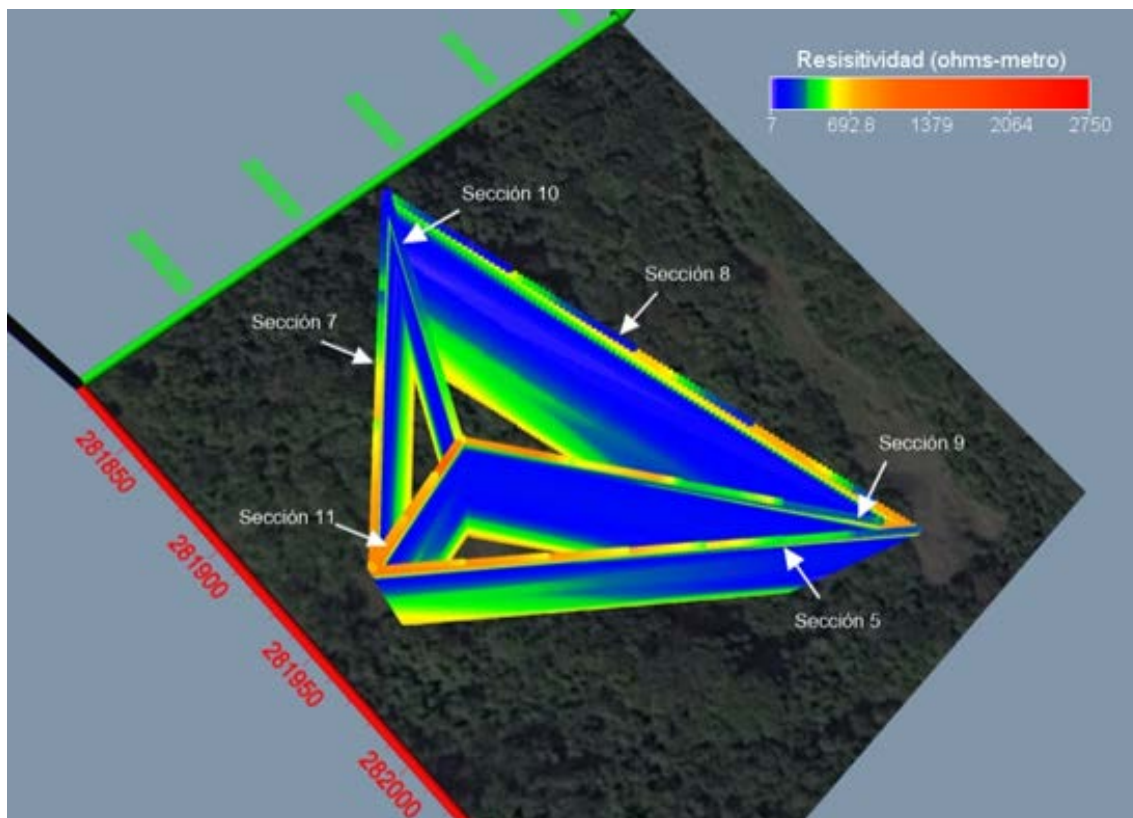


Figura 68. Secciones Visualizadas En Voxler Zona Baja Vista SE – NW

V.3.2. Interpolación De Las Secciones Geoeléctricas

Con los resultados se realizó una interpolación de tipo inverso de la distancia, ya que es el mejor que se ajusta a los datos, el programa interpola datos XYZC, siendo X, Y y Z la posición en 3D y C la característica, esto con el fin de obtener modelos 3D que representaran el volumen del material.

V.3.2.1. Zona Alta

La figura 69 muestra la vista desde el lado Sur, se observa que las resistividades altas que corresponden al basalto poco fracturado se encuentran a profundidad al SW y también aparecen aflorando al SE, las resistividades medias que son del basalto medianamente fracturado se encuentran cubriendo a las resistividades altas y aflorando en la parte SE y media del cubo esto concuerda principalmente con lo presentando en la sección 1 y 9.

La figura 70 muestra la vista desde el lado Norte y Oeste, se puede apreciar que al NW desde la superficie y abarcando casi toda la profundidad se encuentran resistividades bajas que corresponden al basalto altamente fracturado con material volcánico, al NE se presentan resistividades altas a partir de la mitad del cubo hasta el final de la profundidad estudiada que corresponde al basalto poco fracturado esto concuerda principalmente con lo presentado en la sección 1 y 7.

