



---

---

# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

## **ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE MINERAL BARITA MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILES UTILIZANDO SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA.**

Tesis presentada como requisito para obtener el título de  
Licenciatura en Ingeniería Geofísica

PRESENTA: FELIPE BALTAZAR MARTÍNEZ

ASESOR:  
M. en C. JOSÉ CASTILLO ROMÁN

Enero 201



Oficio No. S.AC. 3168/16  
ACEPTACIÓN TESIS

**C. FELIPE BALTAZAR MARTINEZ**  
**PASANTE DE LA CARRERA DE**  
**INGENIERÍA GEOFÍSICA**  
**DE LA B.U.A.P.**  
**PRESENTE.**

En atención a la autorización del Tema de Tesis que puso Usted a consideración de esta Facultad, se turnó la misma al:

**M. en C. JOSÉ CASTILLO ROMÁN**  
**COORDINADOR DEL COLEGIO DE INGENIERÍA GEOFÍSICA**

Habiendo autorizado el tema denominado:

**“ ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE MINERAL BARITA MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILES UTILIZANDO SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA”**

Por lo anterior hacemos de su conocimiento que se asigna como Asesor Interno al **M. en C. JOSÉ CASTILLO ROMÁN.**

Sin otro particular de momento, me es grato quedar de usted.

ATENTAMENTE  
"PENSAR BIEN PARA VIVIR MEJOR"  
H. Puebla de Z., 14 de diciembre de 2016

**M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ**  
**DIRECTOR**

C.c.p.- Expediente  
Interesado  
M'FDLH'AM' T'rba.



Facultad  
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio  
sin, edif. ING 4, Col. San Manuel,  
Ciudad Universitaria,  
Puebla, Pue. C.P. 72570  
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

M.I. FERNANDO DANIEL LAZCANO HERNÁNDEZ  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE  
INGENIERÍA DE LA B.U.A.P.  
Presente.

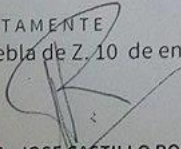
El suscrito: M. en C. JOSE CASTILLO ROMÁN, Asesor Interno del Tema de Tesis denominado:

“ ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE MINERAL BARITA MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILES UTILIZANDO SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA”

Presentado por el C. FELIPE BALTAZAR MARTÍNEZ, Pasante de la Carrera de Ingeniería Geofísica, y en atención al oficio No. 3168/16 de fecha 14 de diciembre de 2016, me permito informar a usted que **después de haber revisado cuidadosamente** el contenido temático, la metodología, la redacción y la ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente **autorizar la impresión** de la misma.

Lo que hago de su conocimiento para los efectos legales a que haya lugar.

ATENTAMENTE  
H. Puebla de Z. 10 de enero de 2017

  
M. en C. JOSE CASTILLO ROMÁN  
ASESOR

C.c.p.- Interesado  
Expediente  
Rba.

# **ESTIMACIÓN DE VOLUMEN DE MINERAL BARITA MEDIANTE EL MÉTODO DE PERFILES UTILIZANDO SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES EN LA SIERRA NORTE DE PUEBLA.**

POR:

FELIPE BALTAZAR MARTÍNEZ

## **RESUMEN**

En este trabajo se muestra los pasos de cálculo de volumen y tonelaje de mineral barita por el método de perfiles utilizando sondeos eléctricos verticales. Para definir la forma de los cuerpos de la zona de mineralización se utilizaron dos métodos los cuales fueron nombrados Método 1 y Método 2. En el Método 1 se realizó un ajuste normal de la curva de resistividad; en el Método 2 se realizó la separación de la distorsión de la curva eléctrica a través de una línea de tendencia tipo polinomial. Para el cálculo del volumen de los cuerpos, tanto para el Método 1 como para el Método 2, se utilizó el método de perfiles para calcular su tonelaje con la ecuación de densidad.

Como método de adquisición se realizaron 23 sondeos eléctricos verticales con un arreglo electródico SCHLUMBERGER con una abertura máxima AB/2 de 100 m en el SEV 13, y una abertura AB/2 mínima de 40 m en el SEV 4. En la adquisición de datos fue utilizado un resistivímetro de marca Scintrex denominado SARIS.

Para el Método 1 se procesaron los datos de campo en el software IPI2WIN, lo que se realizó de manera general fue ajustar las curvas de campo, obteniendo así diferentes modelos geoelectricos, dichos modelos están compuestos o representan un modelo de capas las cuales tienen una resistividad y un espesor, una vez obtenidos estos modelos se crearon las secciones geoelectricas las cuales están conformadas por un número determinado de SEVs, y posteriormente se realizó la interpretación de estas, asignando unidades geoelectricas y geológicas. Cabe mencionar que el ajuste mínimo y máximo de las curvas de resistividad fue de 10 y 2.69 %.

Para el Método 2 los datos adquiridos en campo se graficaron para obtener las curvas de resistividad aparente, posteriormente se les aplicó una línea de tendencia de tipo polinomial dependiendo el grado de inflexiones en la curva, por lo que se obtuvieron la

separación de anomalías de resistividad alta y de resistividad baja, así como una curva ideal sin alteraciones de la zona mineralizada. Se procesaron los datos de las anomalías de alta resistividad en el software IPI2WIN para obtener resistividades verdaderas. Posteriormente se calculó el volumen con método de perfiles su y tonelaje.

Cabe mencionar que para ambos métodos se resto el 70% de la anomalía resultante ya que está asociada con roca estéril y el 30% correspondiente a zona mineralizada. Además el cálculo de volumen para ambos métodos se determinó por el método de perfiles.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres

A mi padre Silverio Baltazar Carpio por todo el apoyo que me has brindado y mi madre Beatriz Nancy Martínez del Carmen por creer en mí, por estar conmigo hasta donde e llegado. Gracias por que sin ustedes no pude haber realizado este sueño.

A mis hermanos

A Beatriz, Silverio y Ricardo, gracias por acompañarme a lo largo de mi carrera.

A mis profesores

A mi profesor José Castillo Román por ser mi director de tesis, al profesor José Serrano Ortiz por su apoyo a lo largo de la carrera, a la profesora Yleana Claudia Martínez Mirón por sus consejos, sus enseñanzas y su amistad.

A mis amigos

A Sheila, Mirely, Giovanna, Erika, Fabiola, Manolo, Pacheco, Paco, Paco Báez y a todos mis compañeros de generación que compartieron grandes momentos, gracias por estar conmigo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>ACEPTACIÓN TESIS .....</b>	<b>III</b>
<b>AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN .....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>IIII</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>IXX</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>3</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. MÉTODOS DE POTENCIAL .....	3
2.1.2. MÉTODOS DE RESISTIVIDAD .....	4
2.1.3. RESISTIVIDAD APARENTE .....	4
<b>2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV).....</b>	<b>5</b>
2.3.1. CURVAS DE SEV .....	5
2.3.2. TIPOS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓDICOS .....	8
<b>2.4. RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS Y MINERALES .....</b>	<b>9</b>
<b>2.5. CONSTANTE DIELECTRICA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.6. LÍNEA DE TENDENCIA.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>13</b>
<b>BARITA.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. BARITA EN MÉXICO .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. PRINCIPALES USOS .....</b>	<b>15</b>
<b>3.3. MARCO LEGAL NORMATIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>3.4. PROPIEDADES DE LA BARITA.....</b>	<b>16</b>

<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>17</b>
<b>ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS</b> .....	<b>17</b>
<b>4.1. RECURSO MINERO</b> .....	<b>17</b>
4.1.1 RECURSO INFERIDO .....	18
4.1.2 RECURSO INDICADO .....	18
4.1.3. RECURSO MEDIDO .....	19
<b>4.2. RESERVAS</b> .....	<b>19</b>
4.2.1. RESERVAS PROBABLES .....	20
4.2.2. RESERVA PROBADA.....	20
<b>4.3. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RECURSOS</b> .....	<b>20</b>
4.3.1. MÉTODOS CLÁSICOS .....	21
4.3.1.1. MÉTODO DE PERFILES .....	22
<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>24</b>
<b>RESERVAS MINERALES POR MÉTODO GEOELÉCTRICO</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y GEOLOGÍA DEL SITIO</b> .....	<b>24</b>
5.1.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	25
<b>5.2. EQUIPO, SOFTWARE E INSTRUMENTACIÓN</b> .....	<b>29</b>
5.2.1. EQUIPO .....	29
5.2.2. SOFTWARE .....	29
5.2.3. IPI2WIN .....	30
5.2.4. AUTOCAD .....	30
<b>5.3. ADQUISICIÓN DE DATOS</b> .....	<b>31</b>
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>33</b>
<b>6.1. MÉTODO 1</b> .....	<b>33</b>
6.1.1 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE CURVAS .....	33
<b>6.2. SECCIONES Y PERFILES GEOELÉCTRICOS</b> .....	<b>46</b>
<b>6.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
<b>6.4. CÁLCULO DE RESERVAS</b> .....	<b>62</b>
6.4.1. CÁLCULO DE AREA, VOLUMEN Y TONELAJE.....	62
6.4.1.1. CÁLCULO DE AREA .....	62
6.4.1.2. CÁLCULO DE VOLUMEN Y TONELAJE.....	65
<b>CAPÍTULO VII</b> .....	<b>73</b>
<b>7.1. MÉTODO 2</b> .....	<b>73</b>
<b>7.2. CÁLCULO DE RESERVAS</b> .....	<b>86</b>
7.2.1. CÁLCULO DE AREA , VOLUMEN Y TONELAJE.....	86
7.2.1.1 CÁLCULO DE ÁREAS .....	87

7.2.1.2 CÁLCULO DE VOLUMEN Y TONELAJE.....	87
<b><i>CAPÍTULO VIII</i></b> .....	<b>102</b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i></b> .....	<b>102</b>
8.1. CONCLUSIONES .....	102
8.2. RECOMENDACIONES.....	103
8.3. BIBLIOGRAFIA.....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Curva bilogarítmica de resistividad (Cantos Figuerola)	6
Figura 2.2. Tipos de curvas de resistividad (Cantos Figuerola)	6
Figura 2.3. Corte de curva tipo <i>H</i> (a) y tipo <i>K</i> (b) (Cantos Figuerola)	7
Figura 2.4. Corte de curva tipo <i>A</i> y tipo <i>Q</i> (Cantos Figuerola)	7
Figura 2.5. Dispositivo WENNER.	8
Figura 2.6. Dispositivo SCHLUMBERGER	9
Figura 2.7. Línea de tendencia polinómica	12
Figura 3.1. Cristales de barita ( <a href="https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/barita/">https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/barita/</a> )	13
Figura 3.2. Principales zonas productoras de barita. (Dirección General de Desarrollo Minero)	15
Figura 4.1. Recursos y reservas	17
Figura 4.2. Método de perfiles	22
Figura 4.3. Calculo de volumen de figuras geométricas	23
Figura 5. Ubicación regional de la zona de estudio (tomado de Google Earth)	25
Figura 5.1. Geología local (determinación de la velocidad de flujo subterráneo. en un río en el estado de Puebla)	28
Figura 5.2. Geología local (INEGI)	28
Figura 5.3. Equipo para prospección geoelectrica SARIS ( <a href="http://www.scintrexltd.com/electrical.html">http://www.scintrexltd.com/electrical.html</a> )	29
Figura 5.4. Interfaz del software IPI2win ( <a href="http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm">http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm</a> )	30
Figura 5.5. Software AUTOCAD	31
Figura 5.6. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (Google earth)	32
Figura 5.7.1 Curva de resistividad para SEV 1	34
Figura 5.7.2. Curva de resistividad para SEV 2	35
Figura 5.7.3. Curva de resistividad para SEV 3	35
Figura 5.7.4. Curva de resistividad para SEV 4	36
Figura 5.7.5. Curva de resistividad para SEV 5	36
Figura 5.7.6. Curva de resistividad para SEV 6	37
Figura 5.7.7. Curva de resistividad para SEV 7	37
Figura 5.7.8. Curva de resistividad para SEV 8	38
Figura 5.7.9. Curva de resistividad para SEV 9	38
Figura 5.7.10. Curva de resistividad para SEV 10	39
Figura 5.7.11. Curva de resistividad para SEV 11	39
Figura 5.7.12. Curva de resistividad para SEV 12	40

Figura 5.7.13. Curva de resistividad para SEV 13	40
Figura 5.7.14. Curva de resistividad para SEV 14	41
Figura 5.7.15. Curva de resistividad para SEV 15	41
Figura 5.7.16. Curva de resistividad para SEV 16	42
Figura 5.7.17. Curva de resistividad para SEV 17	42
Figura 5.7.18. Curva de resistividad para SEV 18	43
Figura 5.7.19. Curva de resistividad para SEV 19	43
Figura 5.7.20. Curva de resistividad para SEV 20	44
Figura 5.7.21. Curva de resistividad para SEV 21	44
Figura 5.7.22. Curva de resistividad para SEV 22	45
Figura 5.7.23. Curva de resistividad para SEV 23	46
Figura 6.2. Perfiles (líneas roja)	47
Figura 6.2.1. Perfil geoelectrico de los sondeos 1, 2, 3, 4 y 5	48
Figura 6.2.2. Perfil geoelectrico de los sondeos 6, 7, 8 y 9	49
Figura 6.2.3. Perfil geoelectrico de los sondeos 10, 11, 12 y 13	51
Figura 6.2.4. Perfil geoelectrico de los sondeos 14, 15 y 16	52
Figura 6.2.5. Perfil geoelectrico de los sondeos 18 y 19	54
Figura 6.2.6. Perfil geoelectrico de los sondeos 19 y 20	55
Figura 6.2.7. Perfil geoelectrico de los sondeos 21, 22 y 23	56
Figura 6.3.1. Perfil geológico de los sondeos 1, 2, 3, 4 y 5	58
Figura 6.3.2. Perfil geológico de los sondeos 6, 7, 8 y 9	58
Figura 6.3.3. Perfil geológico de los sondeos 10, 11, 12 y 13	59
Figura 6.3.4. Perfil geológico de los sondeos 14, 15 y 16	60
Figura 6.3.5. Perfil geológico de los sondeos 17 y 18	60
Figura 6.3.6. Perfil geológico de los sondeos 19 y 20	61
Figura 6.3.7. Perfil geológico de los sondeos 21, 22 y 23	61
Figura 6.4.1.2. Perfil de anomalías de los sondeos 6, 7, 8 y 9	62
Figura 6.4.1.1. Perfil de anomalías de los sondeos 1, 2, 3, 4 y 5	63
Figura 6.4.1.3. Perfil de anomalías de los sondeos 10, 11, 12 y 13	63
Figura 9.1.4: Perfil de anomalías de los sondeos 14, 15 y 16	63
Figura 6.4.1.5. Perfil de anomalías de los sondeos 17 y 18	64
Figura 6.4.1.6. Cuerpos mineralizados (color rojo C1, color amarillo C2, color azul C3)	65
Figura 6.4.1.7. Cuerpos mineralizados (color rojo C1, color amarillo C2, color azul C3)	65
Figura 6.4.1.8. Mapa de anomalía de cuerpo C1	66