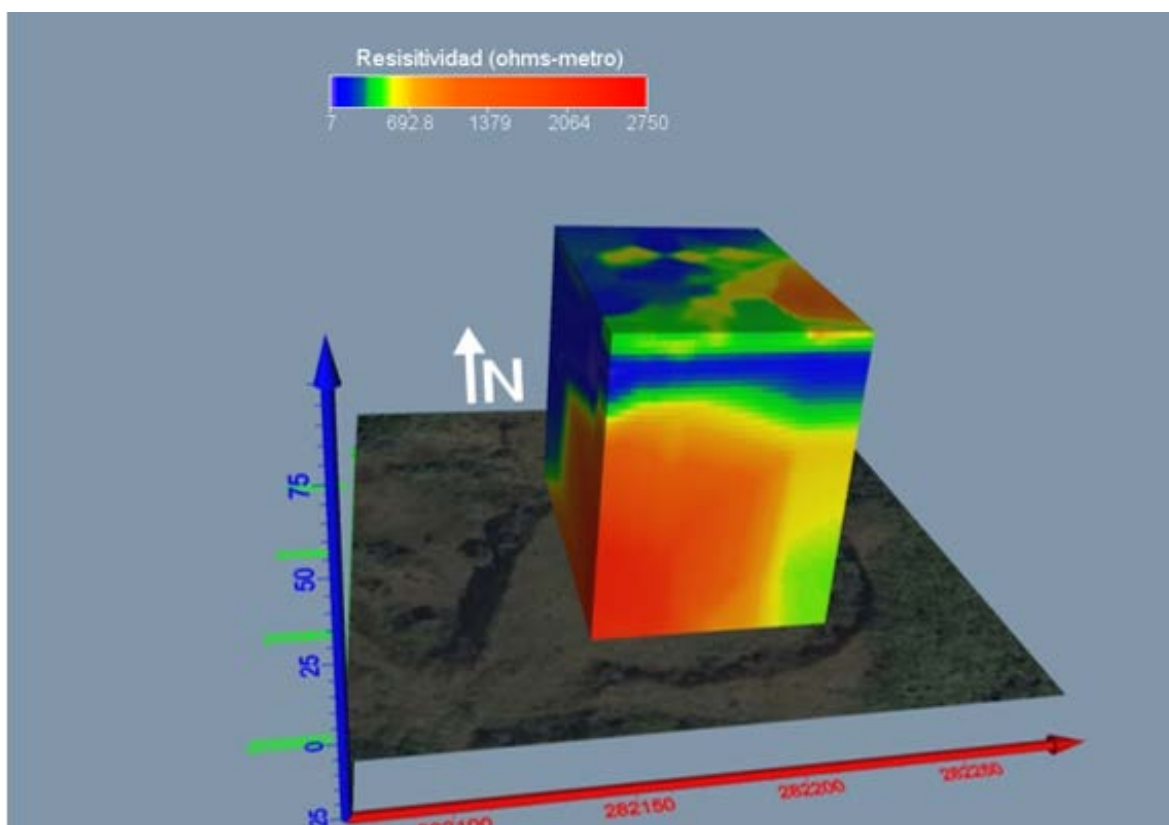


Figura 69. Resultado De Interpolación Zona Alta Vista Sur

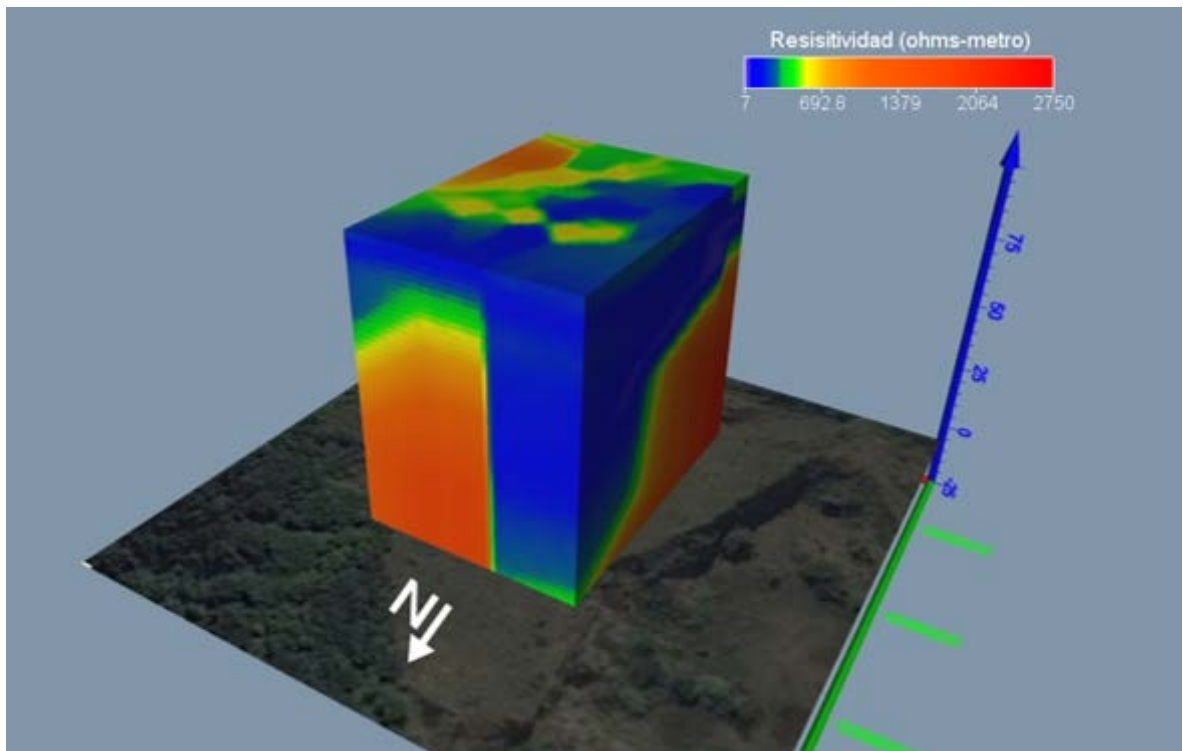


Figura 70. Resultado De Interpolación Zona Alta Vista Norte y Oeste

V.3.2.2. Zona Media

En la zona Media se realizaron dos cubos (área A y área B), debido a la falta de datos que hay en la parte SE y media de la zona.

La figura 71 muestra la vista desde el lado Norte del área A, se observa que las resistividades bajas que corresponden al basalto altamente fracturado con material volcánico se encuentran en casi todo el cubo, el basalto medianamente fracturado que corresponden a resistividades medias se encuentra a una profundidad media del lado N y existen pequeños afloramientos hacia el oeste esto concuerda con lo presentado en las sección 6,2 ,8 ,7.

La figura 72 muestra la vista desde el lado Sur, se observa que las resistividades bajas es decir el basalto altamente fracturado con material volcánico aparece en toda esa parte del cubo, dejando verse al basalto medianamente fracturado de resistividades medias aflorando en la parte oeste esto concuerda principalmente con los presentado en la sección 6 y 5.

Para el área B la figura 73 muestra la vista desde el lado Norte, al NE se puede observar desde la profundidad y llegando a la superficie resistividades medias que corresponden al basalto medianamente fracturado, las resistividades bajas que conforman el basalto altamente fracturado con material volcánico se encuentran al NW a una profundidad media y también se haya aflorando en toda el área esto concuerda principalmente con los presentado en la sección 4, 10 y 11.

La figura 74 muestra la vista desde el lado Sur, en esta se observa que las resistividades altas que corresponden al basalto poco fracturado se encuentra de oeste a este en la profundidad, el basalto medianamente fracturado que son las resistividades medias se encuentra aflorando al SE y cubriendo al basalto poco fracturado esto concuerda principalmente con los presentado en la sección 3, 10 y 9.