Figura 6.4.1.9. Perfiles de cuerpo C1 (color rojo)	67
Figura 6.4.1.10. Mapa de anomalía de cuerpo C2 (color amarillo)	69
Figura 6.4.1.11. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)	69
Figura 6.4.1.12. Mapa de anomalía de cuerpo C3	71
Figura 6.4.1.13. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)	71
Figura 7.1.1. Curva de resistividad del sondeo 1 (anomalías color rojo)	74
Figura 7.1.2. Curva de resistividad del sondeo 2 (anomalías color rojo)	74
Figura 7.1.3. Curva de resistividad del sondeo 3 (anomalías color rojo)	75
Figura 7.1.4. Curva de resistividad del sondeo 4 (anomalías color rojo)	75
Figura 7.1.5. Curva de resistividad del sondeo 5 (anomalías color rojo)	76
Figura 7.1.6. Curva de resistividad del sondeo 6 (anomalías color rojo)	76
Figura 7.1.7. Curva de resistividad del sondeo 7 (anomalías color rojo)	77
Figura 7.1.8. Curva de resistividad del sondeo 8 (anomalías color rojo)	77
Figura 7.1.9. Curva de resistividad del sondeo 9 (anomalías color rojo)	78
Figura 7.1.10. Curva de resistividad del sondeo 10 (anomalías color rojo)	78
Figura 7.1.11. Curva de resistividad del sondeo 11 (anomalías color rojo)	79
Figura 7.1.12. Curva de resistividad del sondeo 12 (anomalías color rojo)	79
Figura 7.1.13. Curva de resistividad del sondeo 13 (anomalías color rojo)	80
Figura 7.1.14. Curva de resistividad del sondeo 14 (anomalías color rojo)	80
Figura 7.1.15. Curva de resistividad del sondeo 15 (anomalías color rojo)	81
Figura 7.1.16. Curva de resistividad del sondeo 16 (anomalías color rojo)	81
Figura 7.1.17. Curva de resistividad del sondeo 17 (anomalías color rojo)	82
Figura 7.1.18. Curva de resistividad del sondeo 18 (anomalías color rojo)	82
Figura 7.1.19. Curva de resistividad del sondeo 19 (anomalías color rojo)	83
Figura 7.1.20. Curva de resistividad del sondeo 20 (anomalías color rojo)	83
Figura 7.1.21. Curva de resistividad del sondeo 21 (anomalías color rojo)	84
Figura 7.1.22. Curva de resistividad del sondeo 22 (anomalías color rojo)	84
Figura 7.1.23. Curva de resistividad del sondeo 23 (anomalías color rojo)	85
Figura 7.2.1.2. Mapa de cuerpos de nivel 1 (color rojo)	88
Figura 7.2.1.3. Mapa de cuerpos de nivel 1 en 3D (color rojo)	88
Figura 7.2.1.4. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)	89
Figura 7.2.1.5. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)	89
Figura 7.2.1.6. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)	90
Figura 7.2.1.7. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)	90

Figura 7.2.1.8. Mapa de cuerpos de nivel 2 (color azul)	92
Figura 7.2.1.9. Mapa de cuerpos de nivel 2 en 3D (color azul)	92
Figura 7.2.1.10. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)	93
Figura 7.2.1.11. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)	93
Figura 7.2.1.12. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)	94
Figura 7.2.1.13. Mapa de cuerpos de nivel 3 (color amarillo)	95
Figura 7.2.1.14. Mapa de cuerpos de nivel 3 en 3D (color amarillo)	95
Figura 7.2.1.15. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)	96
Figura 7.2.1.16. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)	96
Figura 7.2.1.17. Mapa de cuerpos de nivel 4 (color verde)	98
Figura 7.2.1.18. Mapa de cuerpos de nivel 4 en 3D (color verde)	98
Figura 7.2.1.19. Perfiles de cuerpo C3 (color verde)	99
Figura 7.2.1.20. Perfiles de cuerpo C3 (color verde)	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tipo de corte de curvas (Cantos Figuerola)	7
Tabla 2.2. Resistividades en Ohm*m de diferentes rocas, minerales y químicos. (ALH Geofísica)	10
Tabla 2.3. Resistividades de las rocas y minerales (Cantos Figuerola)	10
Tabla 2.4. Resistividades de las rocas y minerales (Telford, 1990)	10
Tabla 2.5. Constante dieléctrica de minerales (Telford, 1990)	11
Tabla 3.1. Valor económico de Barita (SGM)	14
Tabla 5. Coordenadas y altura de SEV	31
Tabla 6. Unidad geoelectrica, litología y rango de resistividad	34
Tabla 5.1. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 1	34
Tabla 5.2 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 2	35
Tabla 5.3. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 3	35
Tabla 5.4 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 4	36
Tabla 5.5. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 5	36
Tabla 5.6 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 6	37
Tabla 5.7. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 7	37
Tabla 5.8 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 8	38
Tabla 5.9. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 9	38
Tabla 5.10 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 10	39
Tabla 5.11. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 11	39
Tabla 5.12 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 12	40
Tabla 5.13. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 13	40
Tabla 5.14 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 14	41
Tabla 5.15. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 15	41
Tabla 5.16 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 16	42
Tabla 5.17. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 17	42
Tabla 5.18 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 18	43
Tabla 5.19. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 19	43
Tabla 5.20 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 20	44
Tabla 5.21. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 21	44
Tabla 5.22 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 22	45
Tabla 5.23. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 23	45

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litologia	48
Tabla 6.3. Unidades geológicas	57
Tabla 6.4.1.1. Cálculo de volumen de C1	68
Tabla 6.4.1.2. Tonelaje de cuerpo C1	68
Tabla 6.4.1.3. Cálculo volumen de C2	70
Tabla 6.4.1.4. Tonelaje de cuerpo C2	70
Tabla 6.4.1.5. Cálculo de volumen de C3	72
Tabla 6.4.1.6. Tonelaje de cuerpo C3	72
Tabla 6.4.1.7. Tonelaje total	72
Tabla 7.1.1. Anomalia y resistividad de sondeo 1	74
Tabla 7.1.2. Anomalia y resistividad de sondeo 2	74
Tabla 7.1.3. Anomalia y resistividad de sondeo 3	75
Tabla 7.1.4. Anomalia y resistividad de sondeo 4	75
Tabla 7.1.5. Anomalia y resistividad de sondeo 5	76
Tabla 7.1.6. Anomalia y resistividad de sondeo 6	76
Tabla 7.1.7. Anomalia y resistividad de sondeo 7	77
Tabla 7.1.8. Anomalia y resistividad de sondeo 8	77
Tabla 7.1.9. Anomalia y resistividad de sondeo 9	78
Tabla 7.1.10. Anomalia y resistividad de sondeo 10	78
Tabla 7.1.11. Anomalia y resistividad de sondeo 11	79
Tabla 7.1.12. Anomalia y resistividad de sondeo 12	79
Tabla 7.1.13. Anomalia y resistividad de sondeo 13	80
Tabla 7.1.14. Anomalia y resistividad de sondeo 14	80
Tabla 7.1.15. Anomalia y resistividad de sondeo 15	81
Tabla 7.1.16. Anomalia y resistividad de sondeo 16	81
Tabla 7.1.17. Anomalia y resistividad de sondeo 17	82
Tabla 7.1.18. Anomalia y resistividad de sondeo 18	82
Tabla 7.1.19. Anomalia y resistividad de sondeo19	83
Tabla 7.1.20. Anomalia y resistividad de sondeo 20	83
Tabla 7.1.21. Anomalia y resistividad de sondeo 21	84
Tabla 7.1.22. Anomalia y resistividad de sondeo 22	84
Tabla 7.1.23. Anomalia y resistividad de sondeo 23	85
Tabla 7.2.1.1. Áreas de anomalías	87
Tabla 7.2.1.1. Cálculo volumen de cuerpos nivel 1	91

Tabla 7.2.1.1.1. Tonelaje de cuerpos nivel 1	91
Tabla 7.2.1.2. Cálculo volumen de cuerpos de nivel 2	94
Tabla 7.2.1.2.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 2	94
Tabla 7.2.1.3. Cálculo volumen de cuerpos de nivel 3	97
Tabla 7.2.1.3.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 3	97
Tabla 7.2.1.4. Cálculo de volumen de cuerpos de nivel 4	100
Tabla 7.2.1.4.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 4	100
Tabla 7.2.1.5. Tonelaje total de los cuerpos de los 4 niveles	101

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

Los métodos eléctricos desde su desarrollo se han aplicado principalmente a la exploración minera, primero limitándose a sulfuros más conductores y posteriormente a estudios estructurales. En la actualidad los métodos eléctricos se emplean en estructuras no conductoras, para obras públicas así como en el uso del petróleo, su aplicación más útil se encuentra en la investigación de aguas subterráneas.

Las técnicas geoeléctricas nos permiten calcular la resistividad de las distintas estructuras que se encuentran en el subsuelo, estudia las variaciones de ciertos campos naturales del subsuelo. En general se envía energía al terreno creando así campos artificiales cuya deformación puede deberse a características mineras del subsuelo, mediante un par de electrodos y otro par de electrodos para la diferencia de potencial.

Por su bajo valor económico con respecto a otras técnicas geofísicas así como su sencillez de aplicación y su gran resultado se implementaron los sondeos eléctricos verticales (SEVs).

La técnica de sondeos eléctricos verticales se pueden determinar la localización de zonas mineralizadas en las que podemos ver su continuidad lateral en los perfiles geoeléctricos y consideran zonas de interés para la exploración así como determinar la explotación de depósitos minerales, ya sea de gran importancia económica o no lo sea.

En la adquisición de datos se ejecutaron un total de 23 sondeos eléctricos verticales (SEVs) con un arreglo tipo SCHLUMBERGER. Para definir la forma de los cuerpos se realizaron por medio de dos métodos donde el Método 1 se realizó mediante ajuste normal de curva de resistividad y el Método 2 mediante la separación de la distorsión de la curva eléctrica a través de una línea de tendencia tipo polinomial.

Para el cálculo volumétrico se cálculo con el método de perfiles para ambos métodos de generación de cuerpos, posteriormente se calculo su tonelaje para cada método.

## **1.1. OBJETIVOS**

### **GENERALES**

Estimación de volumen de mineral barita en la Sierra Norte de Puebla mediante el método de perfiles utilizando sondeos eléctricos verticales.

### **ESPECÍFICOS**

- Definir las unidades eléctricas asociadas a la zona de mineralización.
- Definir la forma de los cuerpos por medio de dos métodos: a) Método. Ajuste normal de curva de resistividad, b) Método 2. Separación de la distorsión de la curva eléctrica a través de una línea de tendencia tipo polinomial.
- Aplicar el método de perfiles para determinar el volumen de los cuerpos asociados a la zona mineralizada.
- Determinar el tonelaje del mineral para Método 1 y Método 2.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS**

Los métodos eléctricos se caracterizan por el estudio de campos de potencial eléctrico ya sea por inyección de corriente artificial o corriente natural. Las medidas que obtenemos de dicho método nos ayudan a determinar y reconocer estructuras geológicas.

Los métodos eléctricos se dividen en tres grupos:

- a) Método de polarización espontánea.
- b) Métodos de potencial.
- c) Métodos electromagnéticos.

Tienen ventajas del estudio sobre otros métodos ya que en estos se puede controlar la profundidad de penetración del estudio así como también se pueden cubrir grandes extensiones en tiempos relativamente reducidos.

Desde el principio de su desarrollo, estos métodos se han aplicado principalmente a la exploración minera. Primero limitándose a la localización de los sulfuros más conductores y a estos siguieron los estudios estructurales. (Cantos Figuerola).

Como en este estudio se utilizarán los métodos potenciales, se describirán a continuación.

##### **2.1.1. MÉTODOS DE POTENCIAL**

Los métodos de potencial son los que emplean una fuente artificial de corriente a través de electrodos dos de ellos de corriente (A) y dos de potencial (B), que permiten determinar las variaciones del campo de potencial originado. Pueden ser de corriente continua o corriente alterna.

Se clasifican en:

- Método de líneas y perfiles equipotenciales.
- Métodos de resistividades.
- Métodos de cocientes y caídas de potencial.
- Métodos tipo Eltran (Electrical Transient).

### **2.1.2. MÉTODOS DE RESISTIVIDAD**

El método de resistividad es el más importante de los métodos eléctricos. Permite el estudio de formaciones subhorizontales y subverticales. En este método se encarga de enviar una corriente al subsuelo mediante dos electrodos (A) y mide la diferencia de potencial con otros dos electrodos (B).

### **2.1.3. RESISTIVIDAD APARENTE**

La resistividad aparente es aquella medida generada por lectura al ejecutar un sondeo eléctrico vertical, la resistividad aparente variara con respecto a él espaciamiento de los electrodos y a la heterogeneidad del terreno.

## **2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **LEY DE OHM**

La intensidad de la corriente eléctrica que circula por un conductor eléctrico es directamente proporcional a la diferencia de potencial aplicada e inversamente proporcional a la resistencia del mismo.

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.1)$$

La resistividad eléctrica describe el flujo de la corriente eléctrica a través de un material, ya que la corriente, su resistencia y la caída de potencial están representadas en la ley de Ohm.

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.2)$$

La resistencia del medio no solo depende del tipo de material del que está formado, sino que es función de la geometría del conductor. Si dicho conductor se asemeja a un prisma de longitud  $L$  y sección  $A$ , se obtiene lo siguiente:

Donde  $\rho$  es la resistividad del medio  $R = \rho \frac{L}{A}$  (2.3)

Se igualan las ecuaciones (2.2) y (2.3), y se despeja la resistividad se tiene:

Donde  $k$  es un factor geométrico  $\rho = \frac{A \Delta V}{L I} \rightarrow \rho = \kappa \frac{\Delta V}{I}$  (2.4)

### 2.3. SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES (SEV)

El sondeo eléctrico vertical genera información para determinar los cambios verticales de las propiedades geoelectricas del subsuelo. Los SEVs son una serie de lecturas tomando un punto del terreno como estación, con un mismo dispositivo y separaciones de los electrodos de emisión y recepción, a medida que la separación aumenta obtenemos mayor profundidad, determinando una resistividad aparente. Los sondeos eléctricos verticales determinan estructuras horizontales con una inclinación no mayor a los 30°.