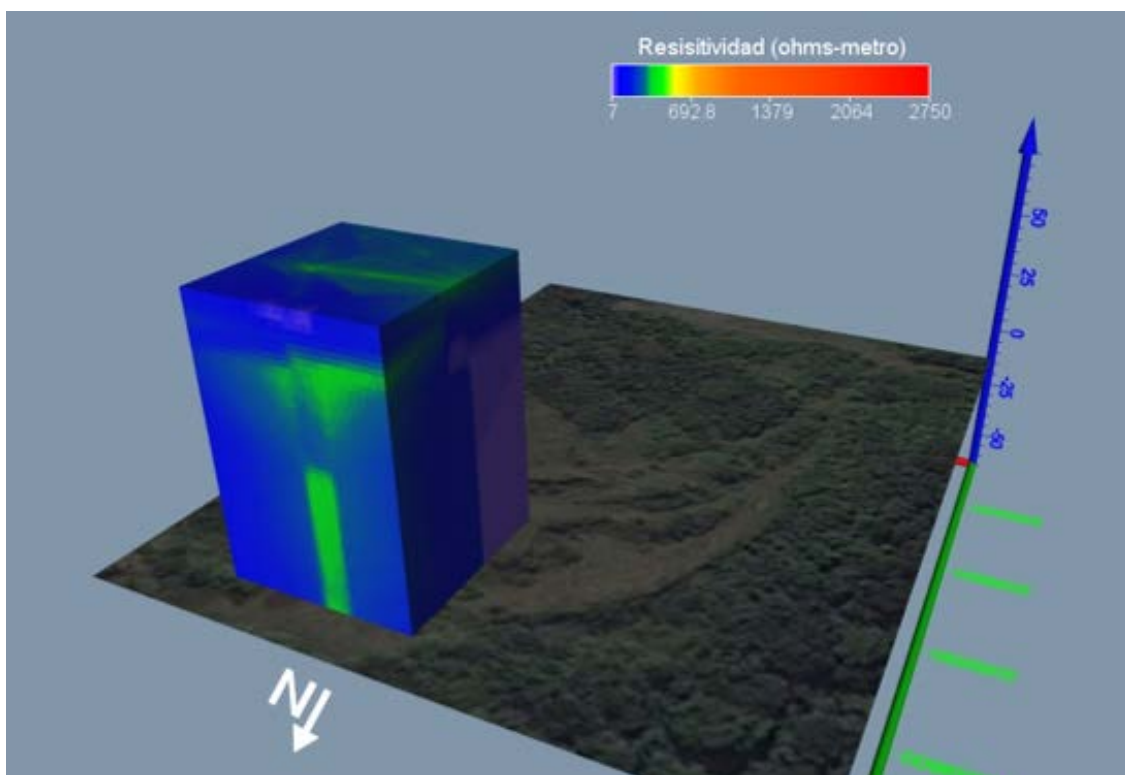


Figura 71. Resultado De Interpolación Del Área A, Zona Media Vista Norte

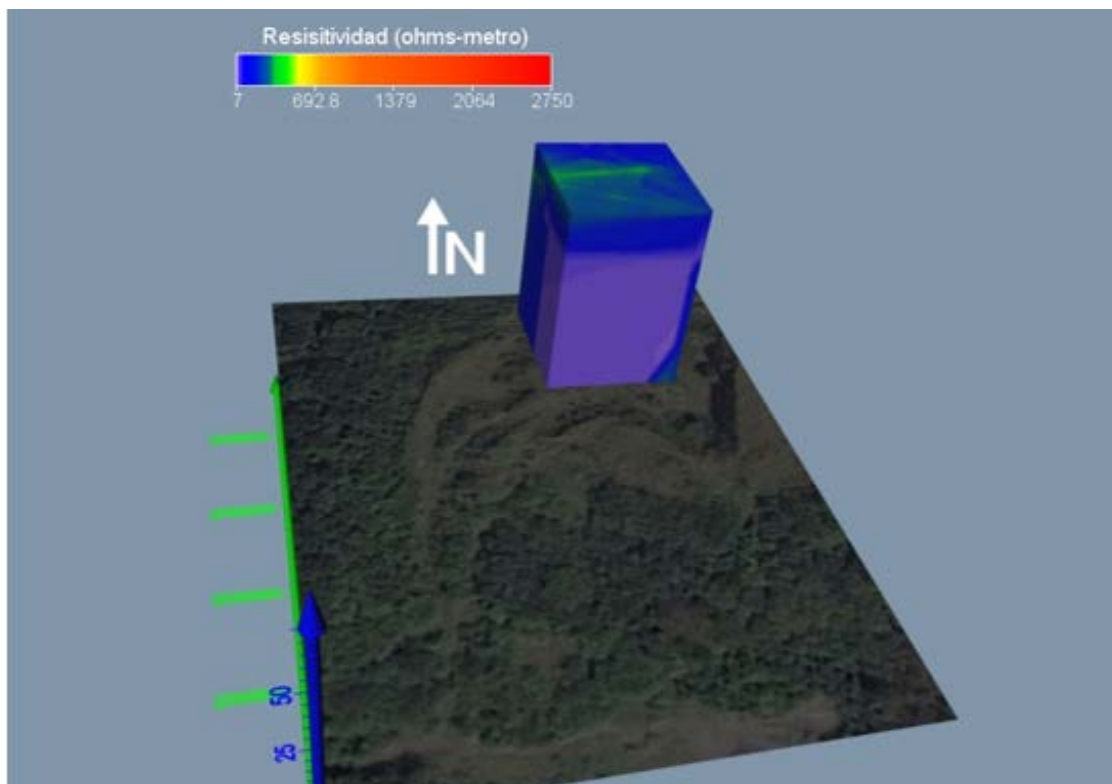


Figura 72. Resultado De Interpolación Del Área A, Zona Media Vista Sur

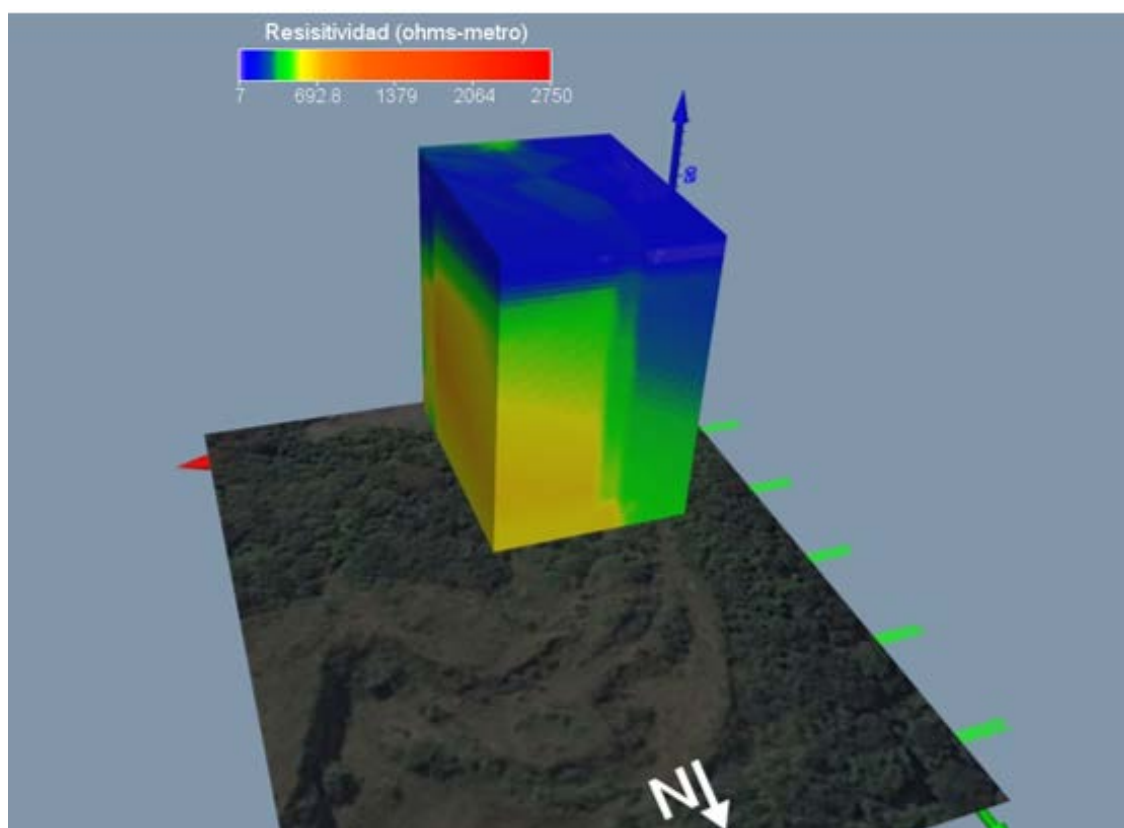


Figura 73. Resultado De Interpolación Del Área B, Zona Media Vista Norte

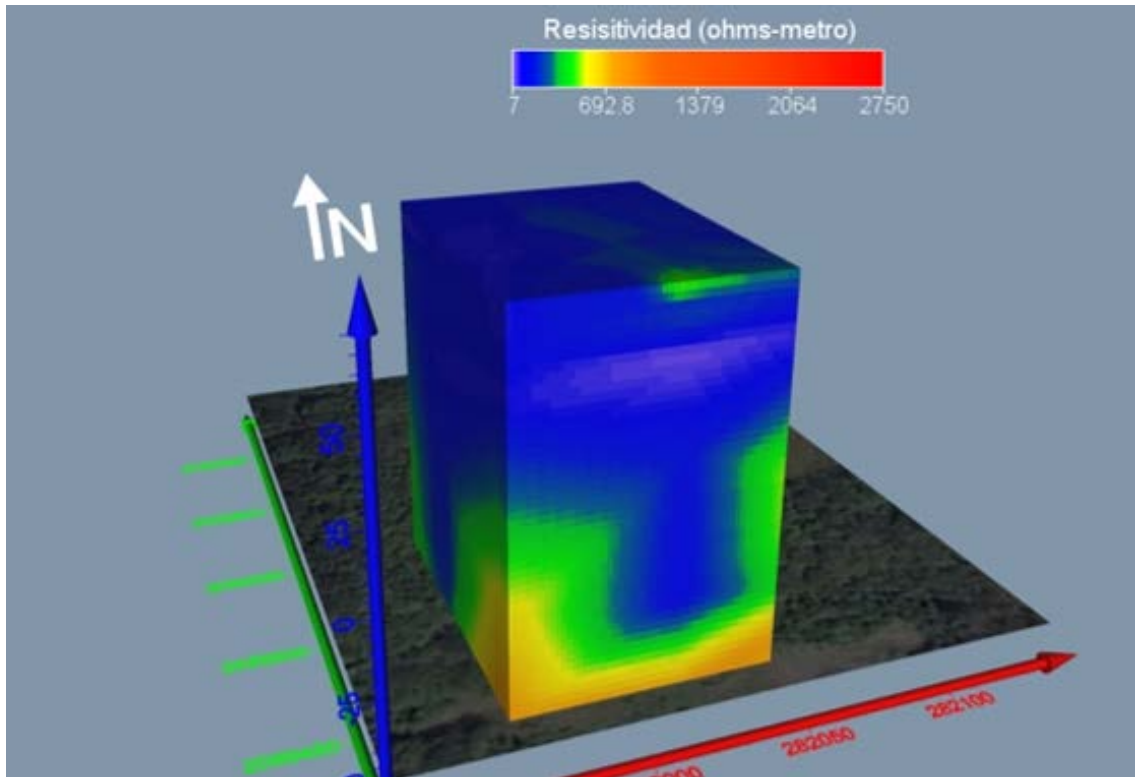


Figura 74. Resultado De Interpolación Del Área B, Zona Media Vista Sur

V.3.2.3. Zona Baja

La figura 75 muestra la vista desde el lado Norte y Oeste, se observa que las resistividades altas que corresponden al basalto poco fracturado se encuentran en la profundidad en toda esa parte del cubo cubriéndolas, las resistividades medias que son del basalto medianamente fracturado cubren a la unidad antes mencionada, el basalto poco fracturado con material volcánico se presenta aflorando al Norte de Oeste a Este esto concuerda principalmente con lo presentado en la sección 12 y 2.

La figura 76 muestra la vista desde el lado Sur, cerca de la superficie se encuentran las resistividades bajas que conforman el basalto poco fracturado con material volcánico, debajo de este y aflorando al Sur de Este a Oeste se encuentran las resistividades medias que corresponden al basalto medianamente fracturado, el basalto poco fracturado se encuentra en la parte profunda esto concuerda principalmente con lo presentado en la sección 7 y 5.