El SEV o sondeo eléctrico vertical, es el más utilizado por su sencillez y por ser un método relativamente económico.

#### 2.3.1. CURVAS DE SEV

Las curvas de resistividad son resultados de los datos de resistividad aparente, están en función de las distancias entre los electrodos y la geometría del dispositivo electrónico. Los datos adquiridos se grafican en hoja bilogaritmicas en el que el eje de las ordenadas corresponde a las resistividades aparentes, y las abscisas corresponden a la distancia que hay entre los electrodos de corriente.

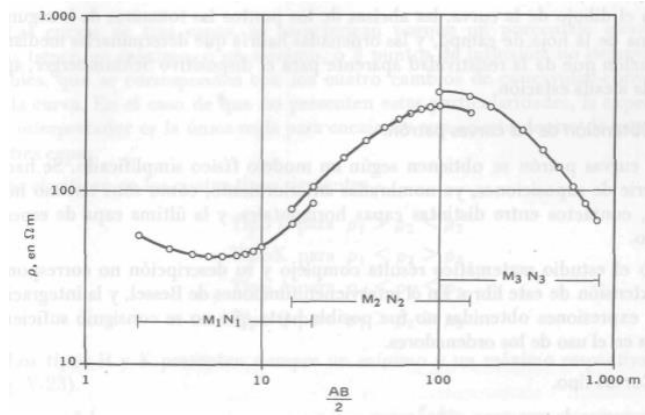


Figura 2.1. Curva bilogarítmica de resistividad (Cantos Figuerola)

Los cortes geoelectrónicos se clasifican dependiendo del número de capas que la componen. En el caso de dos capas la curva comienza tangente a la resistividad de la primera capa y tiende asintóticamente hacia la resistividad de la segunda capa.

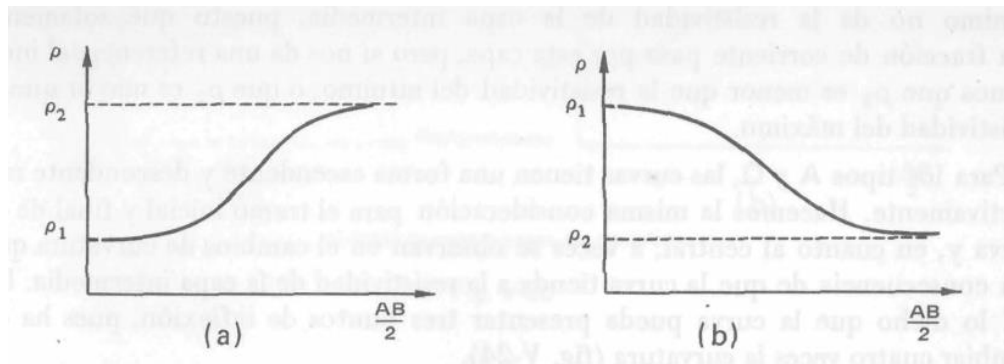


Figura 2.2. Tipos de curvas de resistividad (Cantos Figuerola)

Las curvas de tres capas se caracterizan por tener 3 puntos de inflexión que corresponden con los cuatro cambios de concavidad – convexidad de la curva. Se clasifican en cuatro tipos (Tabla 2.1.).

Tipo de corte	Configuración de resistividades
H	$\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
K	$\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
Q	$\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
A	$\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

Tabla 2.1. Tipo de corte de curvas (Cantos Figuerola)

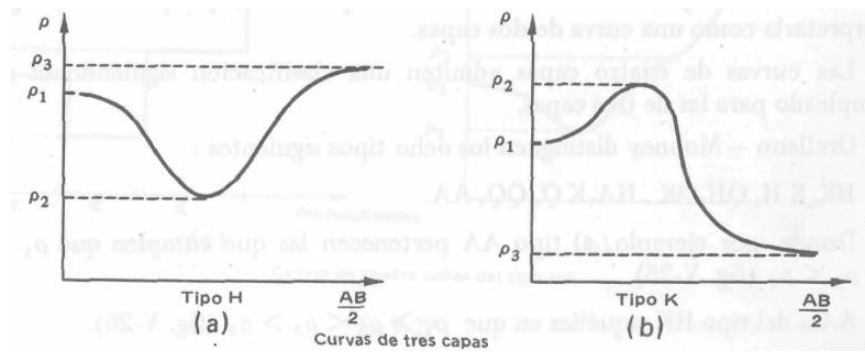


Figura 2.3. Corte de curva tipo H (a) y tipo K (b) (Cantos Figuerola)

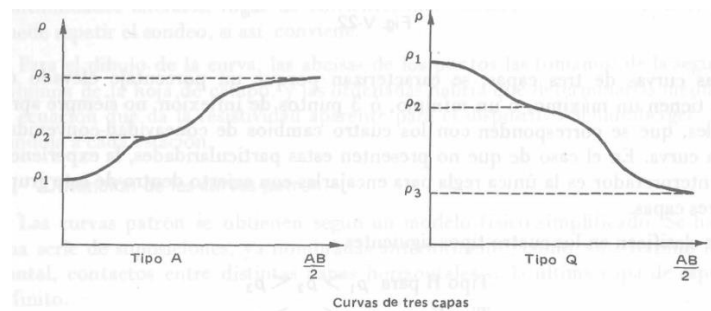


Figura 2.4. Corte de curva tipo A y tipo Q (Cantos Figuerola)

### 2.3.2. TIPOS DE DISPOSITIVOS ELECTRÓDICOS

Los dispositivos electródicos son los arreglos geométricos de los electrodos que se colocan con una estructura determinada. Usualmente constan de cuatro electrodos aunque en algunos dispositivos solo se utilizan tres o dos electrodos. Para algunos dispositivos son simétricos al centro y hay otros dispositivos que no están alineados.

Entre los dispositivos empleados en el método eléctrico encontramos:

- Dispositivo WENNER
- Dispositivo SCHLUMBERGER
- Dispositivo DIPOLO – DIPOLO

Dispositivo WENNER

El dispositivo WENNER es de los más utilizados, utiliza los cuatro electrodos alineados y simétricos con respecto al punto estación, manteniendo iguales las tres distancias, de modo que si se mueven los electrodos de corriente (A) de igual manera se tienen que mover los electrodos de potencial (B) (REFERENCIA), como se muestra en la figura 2.5.

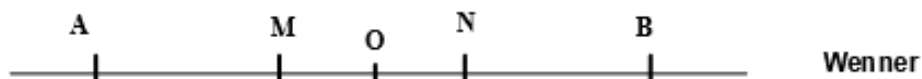


Figura 2.5. Dispositivo WENNER.

$$k = \pi \frac{b(b+a)}{a}$$

Donde  $k$  es llamado coeficiente del arreglo geométrico del dispositivo

Dispositivo SCHLUMBERGUER

El dispositivo SCHLUMBERGUER se caracteriza porque los electrodos de corriente (A) se encuentran simétricos con respecto al punto de estación, así como los electrodos de potencial (B) solo que a una distancia menor que la de los electrodos de corriente, los

cuatro electrodos se encuentran alineados con respecto al punto de estación (REFERENCIA), como se muestra en la figura 2.6.



Figura 2.6. Dispositivo SCHLUMBERGER.

$$k = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{L-l} - \frac{1}{L+l}\right) - \left(\frac{1}{L+l} - \frac{1}{L-l}\right)} = \frac{\pi L^2 - l^2}{2l}$$

Donde  $k$  es llamado coeficiente del arreglo geométrico del dispositivo

## 2.4. RESISTIVIDAD DE LAS ROCAS Y MINERALES

Las rocas y minerales presentan diferentes propiedades eléctricas, la resistividad eléctrica es la más importante y la de mayor variación. La resistividad se puede definir como la resistencia que opone un cuerpo y se mide en Ohmio – metro. (Referencia).

La resistividad de los materiales puede variar dependiendo el grado de meteorización y de contenido de agua principalmente así como también pueden variar por su edad, litología, porosidad de la roca y salinidad de agua. (referencia). De acuerdo a esto las rocas ígneas son las que presentan mayor valor de resistividad, las rocas metamórficas las de valor intermedio y los sedimentos de menor valor de resistividad.

En los métodos resistividad es importante saber el valor de resistividad de las rocas y sus demás propiedades físicas.

A continuación se muestran tablas de resistividades de las rocas, sedimentos y minerales.



## 2.5. CONSTANTE DIELECTRICA

Constante dieléctrica o permitividad relativa, es un valor que expresa el grado de polarización de un material, o la propiedad característica de un medio dieléctrico, medio que no posee conductividad eléctrica.

La constante dieléctrica se determina a partir de la siguiente ecuación

$$K = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

Donde:

(2.5)

K = Constante dieléctrica

E = Permitividad eléctrica del material dieléctrico (f/m)

E<sub>0</sub> = Permitividad del vacío (f/m)

Rock, mineral	Dielectric const.
Galena	18
Sphalerite	7.9 - 69.7
Cassiterite	23
Hematite	25
Fluorite	6.2 - 6.8
Calcite	7.8 - 8.5
Apalite	7.4 - 11.7
Barite	7 - 12.2
Peridotite	8.6
Norite	61
Quartz porphyry	14 - 49.3
Diabase	10.5 - 34.5
Trap	18.9 - 39.8
Dacite	6.8 - 8.2
Obsidian	5.8 - 10.4
Sulphur	3.6 - 4.7
Rock salt	5.6
Anthracite	5.6 - 6.3
Gypsum	5 - 11.5
Biotite	4.7 - 9.3
Epidote	7.6 - 15.4
Plagioclase feldspar	5.4 - 7.1
Quartz	4.2 - 5
Granite (dry)	4.8 - 18.9
Gabbro	8.5 - 40
Diorite	6.0
Serpentine	6.6
Gneiss	8.5
Sandstone (dry to moist)	4.7 - 12
Packed sand (dry to moist)	2.9 - 105
Soil (dry to moist)	3.9 - 29.4
Basalt	12
Clays (dry to moist)	7 - 43
Petroleum	2.07 - 2.14
Water (20° C)	80.36
Ice	3 - 4.3

Tabla 2.5. Constante dieléctrica de minerales (Telford, 1990)

## 2.6. LÍNEA DE TENDENCIA

Una línea de tendencia es una línea recta trazada uniendo sucesivos mínimos o soportes, si se trata de una tendencia alcista, o sucesivos máximos o resistencias si es bajista.

Existen diferentes tipos de líneas de tendencias:

- línea de tendencia lineal
- línea de tendencia logarítmica
- línea de tendencia de potencia
- línea de tendencia exponencial
- línea de tendencia de media móvil
- línea de tendencia polinómica

### POLINÓMICA

Una línea de tendencia polinómica es una línea curva que se utiliza cuando los datos fluctúan. El orden del polinomio se puede determinar mediante el número de fluctuaciones en los datos o en función del número de máximos y mínimos que aparecen en la curva. Una línea de tendencia polinómica de Orden 2 suele tener sólo un máximo o un mínimo. Una de Orden 3 normalmente tiene uno o dos máximos o mínimos. El Orden 4 tiene más de tres.

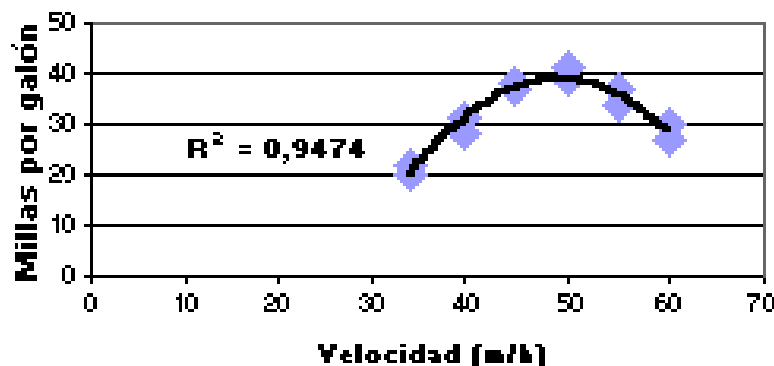


Figura 2.7. Línea de tendencia polinómica

## CAPITULO III

### BARITA

Derivado de la palabra griega *baros* que significa pesado derivado de su gran peso. La barita o baritina es un sulfato de bario ( $BaSO_4$ ), usado para incrementar la densidad de los fluidos de perforación, constituye aproximadamente el 40% de los constituyentes del lodo de perforación. Se encuentra en la naturaleza como masas cristalinas de color blanco, verdosas, grisáceas o rojizas.

El sulfato de bario o barita es un mineral típico de filones hidrotermales principalmente, así como también en masas granuladas, fibrosas o compactas, en nódulos de arcilla, en venas de estratos sedimentarios y alrededor de fuentes termales. Se presenta en cristales rómbicos tabulares, unidos por la base. Se distingue muy bien de los carbonatos por no efervescer, ser insoluble en ácidos

Los minerales asociados son numerosos: calcopirita, calcita, aragonito, sulfuro, pirita, cuarzo, vanadinita, cerusita y fluorita.

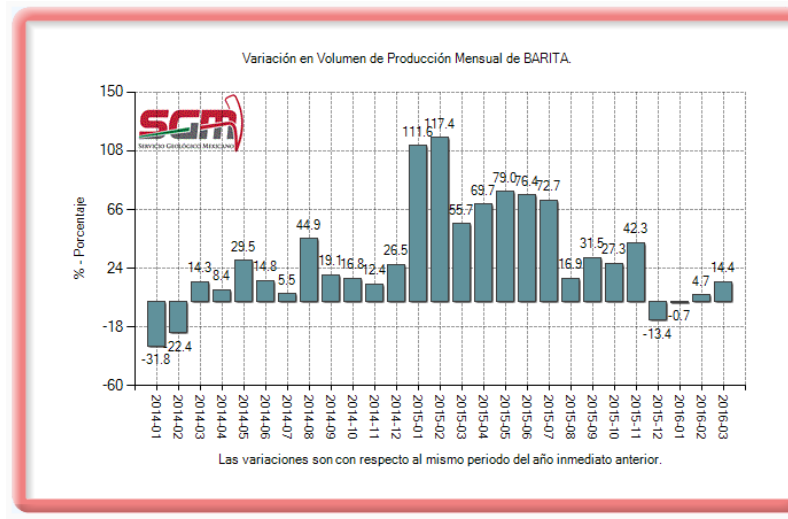


Figura 3.1. Cristales de barita (<https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/barita/>)

El uso principal de la barita es en la industria petrolera. Así como en la aplicación en la industria de la pintura como un pigmento con resistencia a los ácidos. Debido a su alta densidad se ocupa para protección en los cuartos de rayos x.

### 3.1. BARITA EN MÉXICO

El principal uso de la barita en México y en el mundo es en la perforación de pozos petroleros en promedio el 95%. El 5% restante lo consume la industria de la pintura (pintura para automóviles) y las salas de rayos X.



Grafica 3.1. Variación en volumen de producción mensual de barita (SGM)

MM\$ = Valor en millones de pesos  
MMUSD = Valor en millones de dólares americanos.

PERIODO	BARITA VOLUMEN TONS.	BARITA VALOR MM\$	BARITA VALOR MMUSD
2016-03	21,288	\$40.40	\$2.29
2016-02	18,849	\$24.90	\$1.35
2016-01	18,963	\$43.40	\$2.42
2015-12	9,609	\$23.90	\$1.40
2015-11	15,887	\$37.70	\$2.27
2015-10	15,717	\$40.90	\$2.46
2015-09	16,536	\$34.70	\$2.06
2015-08	16,396	\$37.40	\$2.26
2015-07	17,247	\$42.80	\$2.60
2015-06	15,592	\$31.30	\$2.02
2015-05	18,095	\$43.90	\$2.87
2015-04	18,850	\$40.75	\$2.68
2015-03	18,609	\$37.22	\$2.44
2015-02	18,008	\$23.19	\$1.55
2015-01	19,092	\$25.94	\$1.77
2014-12	11,185	\$22.33	\$1.54
2014-11	11,184	\$22.11	\$1.63
2014-10	12,344	\$26.98	\$2.00
2014-09	12,576	\$20.29	\$1.53
2014-08	14,030	\$22.50	\$1.71
2014-07	9,984	\$15.77	\$1.22
2014-06	8,841	\$14.09	\$1.09
2014-05	10,445	\$14.48	\$1.12
2014-04	11,106	\$14.58	\$1.12
2014-03	11,954	\$15.49	\$1.17

Tabla 3.1. Valor económico de Barita (SGM)

La distribución de barita en México se localiza en tres provincias geológicas principales al norte del país. Actualmente, la región minera con mayor potencial productor de barita se encuentra en Nuevo León, la segunda entidad productora es Coahuila, y la tercera

entidad la conforman entre Colima, Guerrero, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Sonora y Sinaloa.



Figura 3.2. Principales zonas productoras de barita. (Dirección General de Desarrollo Minero)

### 3.2. PRINCIPALES USOS

#### Materia prima de lodos de perforación

El sulfato de bario es un sólido que se adiciona a los fluidos de perforación para incrementar la densidad, con objeto de evitar que el gas, aceite o agua presentes en las formaciones permeables invadan el barreno; previniendo además el derrumbe de las paredes mediante el control de presión hidrostática de las columnas de fluido que depende de la densidad de la barita adicionada y de la longitud de la columna hidrostática

#### Pinturas

La barita es molida blanqueada y tratada como relleno en pinturas para dar cuerpo al pigmento. Controla la viscosidad de la pintura para hacer productos de color brillante y de buena estabilidad.

### 3.3. MARCO LEGAL NORMATIVO

En el Artículo 4o. de la Ley Minera queda especificado que se sujetarán a ésta, los minerales o sustancias de los que se extraiga bario, así como los minerales de uso industrial barita y witherita.

No existe una norma internacional. Más bien son condiciones obligatorias específicas del American Petroleum Institute de Estados Unidos para utilizar el mineral barita como materia prima de lodos de perforación.

### 3.4. PROPIEDADES DE LA BARITA

- Estabilidad térmica (1580°C).
- Conductividad térmica ( $6 \times 10^3$  cal/cm)
- Calor específico (0.11 cal/g°C).
- Constante dieléctrica (7.3).
- Sistema cristalino: Rómbico.
- Coeficiente de expansión térmica ( $10 \times 10^6$ ).
- Densidad de 4.20 g/cm<sup>3</sup>.
- Dureza de 3
- Gravedad específica, 3.5-4.5
- Formula química : BaSO<sub>4</sub>
- % Químico : 65.7% de BaO y 34.3% de SO<sub>3</sub>

## CAPITULO IV

### ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS

La exploración y evaluación geológica-económica de yacimientos minerales constituyen un importante papel en la extracción y utilización de la materia prima mineral en la economía en las empresas y compañías geomineras.

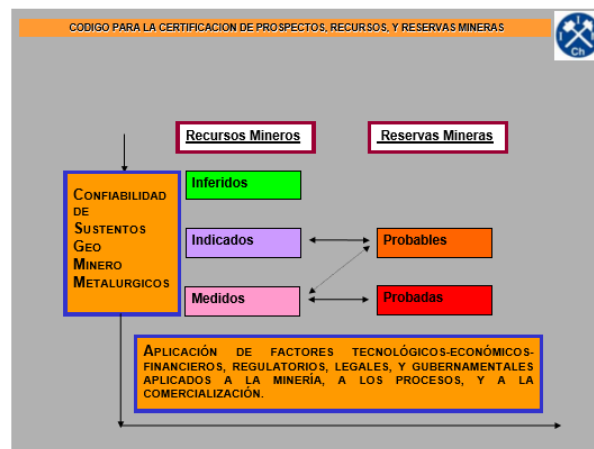


Figura 4.1. Recursos y reservas

#### 4.1. RECURSO MINERO

Es una concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico, u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico-económico. La localización, tonelajes, contenidos, características geológicas, y el grado de continuidad de la mineralización es estimada, conocida, o interpretada a partir de específicas evidencias geológicas, metalúrgicas, y tecnológicas.

En la categorización impuesta al Recurso es importante considerar el grado de conocimiento sobre su continuidad y características. El término Recurso Inferido, por ejemplo, no significa recurso desconocido ni tampoco recurso hipotético. Inferido implica cierta información in-situ; información reducida, fragmentaria, pero real de modo que una inferencia puede ser establecida. El Recurso Inferido es una apuesta informada. La

incertidumbre puede ser alta y significativa pero capaz de ser medida, modelada, y acotada. Recursos asumidos sin información corresponden a apuestas bajo ignorancia; estas apuestas no pueden ser caracterizadas ni contabilizadas de modo que esos Recursos no pueden ser considerados como Inferidos sino solos como material mineralizado potencial, hipotético. El material mineralizado potencial puede ser referenciado pero no tiene cabida en la terminología técnica de Recursos y Reservas Mineras.

Estas estimaciones no constituyen determinaciones ni cálculos precisos ya que la información capturada y utilizada es restringida. Estas estimaciones constituyen valores esperados.

#### **4.1.1 RECURSO INFERIDO**

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual las estimaciones de tonelaje y ley están afectas en exactitud y precisión debido a muestreos fragmentarios, limitados, y a percepciones asumidas sobre su continuidad geológica, y a extrapolaciones de carácter más bien subjetivo sobre la naturaleza de los controles de la mineralización.

#### **4.1.2 RECURSO INDICADO**

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, ge metalúrgicas, y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un razonable nivel de confianza. Razonable significa, en este caso, la apreciación equivalente que dos o más observadores independientes puedan otorgar a un parámetro de interés seleccionado utilizando la misma base de información. Estas caracterizaciones y estimaciones están basadas en reconocimientos, muestreos, y análisis realizados en lugares representativos de la mineralización origen de esos recursos. Estos lugares generan una malla de información tal que la continuidad y caracterización geológica así como el contenido de metal puede ser estimado con un aceptable grado de confiabilidad. Aceptable, en este caso, explicita variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (p. ej. En el caso del cobre una desviación menor al 7% anual) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (p. ej. 90%). Complementariamente, el mineral puede ser codificado como Recurso Indicado cuando la naturaleza, calidad, cantidad, y distribución

de datos son tales que permiten una adecuada interpretación del marco geológico de modo que la continuidad y caracterización de la mineralización puede ser aceptablemente asumida.

#### **4.1.3. RECURSO MEDIDO**

Es aquella porción del Recurso Minero para el cual tonelaje, densidades, leyes, características geológicas, metalúrgicas y geotécnicas han sido estimadas y caracterizadas con un significativo nivel de confianza. Significativo, en este caso, explicita variaciones de esas características que resultan en una desviación máxima (p. ej. En el caso del cobre una desviación menor al 7% trimestral) en los contenidos de un plan minero a un nivel de confianza determinado (p. ej. 90%). Estas estimaciones y caracterizaciones están basadas en reconocimientos detallados, confiables, y verificables y en análisis y pruebas representativas ubicadas de acuerdo a una malla de información tal que la continuidad de leyes y de características geológico-metalúrgicas permite su validación.

#### **4.2. RESERVAS**

Es aquella porción del Recurso Medido o del Recurso Indicado económicamente extraíble de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico, y financiero derivado de un plan minero. La Reserva Minera incluye pérdidas y diluciones con material ajeno, circundante a esa porción de Recurso, y que lo contamina por efectos de la extracción minera. La evaluación realizada puede provenir de estudios de pre factibilidad o factibilidad en el cual condiciones realistas, al momento de la evaluación, incluyen factores geológicos, metalúrgicos, geotécnicos, medioambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones deben justificar la viabilidad extractiva y secuenciada, técnica, y económicamente, al momento en que ellas son informadas.

Las Reservas Mineras se subcategorizan en Reservas Probadas y Reservas Probables en las que las primeras poseen un mayor grado de confianza que las segundas.

En la categorización impuesta a la Reserva es importante considerar el grado de conocimiento sobre los factores económicos, tecnológicos, medioambientales, legales, y otros de carácter gubernamental que afectan la Reserva bajo análisis. Ambos términos, probada y probable, implican una incertidumbre bastante acotada acerca del conocimiento

geocientífico que se tiene sobre ellas así como de los factores anteriormente mencionados.

#### **4.2.1. RESERVAS PROBABLES**

Es aquella porción del Recurso Indicado así como eventualmente del Recurso Medido económicamente extraíble. Esta Reserva incluye material diluyente y pérdidas de tonelaje que pueden ocurrir a consecuencia de la extracción minera. La definición de la Reserva Probable se basa en evaluaciones las que pueden incluir estudios de factibilidad incorporando parámetros mineros, metalúrgicos, tecnológicos, económicos, comerciales, legales, medioambientales, y otros factores gubernamentales. Estas evaluaciones y proyecciones demuestran, al momento en que ellas se informan, que la extracción está razonablemente justificada.

#### **4.2.2. RESERVA PROBADA**

Es aquella porción del Recurso Medido económicamente extraíble. Esta Reserva incluye material diluyente y pérdidas de tonelaje que pueden ocurrir a consecuencia de la extracción minera. La definición de Reserva Probada se basa en estudios de factibilidad incorporando parámetros mineros, metalúrgicos, tecnológicos, económicos, comerciales, legales, medioambientales, y otros factores regulatorios gubernamentales que pudieran eventualmente existir. Estas evaluaciones y proyecciones demuestran, al momento en que ellas se informan, que la extracción está justificada.

### **4.3. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE RECURSOS**

El cálculo de recursos mineros puede ser realizado por métodos clásico o modernos, en los métodos clásicos se utilizan valores medios o medias ponderadas para la estimación de bloques definidos convenientemente, los métodos clásicos permiten cuantificar las reservas a escala global pero no son adecuados para la caracterización local de las reservas.

En los métodos modernos predominan los métodos Geoestadísticos, los cuales consisten en técnicas de regresión, teniendo como premisa fundamental la realización de las estimaciones a partir de las características de variabilidad y correlación espacial de los datos originales. La Geoestadística es resultado de la aplicación de la Teoría de

Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales, fundamentalmente los relacionados con la actividad geólogo-minera.

Es precisamente en esta actividad donde surge, se desarrolla y consolida en los últimos 35 años como ciencia aplicada, dando respuesta a necesidades prácticas y concretas.

Los principales métodos se clasifican en 2: en métodos clásicos o tradicionales y en métodos Geoestadísticos.

Métodos tradicionales se clasifican en:

- Método de media aritmética o promedio aritmético
- Método de polígonos
- Método de isólineas o contornos
- Método de perfiles
- Método de bloques geológicos
- Método de bloques de exploración
- Método del inverso de la distancia

Métodos Geoestadísticos:

- Variable regionalizada
- Semivariograma
- Kriage

#### **4.3.1. MÉTODOS CLÁSICOS**

Los métodos clásicos se basan en criterio geométricos, dependen de varios factores pero principalmente de la continuidad geológica y de la génesis del yacimiento, así como también depende de la densidad de la red de exploración, de la calidad de datos y del método aplicado al estudio.

Los métodos clásicos consisten en crear perfiles con los datos adquiridos, contornear el yacimiento y calcular su área, éstas pueden ser calculadas empleando los siguientes métodos: planímetro, digitalizador, descomposición de figuras geométricas sencillas, papel milimetrado y regla de Simpson.

La masa volumétrica de mena en su estado natural la podemos encontrar en poros, cavidades, fallas etc., pueden cambiar en función de su composición química y su textura.

#### 4.3.1.1. MÉTODO DE PERFILES

El método de perfiles es aquel en el que se pueden construir cortes geológicos mediante sondeos distribuidos regularmente de forma que permiten establecer cortes o perfiles. Se emplea cuando se tienen cuerpos mineralizados de desarrollo irregular. La distancia entre los cortes no es constante y corresponde a la distancia entre las líneas de exploración en el caso de perfiles verticales.

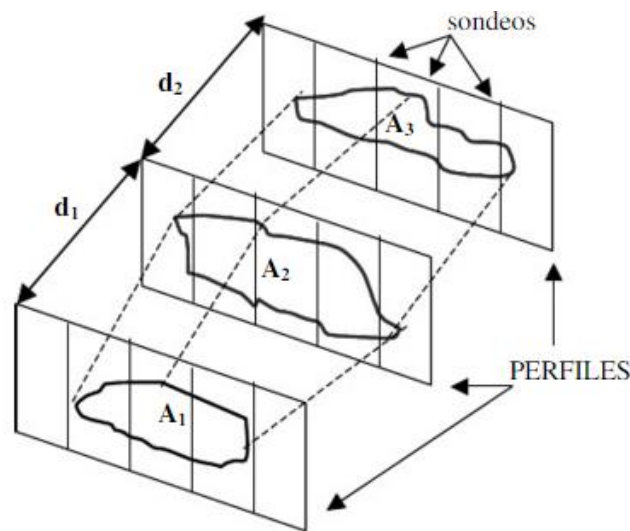


Figura 4.2. Método de perfiles

Para el cálculo del volumen se siguen los siguientes pasos:

- Contornear el cuerpo mineral (contorno interno y externo) en el plano.
- Se dibujan los perfiles a una escala adecuada, incluyendo en los mismos los resultados del contorneo.
- Se calculan las áreas en los perfiles por su semejanza con figuras geométricas sencillas.
- Se calculan los volúmenes entre perfiles utilizando las siguientes fórmulas: Cuando la diferencia entre las áreas calculadas no supera el 40 % se utiliza la fórmula del

trapezoide, Si la diferencia es mayor del 40 % se utiliza la fórmula del tronco de pirámide y el cálculo del volumen en los flancos se realiza por la fórmula de la cuña.