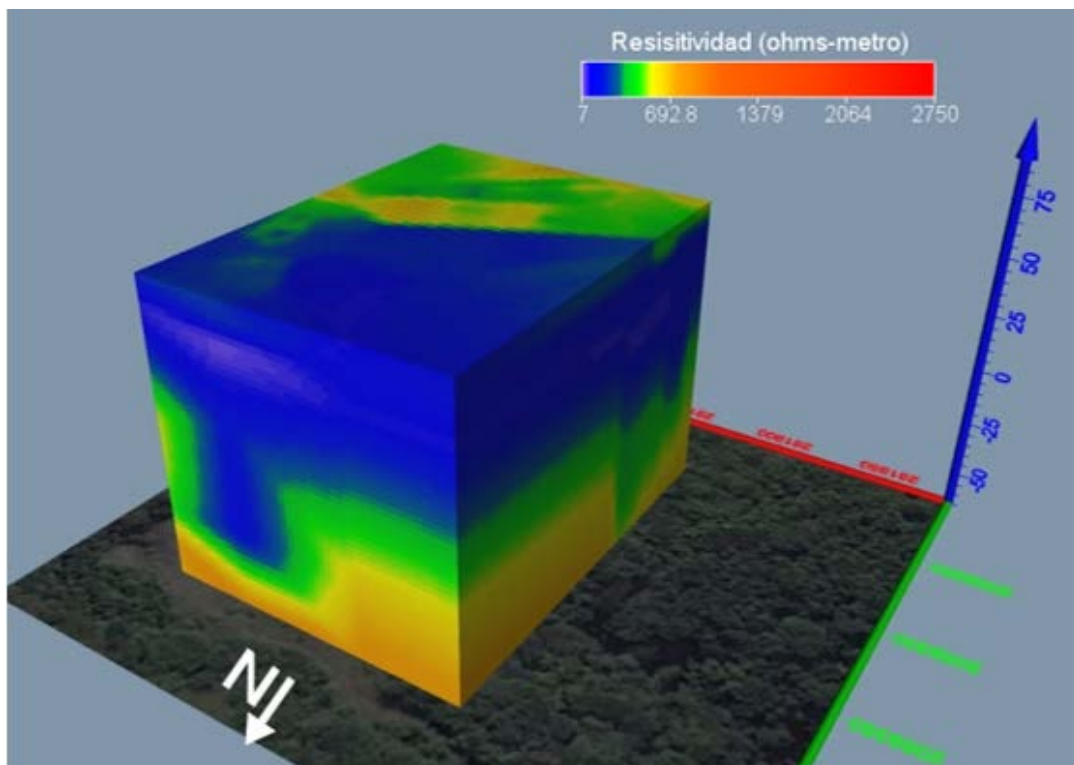


Figura 75. Resultado De Interpolación Zona Baja Vista Norte Y Oeste

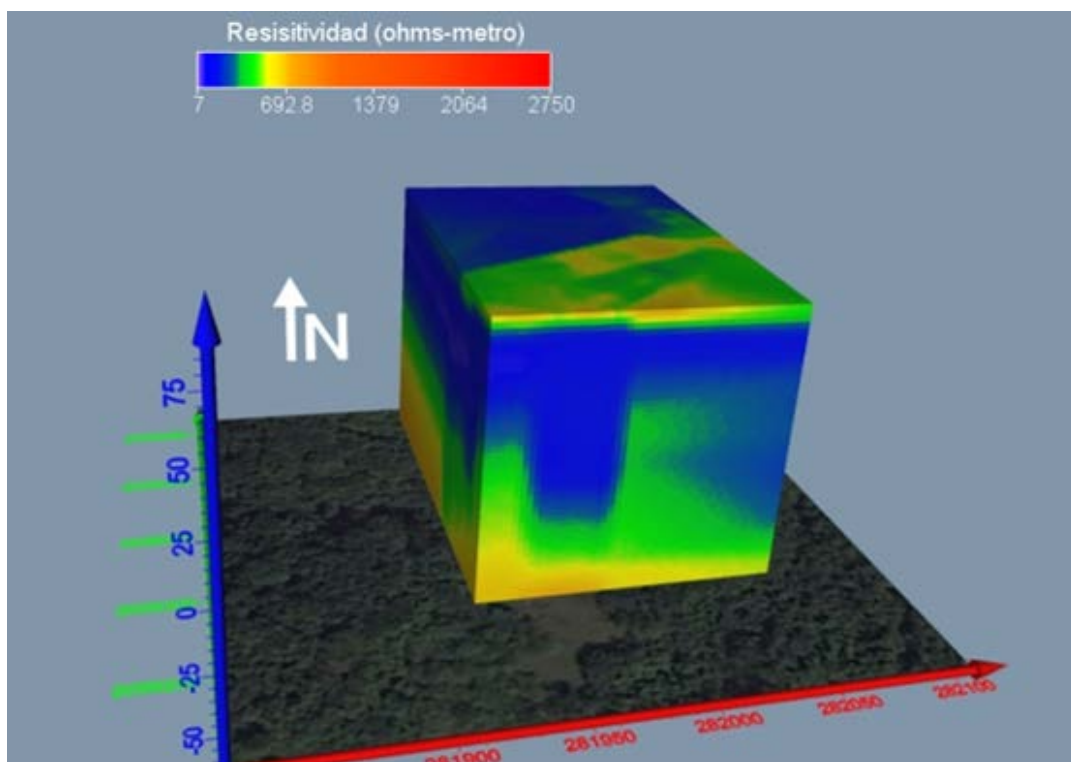


Figura 76. Resultado De Interpolación Zona Baja Vista Sur

V.3.3. Cálculo De Volumen

El cálculo de volumen del material en la zona de estudio se realizó de manera indirecta mediante la obtención de los modelos 3 D, donde se establecieron 4 cubos para el cálculo. Se establecieron dos parámetros para cada modelo ya que depende de los SEVs y secciones geoeléctricas que lo conforman, el primer fue asignarles una profundidad media de acuerdo a las profundidades alcanzadas por los SEVs, la segunda fue determinar su posición para no exagerar el volumen con lugares que no presentaran datos.

Para la zona alta se presenta el cálculo del volumen entre las coordenadas 282144, 282220 E y 2059561, 2059667 N, con una profundidad de investigación de 100 m aproximadamente.

Para la zona media se presenta el cálculo del volumen en dos cubos, el primero que corresponde al área A se encuentra entre las coordenadas 282039, 282100 E y 2059607, 2059669 N, con una profundidad de investigación de 87.92 m aproximadamente. El segundo cubo que es el del área B esta entre las coordenadas 281961, 282043 E y 2059422, 2059527 N, con una profundidad de investigación de 122.6 m aproximadamente.

Para la zona baja se presenta el cálculo del volumen entra las coordenadas 281920, 282047 E y 2059260, 2059428 N, con una profundidad de investigación de 121.37 m aproximadamente.

Los resultados de estos cálculos se presentan en la tabla 14.

Material (m³)	Volumen Zona Alta (m³)	Volumen Zona Media (m³)		Volumen Zona Baja (m³)	Total De Las Unidades
		Área A	Área B		
Basalto Altamente Fracturado Con Material Volcánico	233,917.5397	230,703.3398	384,128.6218	1,495,050.518	2,343,800.0193
Basalto Medianamente Fracturado	268,149.7501	101,132.4435	651,677.9085	1,035,064.267	2,056,024.3691
Basalto Poco Fracturado	302,376.4969	1.3524	17,199.0143	53,872.3175	373,449.1811
Volumen Total	804,443.7867	331,837.1357	1,053,005.5446	2,583,987.1025	4,773,273.5695

Tabla 14. Calculo Del Volumen De La Zona De Estudio

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VI.1. CONCLUSIONES

Con el análisis de las secciones geoeléctricas y las tablas de resistividad de las rocas conocidas, se determinaron tres unidades geoeléctricas y geológicas que van de los 7 Ωm a 230 Ωm para el basalto altamente fracturado con material volcánico, de los 231 Ωm a 699 Ωm corresponden al basalto medianamente fracturado y por último de los 700 Ωm a 2750 Ωm lo ocupa el basalto poco fracturado.

Los modelos 3D de resistividades muestran que el basalto poco fracturado se presenta en mayor proporción al SW de la zona alta teniendo un volumen de 302,376.4969 m^3 , la concentración mínima se da en el área A de la zona media con 1.3524 m^3 .

El basalto medianamente fracturado se encuentra en su mayoría cubriendo al poco fracturado, se encuentran afloramientos al Sur de la zona alta y zona baja, al NW del área B de la zona media se observa en mayor proporción esta unidad teniendo un volumen de 651, 677.9085 m^3 . El volumen máximo de esta unidad se localiza en la zona baja con 1, 035, 064.267 m^3 , la concentración mínima se da en el área A de la zona media con 101,132.4435 m^3 .

El basalto altamente fracturado con material volcánico se encuentra en mayor proporción cubriendo a las otras dos unidades en las tres zonas, se encuentra mayor proporción de esta unidad en el área A de la zona media de Sur a Norte y de Este a Oeste teniendo un volumen de 230,703.3398 m^3 , también se observa en mayor proporción al Norte de Este a Oeste en la zona baja con un volumen de 1, 495, 050.518 m^3 . El volumen máximo se localiza en el área B de la zona media teniendo un volumen de 384,128.6218 m^3 , la concentración mínima se encuentra en el área A de la zona media.

Con el cálculo de volumen de las tres zonas se concluye que el área de estudio tiene un volumen total de 4, 773, 273.5695 m³, siendo el de mayor proporción el basalto altamente fracturado con material volcánico con 2, 343, 800.0193 m³, seguido del basalto medianamente fracturado con un volumen de 2, 056, 024.3691 m³, en menor proporción se encuentra el basalto poco fracturado con un volumen de 373, 449.1811 m³.

VI.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar más sondeos eléctricos verticales en la zona media para poder sacar un volumen total de esta sin dividirla en dos áreas.

Se puede realizar un estudio de ruido sísmico para determinar los módulos elásticos que existen en la zona, esto con el fin de dar información adicional para apoyo que sirva para la explotación o trabajos civiles a futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y ELECTRÓNICAS

Arrubarrena Manuel., (2010). Caracterización De Un Sitio Contaminado Por Hidrocarburo Usando Tomografía De Resistividad Eléctrica.

Auge Miguel., (2008). Métodos Geoeléctricos Para La Prospección De Agua Subterránea.

Caballero Cecilia. Rocas Volcánicas, Volcanes Y Actividad Volcánica.

Cantos José. Tratado De Geofísica Aplicada, 2 Edición.