- Formula del trapezoide  $V = d.(\frac{S_1+S_2}{2})$  (4.1)
- Formula del tronco de pirámide  $V = \frac{d}{3}(S_1+S_2+\sqrt{S_1 \times S_2})$  (4.2)
- Formula de la cuña  $V = \frac{1}{2}(S_b .d)$  (4.3)

El método de las secciones en todas sus variantes permite tener en cuenta de manera más completa las particularidades de la constitución geológica del yacimiento, la morfología y las condiciones de yacencia de los cuerpos minerales (Lepin y Ariosa, 1986)

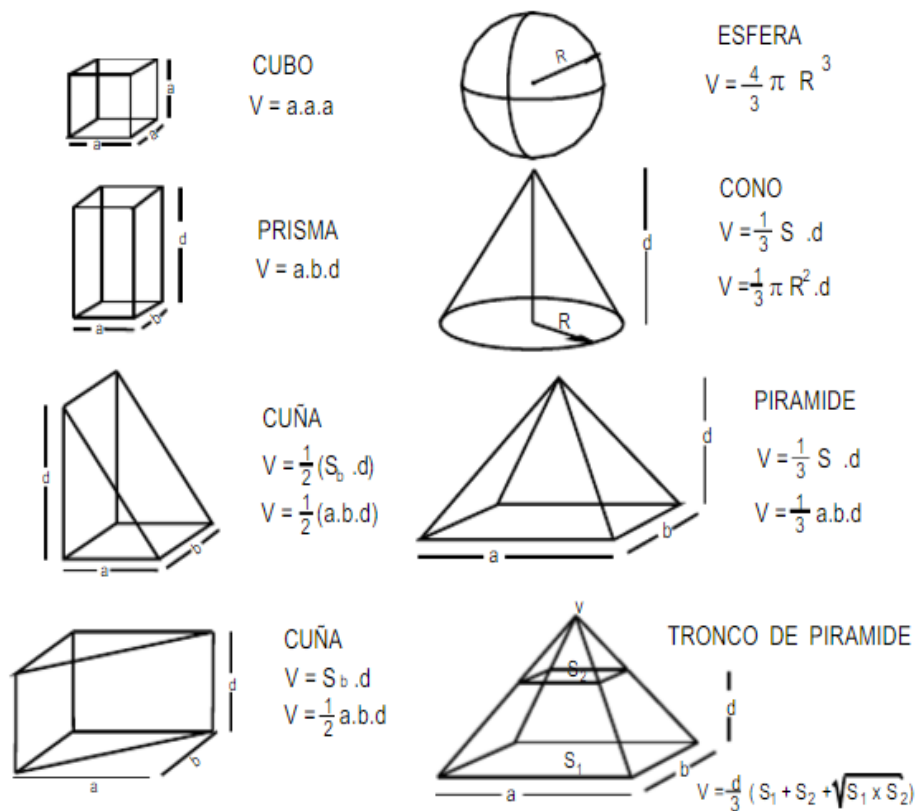


Figura 4.3. Calculo de volumen de figuras geométricas

## **CAPITULO V**

### **RESERVAS MINERALES POR MÉTODO GEOELÉCTRICO**

La evaluación de las reservas de minerales se llevó a cabo por dos métodos de generación de cuerpos (método 1 y método 2), en los cuales la base es la prospección geoelectrica en su modalidad de Sondeos Eléctricos Verticales. La caracterización principal de los dos métodos es determinar anomalías de resistividad que se puedan asociar para poder generar cuerpos que se puedan asociar a la posible zona de mineralización. Y poder determinar sus volúmenes así como su tonelaje de cuerpos.

La caracterización geoelectrica de los Métodos 1 y 2 permite determinar la ubicación y extensión de la zona mineralizada.

#### **5.1. UBICACIÓN GEOGRAFICA Y GEOLOGÍA DEL SITIO**

El área de estudio se localiza en el norte del estado de Puebla, se ejecutaron un total de 23 sondeos eléctricos verticales, se realizaron con un arreglo tipo SCHLUMBERGER, los puntos se asignaron con coordenadas UTM.

El área está comprendida por tres grandes zonas la primera es el sistema volcánico transversal o eje neovolcánico, la segunda es una faja de pliegues y cabalgaduras pertenecientes a la sierra madre oriental y la tercera parte es la terraza continental perteneciente a la llanura costera del golfo de México.

Así como de su composición.

- Ígnea extrusiva: basalto (22%)
- Sedimentaria: lutita-arenisca (31%), caliza-lutita (23%), caliza (14%) y arenisca (4%)
- Suelo: aluvial (3%)

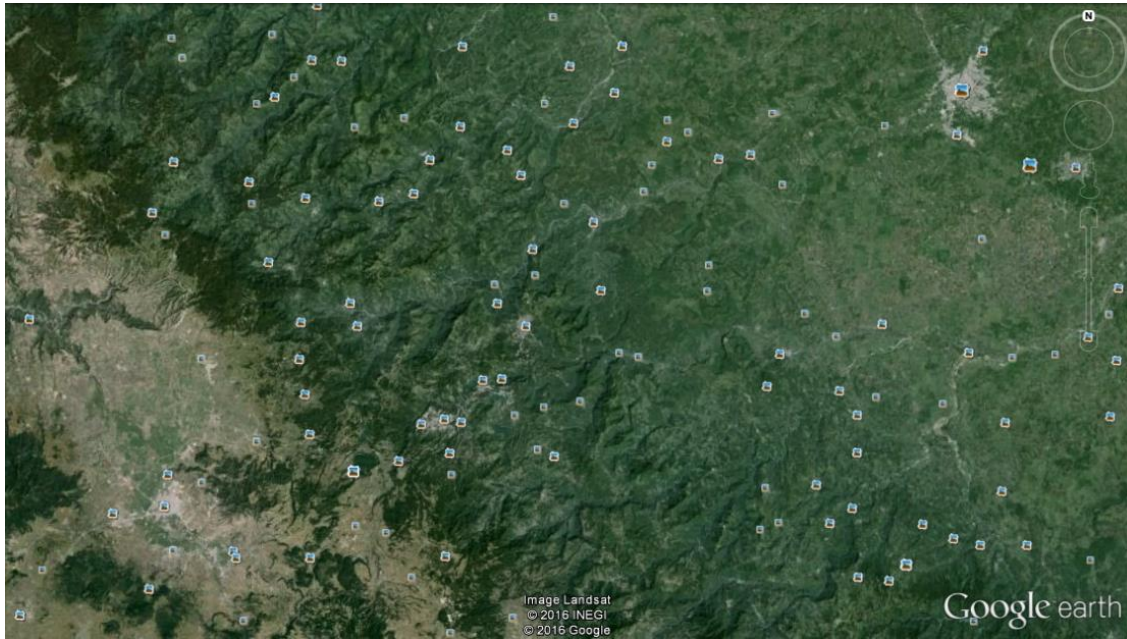


Figura 5. Ubicación regional de la zona de estudio (tomado de Google Earth)

### 5.1.1 GEOLOGÍA LOCAL

La geología de la Sierra Norte del Estado de Puebla, en general en el área de estudio se pueden observar rocas del mesozoico de origen continental y marino pertenecientes al jurasico medio y superior, así como del cretácico inferior y superior.

#### Jurasico Medio (Jm)

Esta unidad consiste en una secuencia de limonitas, areniscas y conglomerados que constituyen a la Formación Cahuanas. Esta serie detrítica fue depositada en un ambiente continental y ocasionalmente se observan intercalaciones de grauwacas y areniscas conglomeráticas.

Los afloramientos de esta formación son escasos, encontrándose preferentemente al norte del estado, en Huahuaxtla y Xicotepec de Juárez. Sobreyace discordantemente a la Formación Huayacocotla del Jurásico Inferior su morfología corresponde a sierras alargadas orientadas en dirección NW-SE. Esta serie litológica se correlaciona también con la Formación Todos los Santos que aflora en el estado de Veracruz

### Jurásico Superior (Js)

Esta unidad está representada por una alternancia de calizas, lutitas y margas depositadas en ambiente marino de facies de plataforma, así como calizas micro cristalinas en ocasiones de tipo grainstone de las Formaciones Tamán y Pimenta, principalmente.

La caliza varía texturalmente de mudstone a wackestone e incluso packstone constituido por calcita micro cristalina, fósiles de radiolarios calcificados, fragmentos de ostrácodos y pelecípodos. Las lutitas son de color gris y negro, ocasionalmente bituminosas y con impresión de pequeños pelecípodos y amonites mal conservados. Afloran al norte del estado, en San Esteban Cuautempan y Zacapoaxtla.

### Cretácico Inferior (Ki)

El Cretácico Inferior está constituido fundamentalmente por una secuencia carbonatada con algunos horizontes terrígenos (lutitas y areniscas) hacia su base, ya que la transición del Jurásico Superior hacia el Cretácico Inferior es gradual. El ambiente de depósito de las rocas que constituyen la base de este periodo es de tipo de plataforma, dadas las características texturales que presenta. Como ejemplo de este tipo de rocas se tiene a la Formación Zapotitlán. La parte superior presenta horizontes de lutitas calcáreas con intercalaciones de areniscas calcáreas (Formación San Juan Raya) y una secuencia de calizas que incluye a las Formaciones Miahuatepec, Orizaba y Tamaulipas.

La Formación Miahuatepec está formada por calizas de color gris a gris oscuro con fracturas rellenas de calcita, en estratos de 70 cm a 2 m. Ocasionalmente, se encuentra inter estratificada con capas arcillosas que incluyen nódulos y bandas de pedernal y margas de color crema, su relación con las rocas subyacentes es discordante.

La Formación Orizaba está formada por calizas parcialmente dolomitizadas de color gris a gris claro, de textura wackestone, de estratificación gruesa a masiva, y ambiente de plataforma, lagunar a post-arrecifal, con rudistas, subyace concordantemente a las calizas del Cretácico Superior.

La Formación Tamaulipas Superior consta de calizas de textura mudstone de color gris oscuro en capas de 50 cm a 1 m, con nódulos de pedernal y líneas estilolíticas bien

desarrolladas. Su ambiente de formación es de cuenca profunda y su morfología es de sierras escarpadas.

Estas unidades están ampliamente distribuidas en el área en donde se realizó este estudio hidrogeológico. Las calizas se encuentran aflorando en las márgenes del río. Estas presentan estratos que van de 50 cm a 1 metro de espesor de color crema al intemperismo y color gris claro al fresco. Yendo hacia la parte superior se aprecian calizas de color crema al intemperismo y gris fuerte al fresco y presentan bandas de pedernal de 5 cm de espesor los estratos que afloran en esta zona tienen un espesor de 1 metro.

#### Cretácico Superior (Ks)

El Cretácico Superior está representado por la Formación Atoyac. Consta de calizas de textura wackestone color crema en capas gruesas a masivas con numerosos rasgos de disolución, fragmentos de pelecípodos, de ambiente lagunar y post arrecifal, aflora al norte de Tehuacán. La Formación Soyatal es una secuencia calcáreo-arcillosa de carácter rítmico alternante originada en un marco tectónico de regresión marina. Presenta calizas y lutitas de 10 a 30 cm con intercalaciones de margas color pardo rojizo. El contacto con las rocas del Cretácico Inferior es transicional.

La Formación San Felipe consta de una secuencia de calizas compactas de textura mudstone y calcarenitas en capas de 2 a 20 cm de color gris con lutitas bentoníticas el contacto con la Formación Agua Nueva es concordante y transicional. Esta formación consta de calizas y lutitas con intercalación de nódulos y bandas de pedernal y subyace de igual modo a las lutitas de la Formación Méndez. Estas unidades se distribuyen ampliamente en los flancos del anticlinal de Huayacocotla, en el sector noroccidental de la entidad.



Figura 5.1. Geología local (determinación de la velocidad de flujo subterráneo. en un río en el estado de Puebla)

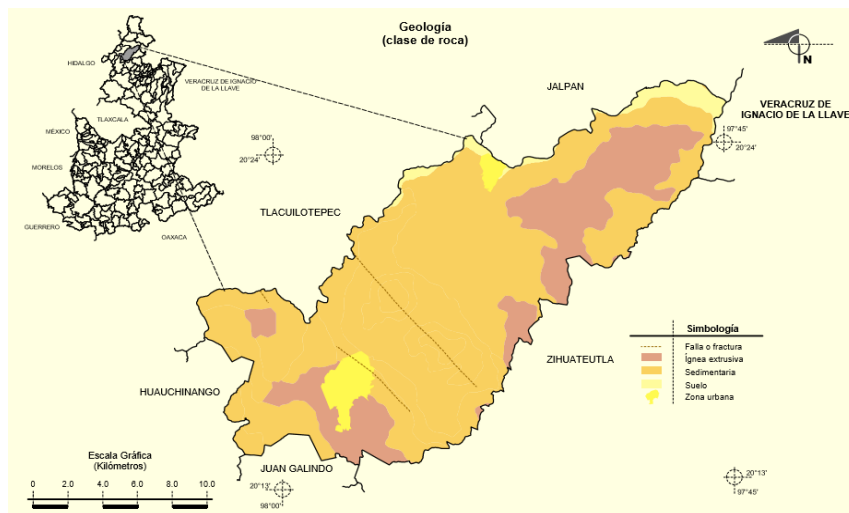


Figura 5.2. Geología local (INEGI)

## 5.2. EQUIPO, SOFTWARE E INSTRUMENTACIÓN

### 5.2.1. EQUIPO

En la adquisición de datos fue utilizado un resistivímetro de la marca Scintrex denominado SARIS el cual está constituido de una consola electrónica, fuente de poder y un modulo para cables multielectrónico.