Carlín Martin., (2013). Estudio De Mecánica De Suelos Mediante Penetración Estándar Para Determinar Condiciones Físicas Del Suelo En El Lecho Marino, Localizado En El Muelle De Balzapote, Región De Los Tuxtla, Ver.

Cuesta Julián A., (2007). Prospección Geofísica En Métodos Potenciales: Tomografía Eléctrica Y Sondeos Eléctricos Verticales Para Caracterización De Suelo Y Aplicación En Estudios Hidrogeológicos.

De la Peña Eliseo., (2009). Prueba De Tomografía Eléctrica Como Herramienta De Prospección De Acuíferos En Pto Cumarebo. Edo Falcón.

Díaz Erika., (2010). Implementación Del Código Zondres2d Para La Modelación Directa E Inversa De Datos De Tomografía De Resistividad Eléctrica 2D.

Gobierno Del Estado De Veracruz, Secretaria De Desarrollo Regional., (1999). Estudio Para La Actualización Del Plan De Desarrollo Regional Turístico De La Zona De Los Tuxtla, Veracruz.

Manual Voxler 3 (2015) Golden Software.

Perdomo Santiago., (2009). Tomografía Eléctrica En Apoyo De La Investigación Arqueológica.

Ríos Fernando. Estudio Geológico De La Región De Los Tuxtlas.

Sánchez F. Javier. Prospección Geofísica: Sondeos Eléctricos Verticales.

Silao Romita., (1998). Estudio Hidrogeológico

Telford, W. M., Geldart, L. PP., Sheriff, R E., and Keys, D.S., (1990). Applied Geophysics. Second Edition.

Google Maps (2016)

Geología Y Suelos Tuxtla.

<http://documents.mx/documents/geologia-y-suelo-tuxtlas.html>

Interpretación De Curvas SEV.

<https://es.scribd.com/doc/55527546/interpretacion-SEV>

IPI2win – 1D Interpretation of VES Profile.

<http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm>

IPI2win Manual (2000)

http://geophys.geol.msu.ru/demo_exe/WIPI_OM2.PDF

Llanura Costera Del Golfo Sur Provincia Fisiográfica.

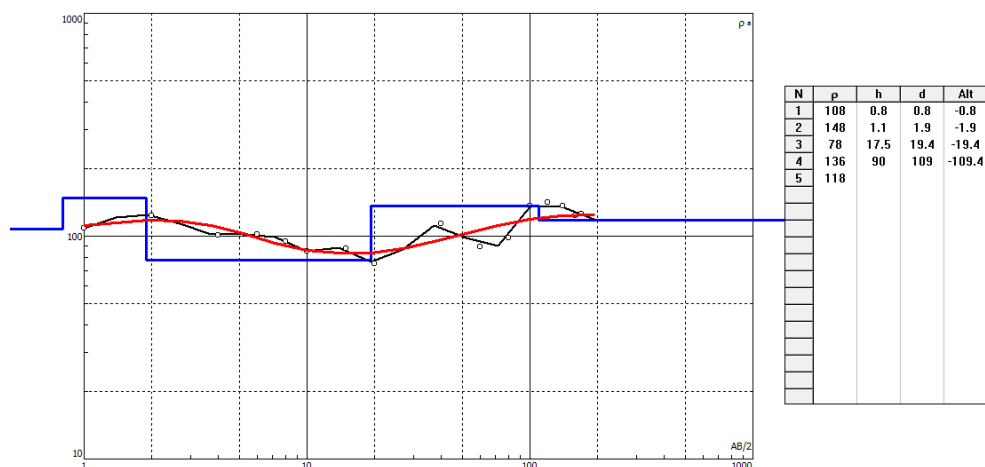
<http://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/relieve-de-mexico/provincia-llanura-costera-del-golfo-sur.html>

Servicio Geológico Mexicano.

<http://www.sgm.gob.mx/>

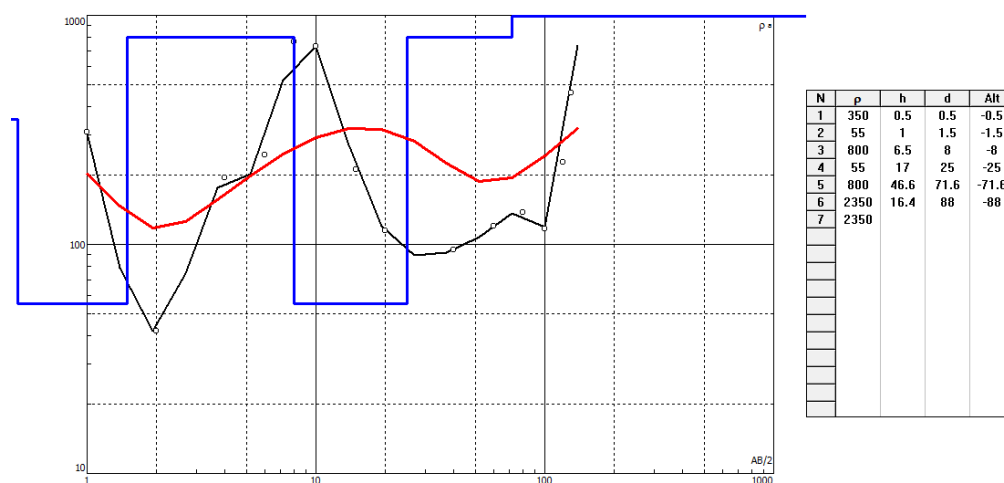
CURVAS DE RESISTIVIDAD DE LOS SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 1



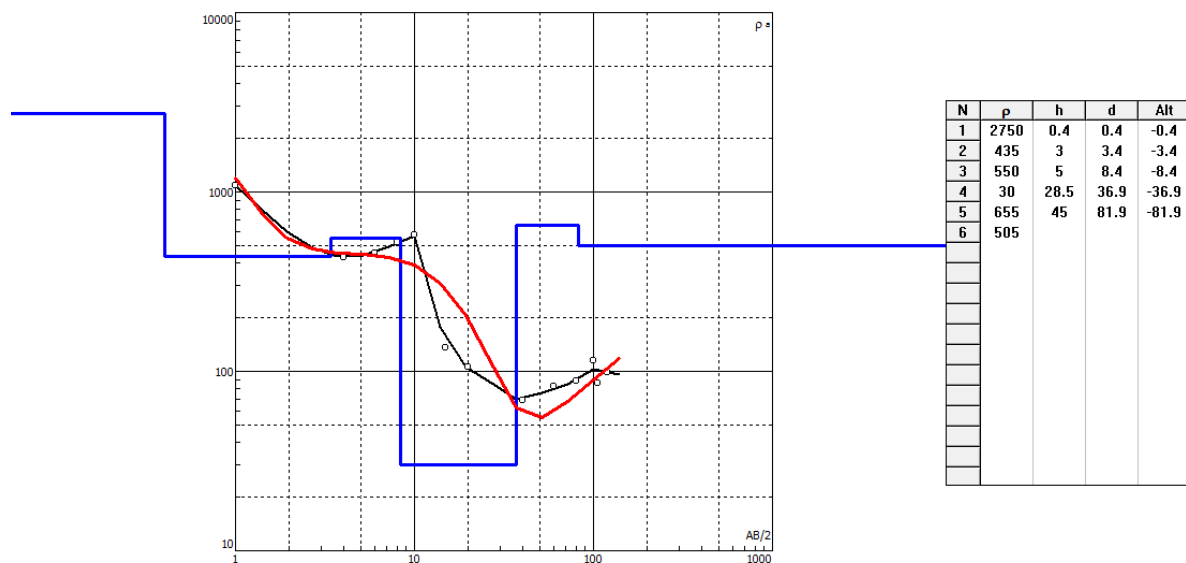
Curva de resistividad del SEV 1 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 2



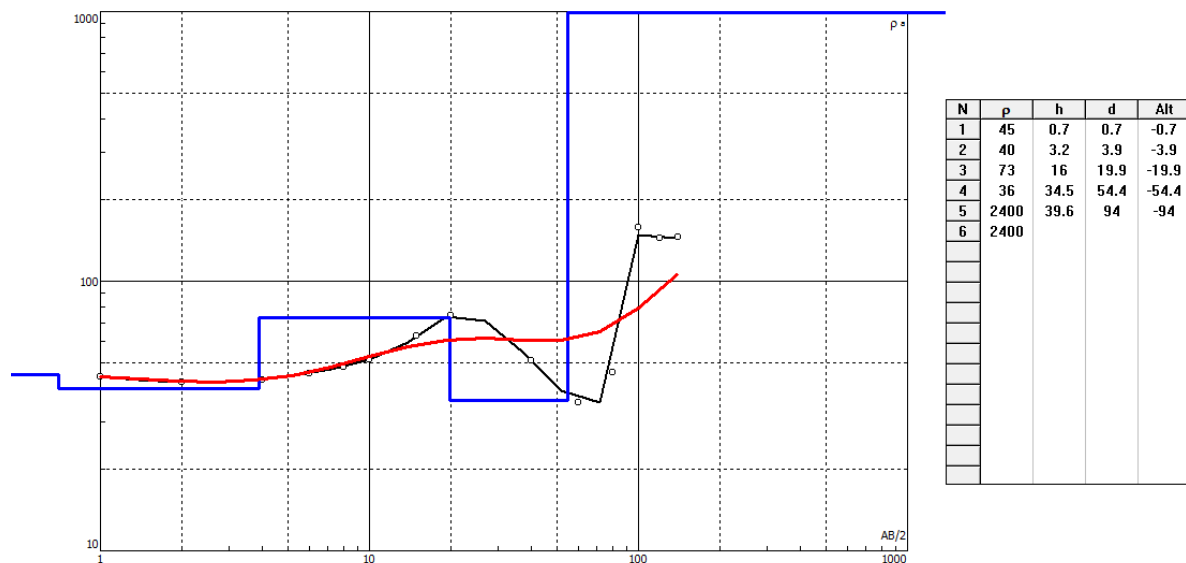
Curva de resistividad del SEV 2 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 3



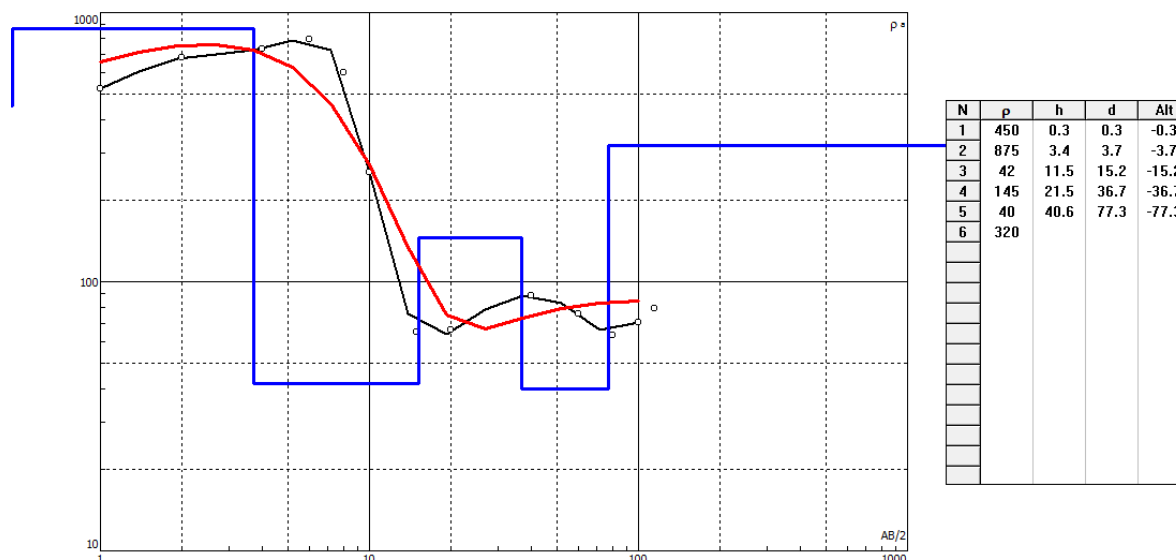
Curva de resistividad del SEV 3 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 4



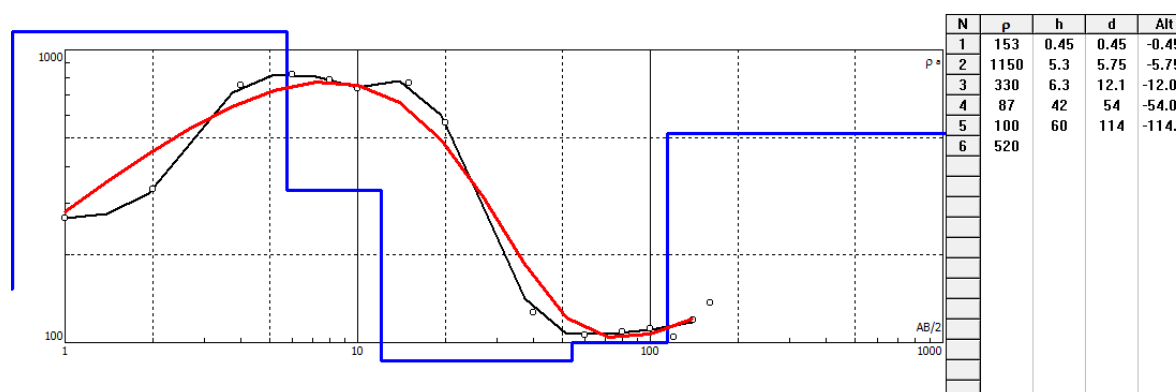
Curva de resistividad del SEV 4 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 6



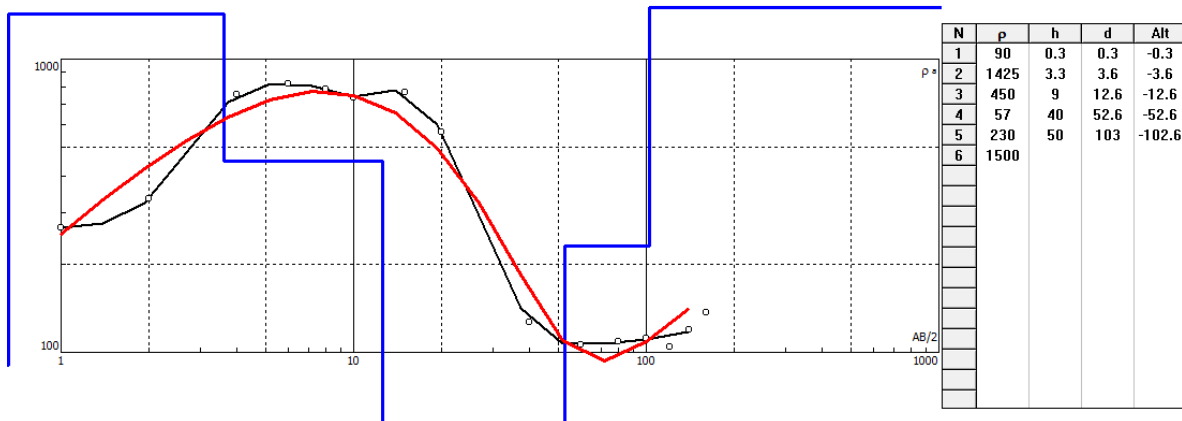
Curva de resistividad del SEV 6 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 9



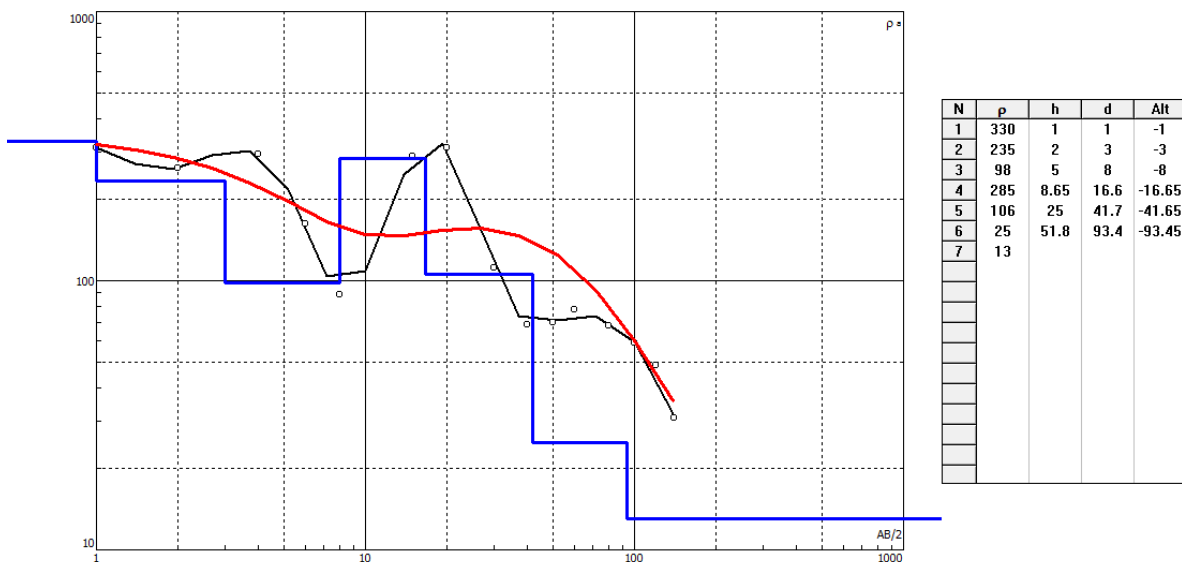
Curva de resistividad del SEV 9 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 10



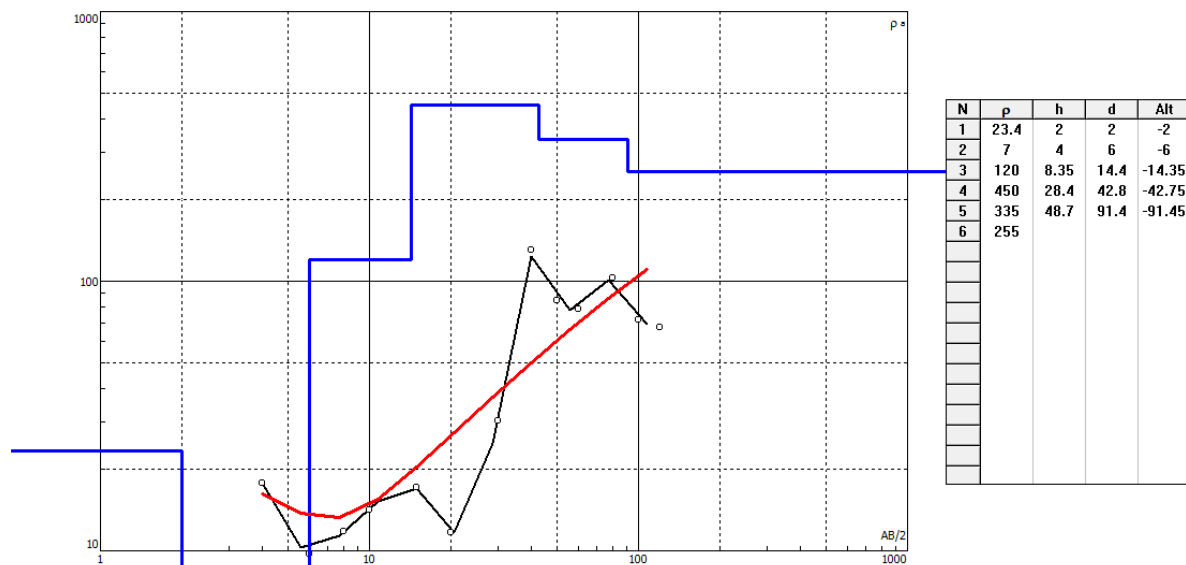
Curva de resistividad del SEV 10 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 12



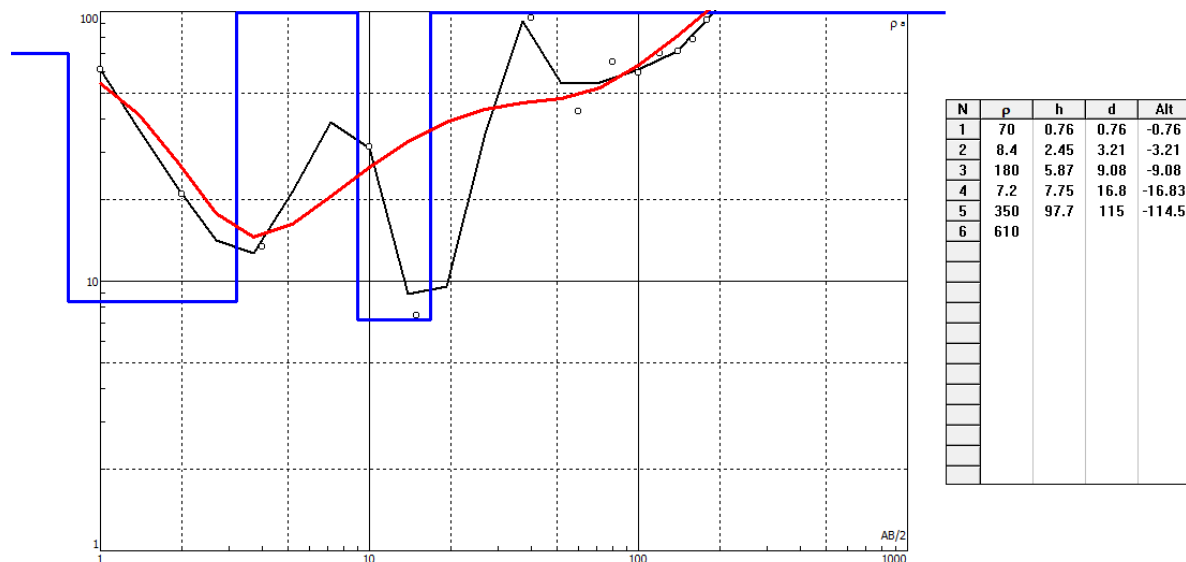
Curva de resistividad del SEV 12 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 14



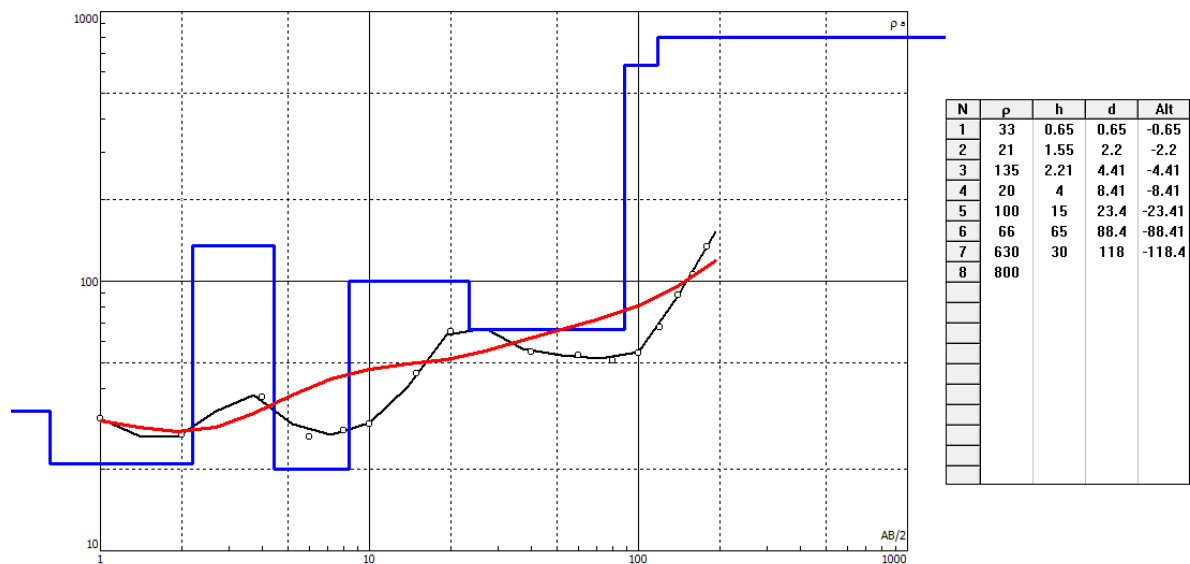
Curva de resistividad del SEV 14 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 16



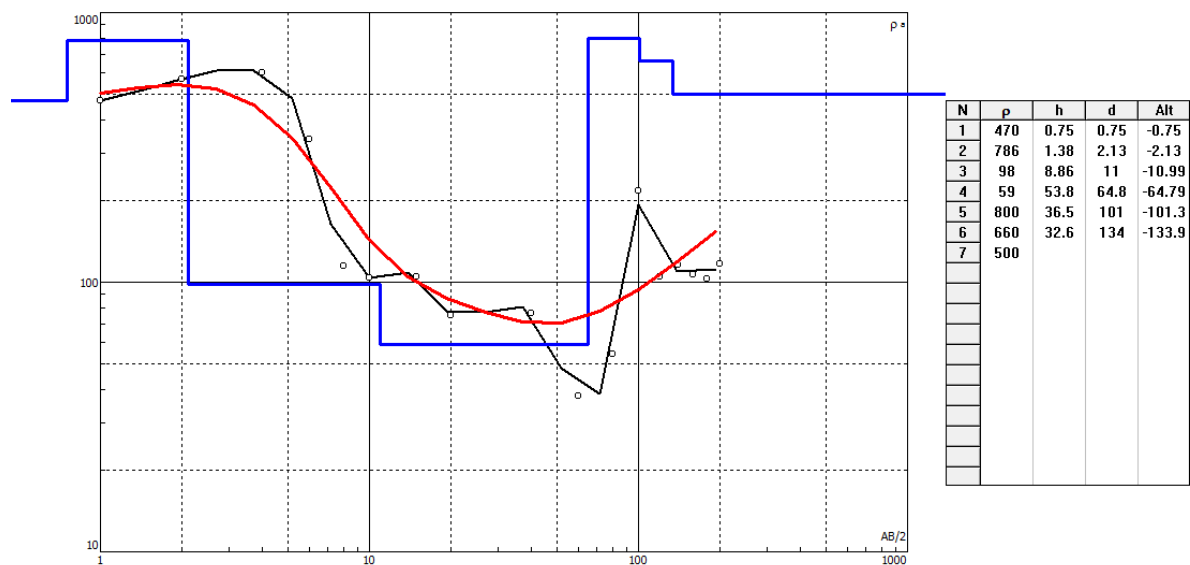
Curva de resistividad del SEV 16 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 18



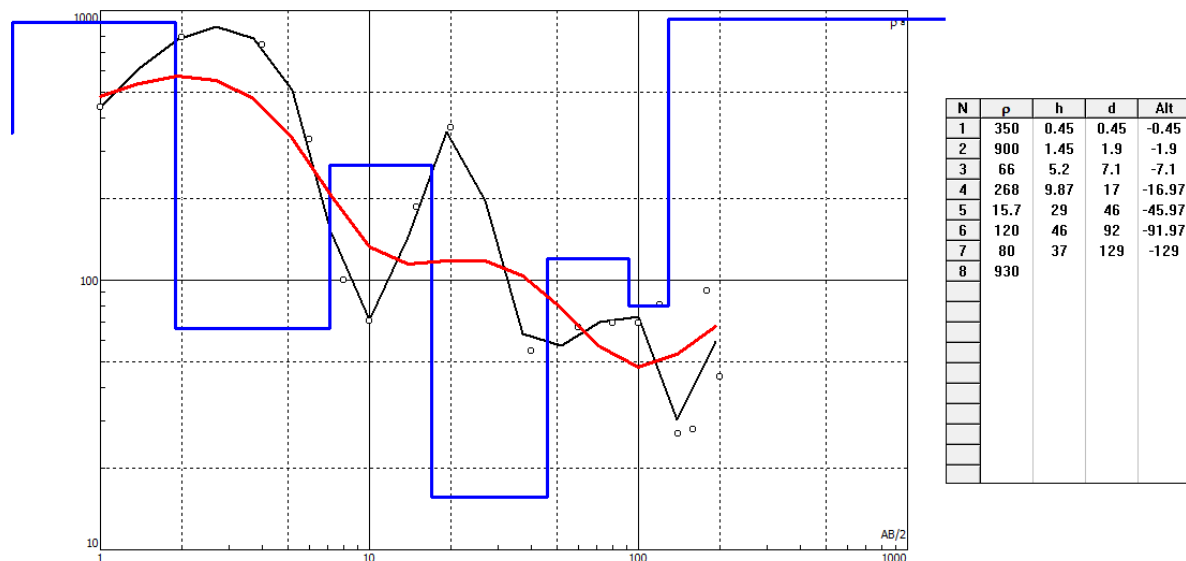
Curva de resistividad del SEV 18 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 19



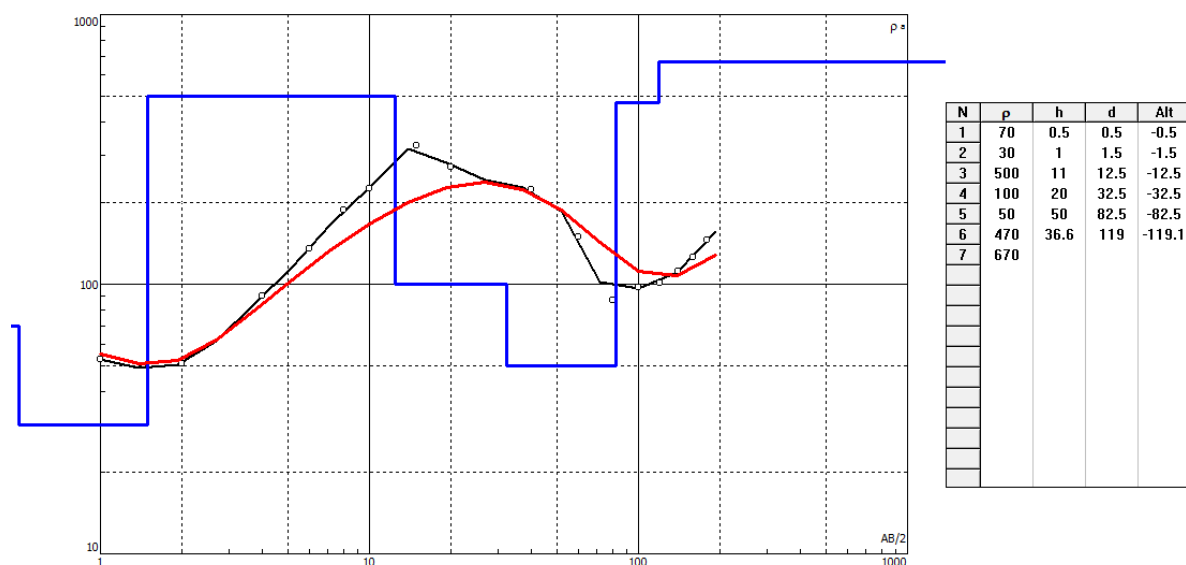
Curva de resistividad del SEV 19 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 20



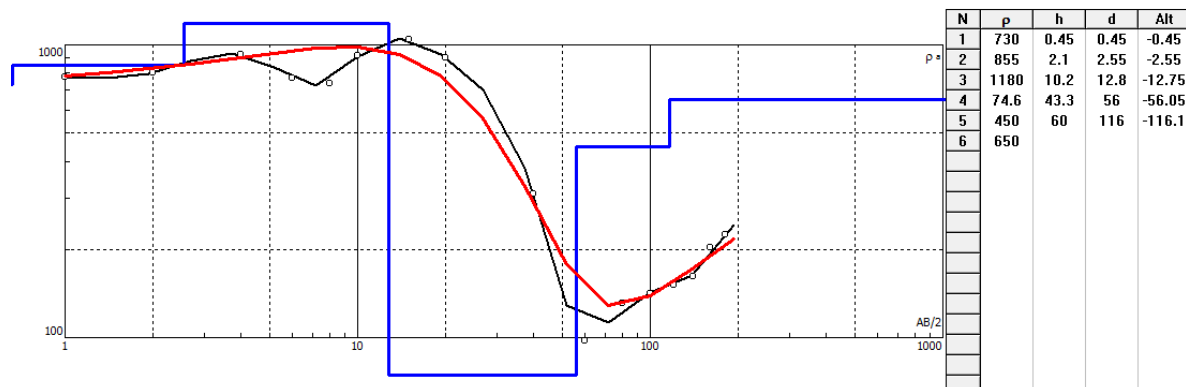
Curva de resistividad del SEV 20 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 23



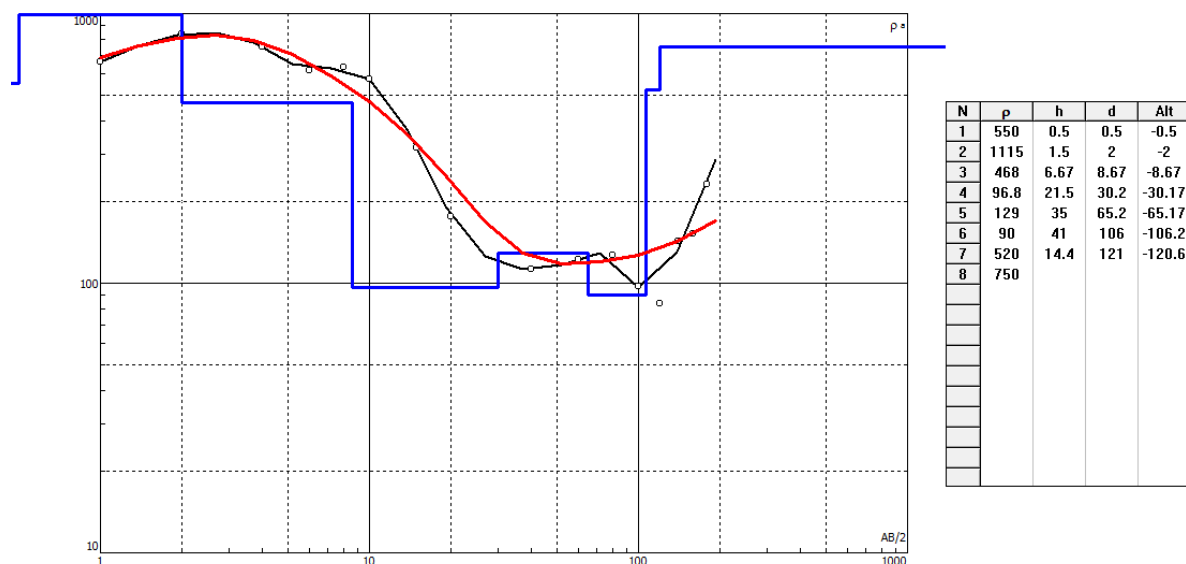
Curva de resistividad del SEV 23 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 24



Curva de resistividad del SEV 24 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

CURVA DE RESISTIVIDAD DEL SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL 25



Curva de resistividad del SEV 25 en ohm/metro (Ωm), curva de campo (línea negra), curva teórica (línea roja), modelo de resistividad verdadera (línea azul). Tabla con valores de resistividad verdadera (ρ), Numero de capas (N), espesores (h) y profundidad (d).

ANEXOS 2

MEMORIA FOTOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO