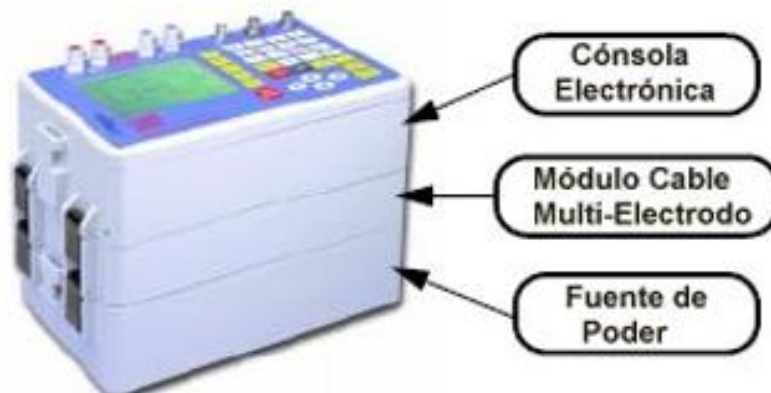


Figura 5.3. Equipo para prospección geoelectrica SARIS (<http://www.scintrexltd.com/electrical.html>)

Para la ejecución de los SEV se necesitaron las siguientes herramientas.

- Resistivímetro.
- GPS.
- Electrodo metálicos.
- Cables de transmisión de corriente.
- Caimanes de conexión.
- Marro.
- Cinta métrica.
- Otros.

### 5.2.2. SOFTWARE

Para el procedimiento e interpretación de los datos adquiridos se utilizó el programa IPI2win. Por otro lado el software AUTOCAD permitió realizar los perfiles geológicos y la visualización 3D de las anomalías y el cálculo de áreas de las anomalías.

### 5.2.3. IPI2WIN

El programa IPI2win fue elaborado por profesores de la Universidad Estatal de Moscú. Es un programa diseñado para el procedimiento e interpretación de SEV, para datos 1D en SEV permite realizar una interpretación automática o semiautomática a partir de los distintos arreglos utilizados.

Permite realizar curvas graficadas a partir de valores de  $AB/2$  vs resistividad aparente, así también puede generar seudo – secciones de resistividad aparente y perfiles geoelectricos.

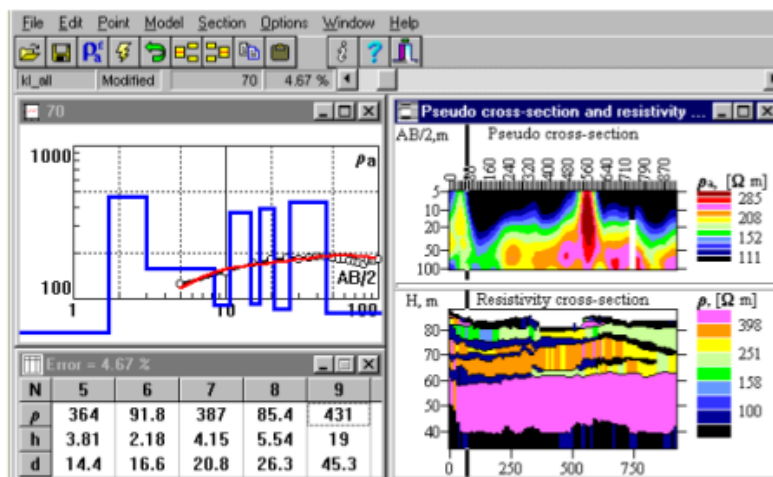


Figura 5.4. Interfaz del software IPI2win (<http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm>)

### 5.2.4. AUTOCAD

Es un programa de dibujo técnico el cual permite diseñar cualquier tipo de diseño técnico para ingeniería, arquitectura y otros. Pudiendo crear diseños de todo tipo en 2D y 3D, planos y objetos.

Procesa imágenes de tipo vectorial, permite organizar los objetos por medio de *capas* o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo, empleando para ello los recursos tradicionales de grafismo en el dibujo, como color, grosor de líneas y texturas tramadas. Gestiona una base de datos de entidades geométricas (puntos, líneas, arcos, etc.)

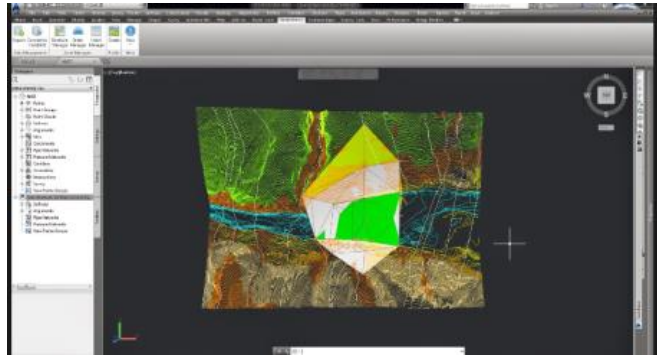


Figura 5.5. Software AUTOCAD

### 5.3. ADQUISICIÓN DE DATOS

Fueron adquiridos un total de 23 SEV con un arreglo SCHLUMBERGER, para poder ubicarlos fueron asignadas coordenadas UTM, se ejecutaron los SEVs de acuerdo a las características del sitio para poder determinar las características geológicas del sitio.

SEV	X	Y	Z
SEV 1	47.37	11	15.00
SEV 2	37.89	11	15.00
SEV 3	28.64	11	15.50
SEV 4	17.88	11	15.50
SEV 5	6.55	11	15.00
SEV 6	47.37	0	8.00
SEV 7	32.27	0	7.00
SEV 8	17.62	0	8.50
SEV 9	5.71	0	8.00
SEV 10	60.49	27	23.00
SEV 11	47.37	27	23.00
SEV 12	24.28	27	23.50
SEV 13	0	27	22.50
SEV 14	47.37	43	33.00
SEV 15	28.98	43	31.50
SEV 16	13.14	43	30.00
SEV 17	47.37	59	39.00
SEV 18	30.96	59	38.50
SEV 19	28.06	85	48.50
SEV 20	47.37	85	47.00
SEV 21	59.06	96	50.00
SEV 22	44.36	118	49.50
SEV 23	28.06	148	48.50

Tabla 5. Coordenadas y altura de SEV

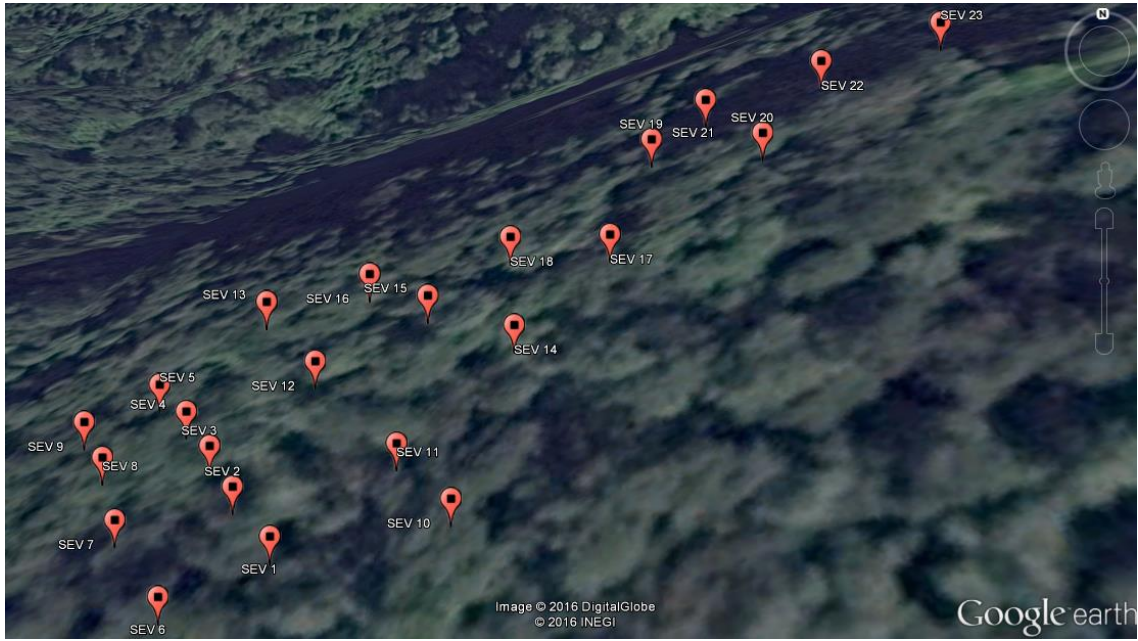


Figura 5.6. Distribución espacial de los SEVs en la zona de estudio (Google earth)

## **CAPÍTULO VI**

### **6.1. MÉTODO 1**

El objetivo del Método 1 es definir la forma de los cuerpos por medio ajuste normal de curva de resistividad. Se procesan e interpretan las 23 curvas de resistividad aparente, se generan secciones y perfiles geoeléctricos, así como perfiles geológicos en los cuales observaremos la continuidad lateral de la zona mineralizada por lo cual podremos generar cuerpos de zona de posible mineralización dependiendo la profundidad de la anomalía y su continuidad lateral.

Posteriormente se calculan las áreas de las anomalías seleccionadas en autocad para poder calcular el volumen de los cuerpos con método de perfiles y poder determinar su tonelaje.

#### **6.1.1 PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE CURVAS**

Las curvas se generan a través de los datos adquiridos en el campo, cuando se tienen todos los datos se prosigue a introducirlos a el software IPI2win en el cual serán ajustados para una mejor interpretación estos desajustes pueden ser causados por una colocación mala de electrodos etc.,

Cuando las curvas están suavizadas se realiza la interpretación una por una, para mejor interpretación, primero se observe que tipo de curva es y cuantos puntos de inflexión tiene. Dicha interpretación depende mucho de los criterios del geofísico así como el conocimiento geológico.

Las curvas proveen la información acerca de geología del subsuelo, por ello es importante el procesamiento e interpretación de las curvas.

La interpretación de las curvas se baso en la siguiente tabla 5 la cual indica la unidad geoelectrica, litología, rango de resistividad y observaciones. La litología y el rango de resistividades se baso en tablas de resistividad de rocas y minerales.

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6. Unidad geoelectrica, litología y rango de resistividad

A continuación se muestran las distintas curvas con sus coordenadas, error de ajuste y una tabla de interpretación

SEV 1 Error = 3.16 %

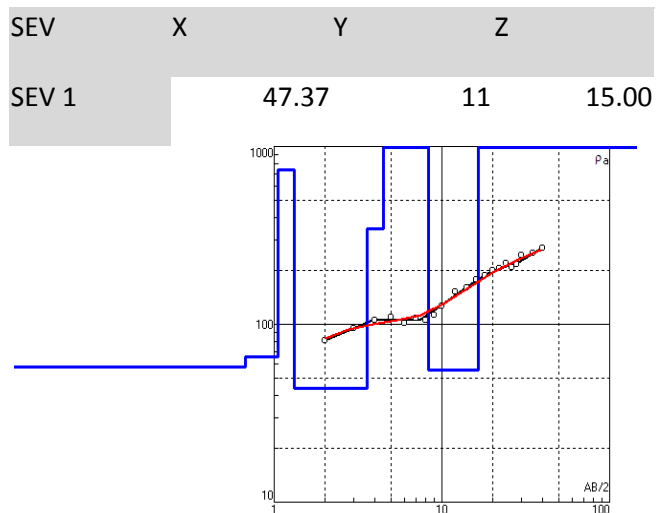


Figura 5.7.1 Curva de resistividad para SEV 1

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
57.2	0.67	0.67	Lutita
66	0.37	1.05	Lutita
500	0.27	1.32	Caliza húmeda
43.7	2.24	3.56	Lutita
346	0.94	4.51	Caliza húmeda
1608	3.83	8.34	Posible zona mineralizada
55	8.14	16.5	Lutita
3385			Caliza compacta

Tabla 5.1. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 1

SEV 2 Error = 5.57 %

SEV	X	Y	Z
SEV 2	37.89	11	15.00

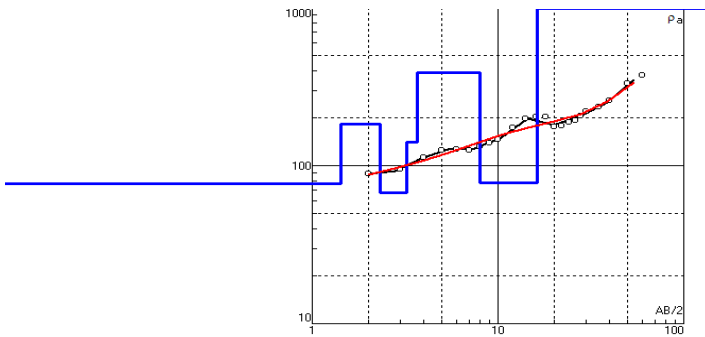


Figura 5.7.2. Curva de resistividad para SEV 2

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Esesor (m)	Profundidad (m)	litología
76.9	1.43	1.43	Lutita
183	0.88	2.32	Caliza húmeda
67.3	0.88	3.21	Lutita
141	0.44	3.66	Caliza húmeda
387	4.32	7.97	Caliza húmeda
77.8	8.28	16.3	Lutita
1272	3.15	19.4	Caliza compacta
40191			Caliza compacta

Tabla 5.2 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 2

SEV 3 Error = 6.65 %

SEV	X	Y	Z
SEV 3	28.64	11	15.50

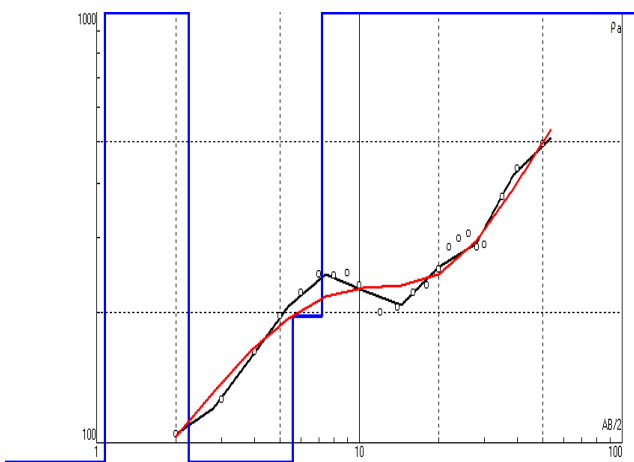


Figura 5.7.3. Curva de resistividad para SEV 3

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Esesor (m)	Profundidad (m)	litología
60.9	1.08	1.08	Lutita
1352	1.17	2.25	Posible zona mineralizada
47.5	0.31	2.56	Lutita
48.9	3.04	5.6	Lutita
196	1.63	7.22	Caliza húmeda
2537	4.45	11.7	Caliza compacta
4252	7.72	19.4	Caliza compacta
30919			Caliza compacta

Tabla 5.3. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 3

SEV 4 Error = 5.85 %

SEV	X	Y	Z
SEV 4		17.88	11 15.50

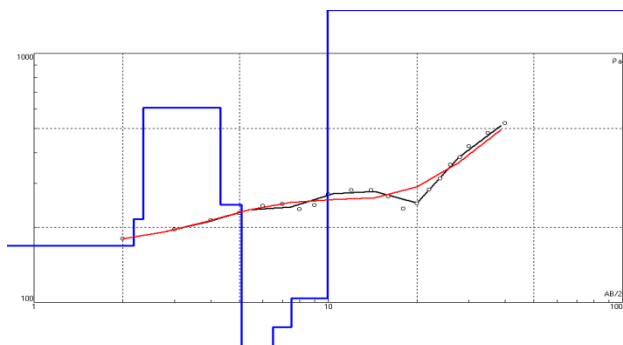


Figura 5.7.4. Curva de resistividad para SEV 4

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
169	2.18	2.18	Caliza húmeda
216	0.17	2.35	Caliza húmeda
605	1.95	4.3	Caliza fracturada
247	0.76	5.07	Caliza húmeda
66.2	1.44	6.5	Lutita
79.5	0.97	7.47	Lutita
104	2.46	9.94	Caliza húmeda
69375			Caliza compacta

Tabla 5.4. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 4

SEV 5 Error = 7.06 %

SEV	X	Y	Z
SEV 5		6.55	11 15.00

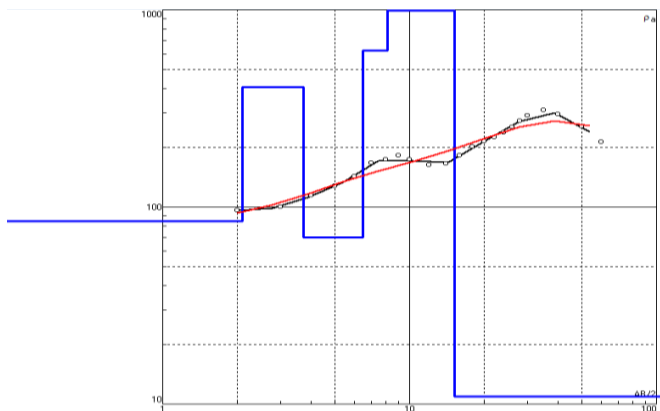


Figura 5.7.5. Curva de resistividad para SEV 5

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
84.6	2.1	2.1	Lutita
405	1.63	3.73	Caliza húmeda
70.1	2.74	6.47	Lutita
490	1.64	8.11	Caliza húmeda
554	7.07	15.2	Caliza húmeda
10.9			Lutita

Tabla 5.5. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 5

SEV 6 Error = 3.54 %

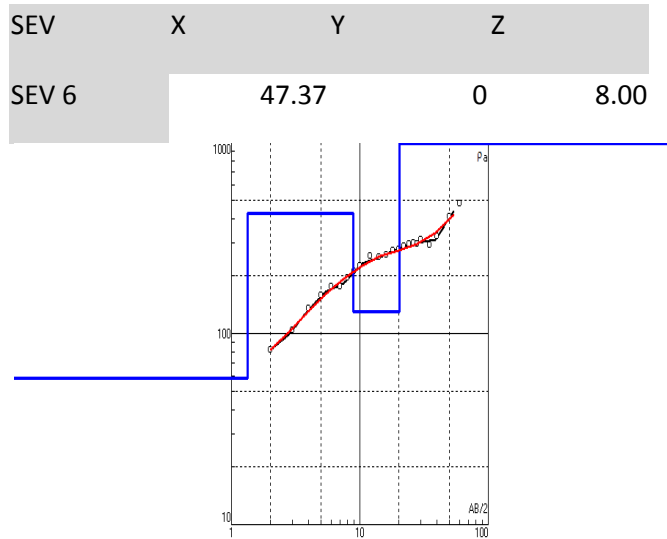


Figura 5.7.6. Curva de resistividad para SEV 6

Resistividad ( $\Omega$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
58.4	1.33	1.33	Lutita
427	7.51	8.84	Caliza húmeda
129	11.5	20.3	Lutita
23207			Caliza compacta

Tabla 5.6. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 6

SEV 7 Error = 6.55 %

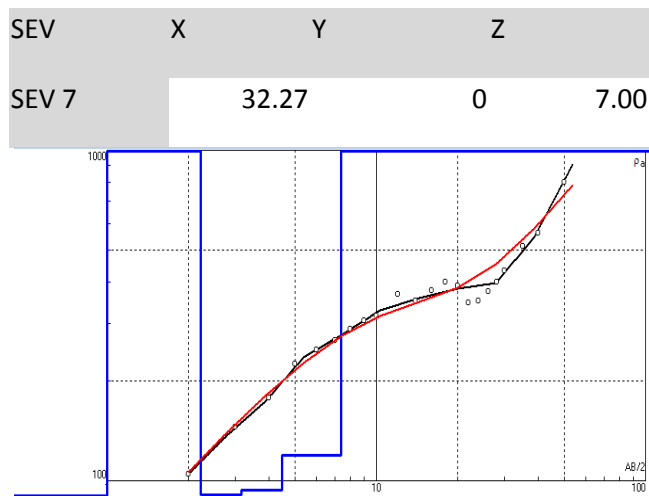


Figura 5.7.7. Curva de resistividad para SEV 7

Resistividad ( $\Omega$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
56.2	1	1	Lutita
2390	1.22	2.22	Posible zona mineralizada
90.8	0.93	3.15	Lutita
93.8	1.3	4.45	Lutita
119	2.96	7.42	Caliza húmeda
42360			Caliza compacta

Tabla 5.7 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 7

SEV 8 Error = 8.73 %

SEV	X	Y	Z
SEV 8		17.62	0 8.50

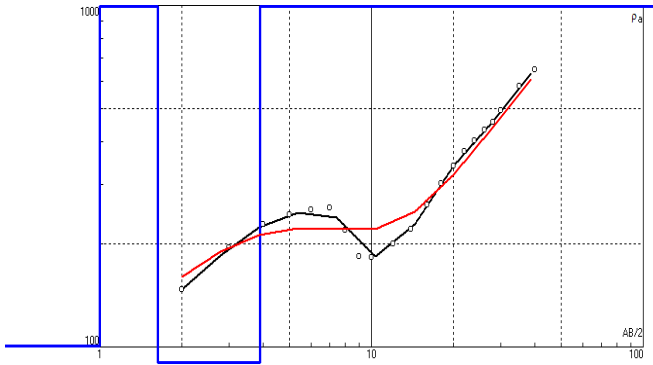


Figura 5.7.8. Curva de resistividad para SEV 8

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
101	1	1	Lutita
1360	0.63	1.63	Posible zona mineralizada
28.5	0.39	2.03	Lutita
39.5	0.91	2.94	Lutita
65.9	0.95	3.89	Lutita
1292	1.61	5.5	Posible zona mineralizada
59304			Caliza compacta

Tabla 5.8. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 8

SEV 9 Error = 3.74 %

SEV	X	Y	Z
SEV 9		5.71	0 8.00

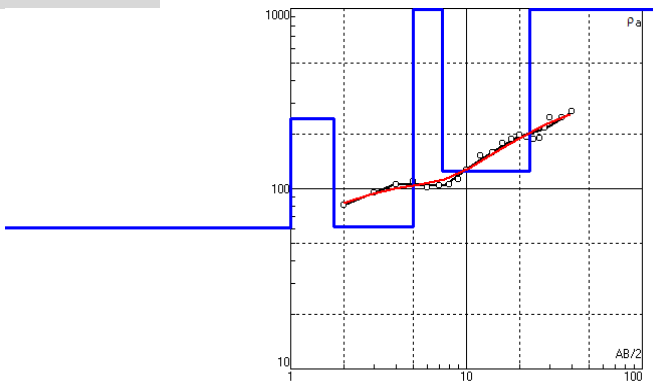


Figura 5.7.9. Curva de resistividad para SEV 9

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
60.5	1	1	Lutita
245	0.75	1.75	Caliza húmeda
61.1	3.24	4.99	Lutita
2109	2.34	7.34	Posible zona mineralizada
124	15.6	22.9	Caliza húmeda
3074			Caliza compacta

Tabla 5.9. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 9

SEV 10 Error = 6.93 %

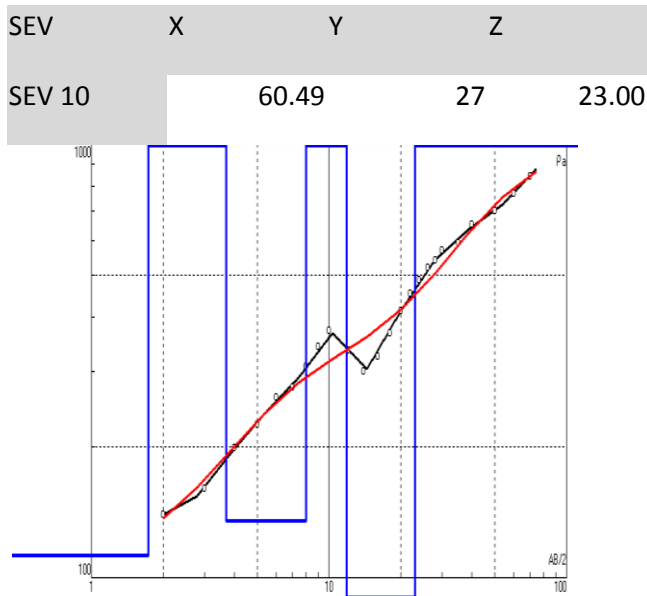


Figura 5.7.10. Curva de resistividad para SEV 10

Resistividad (Ω.m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	litología
112	1.74	1.74	Caliza húmeda
1023	1.96	3.7	Posible zona mineralizada
135	4.32	8.02	Caliza húmeda
19290	3.81	11.8	Posible zona mineralizada
84.5	11.2	23	Lutita
1359			Caliza compacta

Tabla 5.10. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 10

SEV 11 Error = 7.28 %

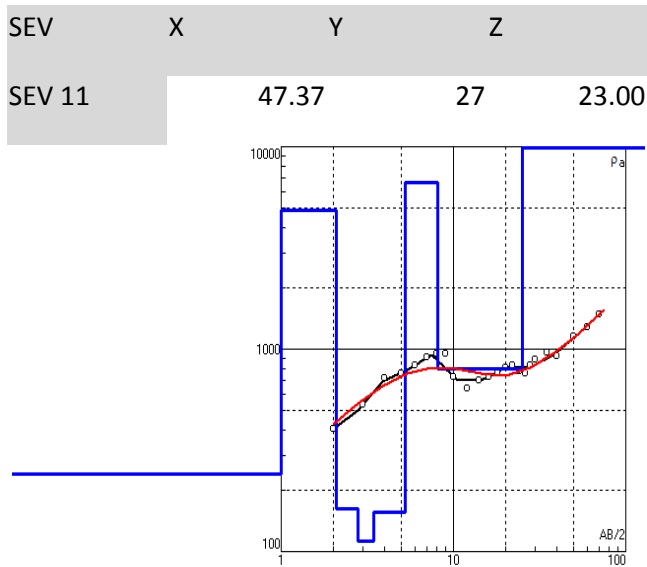


Figura 5.7.11. Curva de resistividad para SEV 11

Resistividad (Ω.m)	Esesor (m)	Profundidad (m)	litología
241	1	1	Caliza húmeda
4843	1.08	2.08	Posible zona mineralizada
162	0.72	2.8	Caliza húmeda
112	0.66	3.46	Caliza húmeda
157	1.8	5.26	Caliza húmeda
6614	2.84	8.1	Posible zona mineralizada
802	17.2	25.3	Caliza fracturada
47019			Caliza compacta

Tabla 5.11 Valores de resistividad verdadera,

espesores e interpretación para SEV 11

SEV 12 Error = 4.5 %

SEV	X	Y	Z	
SEV 12		24.28	27	23.50

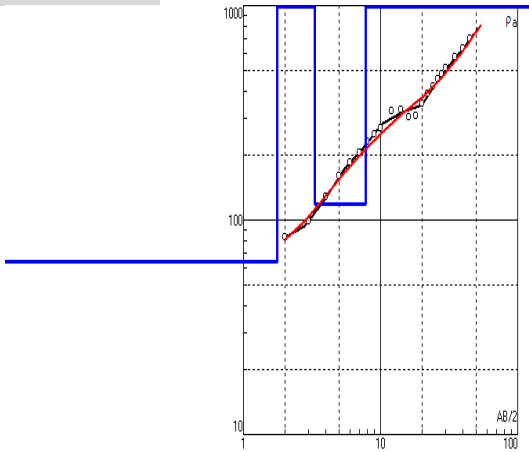


Figura 5.7.12. Curva de resistividad para SEV 12

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
63	1.75	1.75	Lutita
3319	0.04	1.79	Posible zona mineralizada
2172	1.54	3.33	Posible zona mineralizada
119	4.45	7.78	Caliza húmeda
54652			Caliza compacta

Tabla 5.12 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 12

SEV 13 Error = 4.79 %

SEV	X	Y	Z	
SEV 13		0	27	22.50

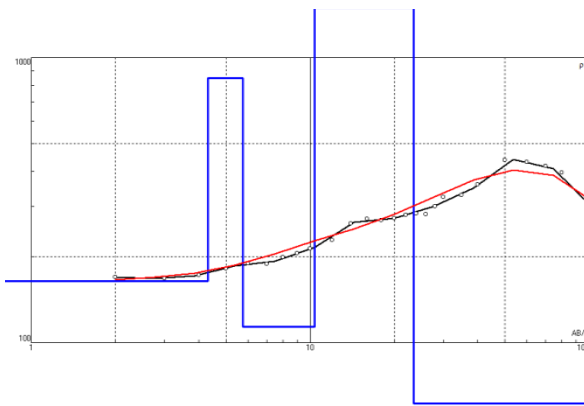


Figura 5.7.13. Curva de resistividad para SEV 13

Resistividad ( $\Omega \cdot m$ )	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
178	1.22	1.22	Caliza húmeda
67	0.27	1.5	Lutita
787	1	2.71	Posible zona mineralizada
93.6	1.23	3.94	Lutita
433	3.31	6.25	Caliza húmeda
133	5.09	11.3	Caliza húmeda
1804	0.83	12.2	Caliza compacta
3373	5.52	17.7	Caliza compacta
1100	5.51	23.2	Caliza compacta
1.63			Lutita

Tabla 5.13. Valores de resistividad verdadera,

espesores e interpretación para SEV 13

SEV 14 Error = 2.69 %

SEV	X	Y	Z
SEV 14	47.37	43	33.00

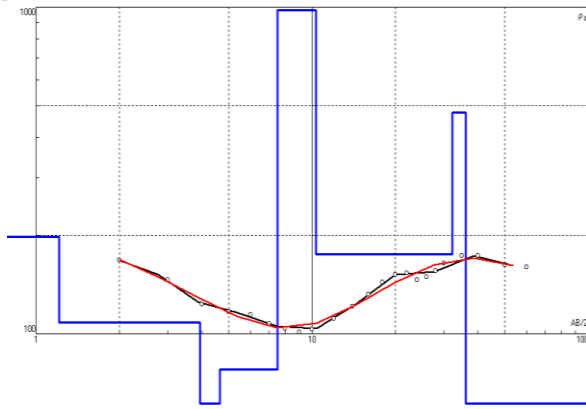


Figura 5.7.14. Curva de resistividad para SEV 14

Resistividad ( $\rho_a$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
198	1.21	1.21	Caliza húmeda
108	2.71	3.92	Caliza húmeda
29.3	0.72	4.64	Lutita
77.8	2.87	7.51	Lutita
981	2.84	10.3	Posible zona mineralizada
175	21.8	32.2	Caliza húmeda
476	3.8	36	Caliza húmeda
4.06			Lutita

Tabla 5.14. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 14

SEV 15 Error = 4.98 %

SEV	X	Y	Z
SEV 15	28.98	43	31.50

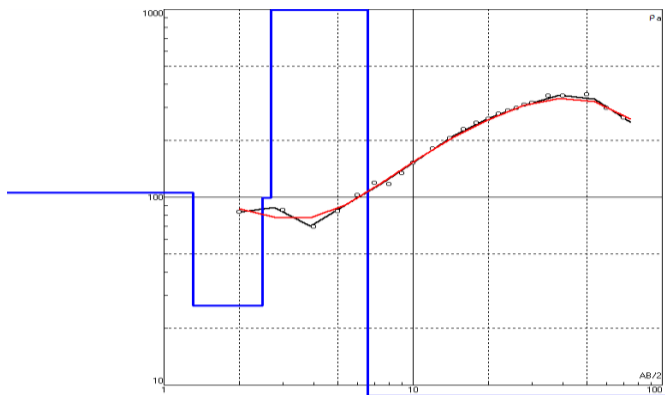


Figura 5.7.15.: Curva de resistividad para SEV 15

Resistividad ( $\rho_a$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
106	1.31	1.31	Caliza húmeda
26.5	1.18	2.49	Lutita
99.4	0.2	2.69	Lutita
4254	3.91	6.6	Posible zona mineralizada
2.59			Lutita

Tabla 5.15 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 15

SEV 16 Error = 10.9 %

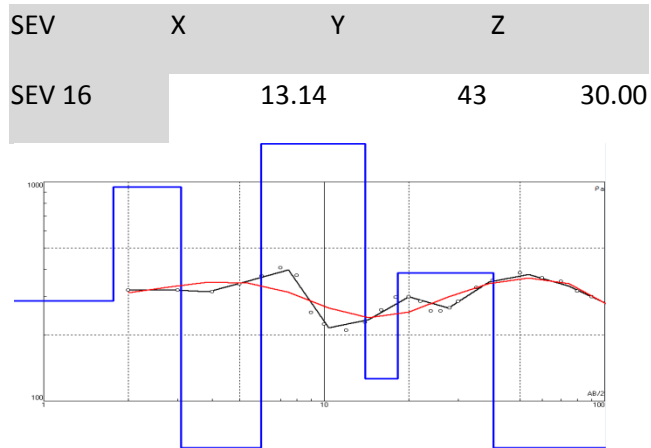


Figura 5.7.16. Curva de resistividad para SEV 16

Resistividad (Ω.m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
287	1.77	1.77	Caliza húmeda
948	1.31	3.08	Posible zona mineralizada
49.7	2.88	5.96	Lutita
1901	8.08	14	Caliza compacta
126	4.26	18.3	Caliza húmeda
384	21.8	40	Caliza húmeda
4.71			Lutita

Tabla 5.16. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 16

SEV 17 Error = 3.64 %

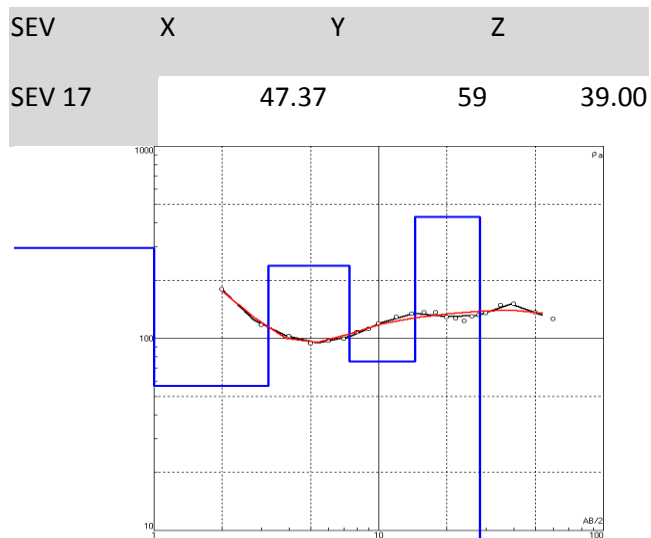


Figura 5.7.17. Curva de resistividad para SEV 17

Resistividad (Ω.m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
295	1	1	Caliza húmeda
56.6	2.24	3.24	Lutita
238	4.18	7.42	Caliza húmeda
76	7.08	14.5	Lutita
429	13.7	28.2	Caliza húmeda
5.75			Lutita

Tabla 5.17. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 17

SEV 18 Error = 9.86 %

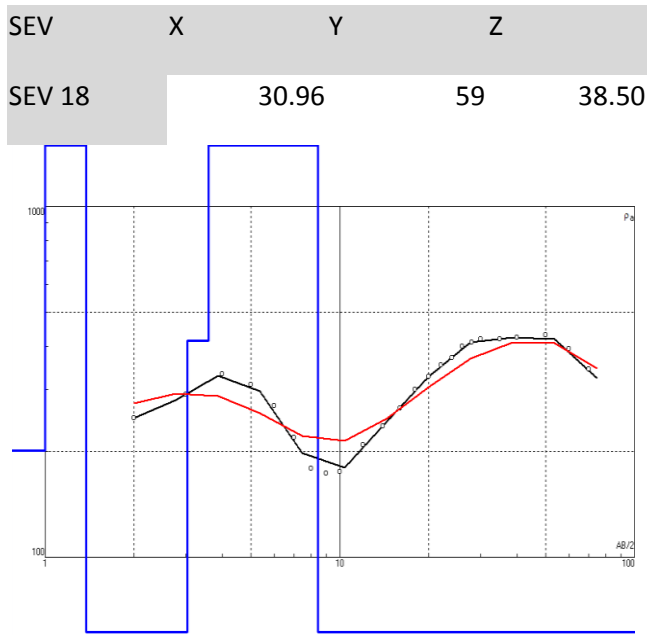


Figura 5.7.18. Curva de resistividad para SEV 18

Resistividad ( $\rho$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
202	1	1	Caliza húmeda
1981	0.37	1.37	Posible zona mineralizada
30.6	0.21	1.59	Lutita
37.8	1.44	3.03	Lutita
414	0.56	3.59	Caliza húmeda
5530	2.54	6.14	Caliza compacta
3332	2.29	8.43	Caliza compacta
6.75			Lutita

Tabla 5.18. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 18

SEV 19 Error = 4.28 %

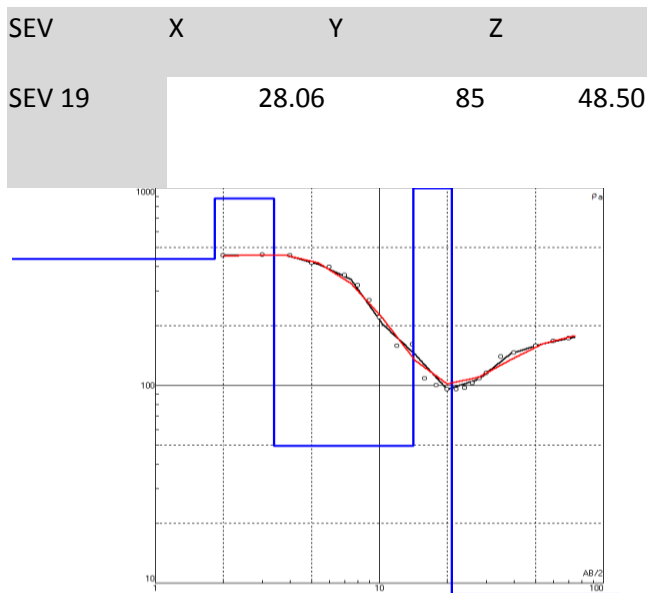


Figura 5.7.19. Curva de resistividad para SEV 19

Resistividad ( $\rho$ .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
435	1.84	1.84	Caliza húmeda
880	1.54	3.38	Caliza fracturada
49.5	10.8	14.2	Lutita
2540	6.83	21	Caliza compacta
6.03			Lutita

Tabla 5.19 Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 19

SEV 20 Error = 9.9 %

SEV	X	Y	Z
SEV 20		47.37	85 47.00

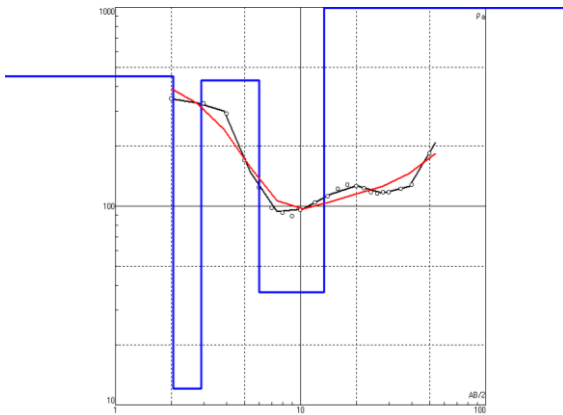


Figura 5.7.20 Curva de resistividad para SEV 20

Resistividad (Ω.m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
448	2.06	2.06	Caliza húmeda
12.1	0.84	2.9	Lutita
431	3.09	5.99	Caliza húmeda
36.8	7.41	13.4	Lutita
13.4			Lutita

Tabla 5.20. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 20

SEV 21 Error = 5.95 %

SEV	X	Y	Z
SEV 21		59.06	96 50.00

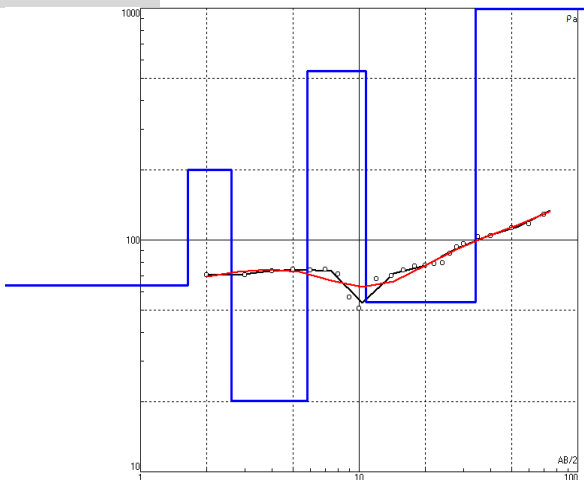


Figura 5.7.21. Curva de resistividad para SEV 21

Resistividad (Ω.m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
63.8	1.64	1.64	Lutita
200	0.96	2.6	Caliza húmeda
20.2	3.21	5.81	Lutita
535	4.94	10.7	Caliza húmeda
53.8	23.4	34.2	Lutita
2760			Caliza compacta

Tabla 5.21. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 21

SEV 22 Error = 5.22 %

SEV	X	Y	Z
SEV 22	44.36	118	49.50

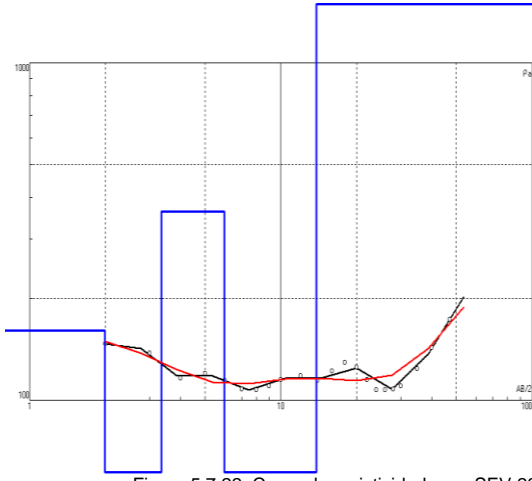


Figura 5.7.22. Curva de resistividad para SEV 22

Resistividad (Ω .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
161	1.99	1.99	Caliza húmeda
42.4	1.34	3.34	Lutita
362	2.62	5.96	Caliza húmeda
34.1	7.87	13.8	Lutita
19508			Caliza compacta

Tabla 5.22. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 22

SEV 23 Error = 3.94 %

SEV	X	Y	Z
SEV 23	28.06	148	48.50

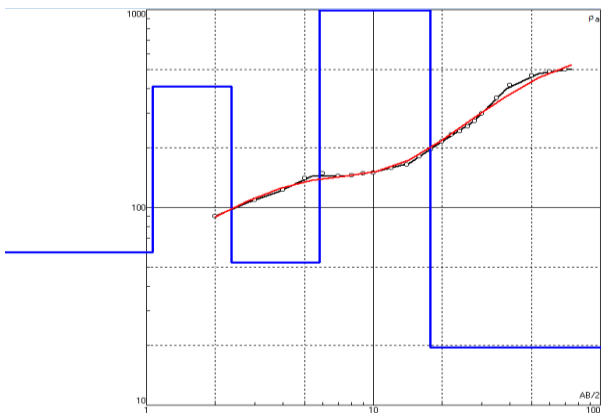


Figura 5.7.23. Curva de resistividad para SEV 23

Resistividad (Ω .m)	Espesor (m)	Profundidad (m)	litología
59.1	1.07	1.07	Lutita
410	1.31	2.37	Caliza húmeda
52.5	3.44	5.82	Lutita
5575	12	17.8	Caliza compacta
19.5			Lutita

Tabla 5.23. Valores de resistividad verdadera, espesores e interpretación para SEV 23

## 6.2. SECCIONES Y PERFILES GEOELÉCTRICOS

Los SEVs procesados e interpretados se agruparon creando 7 perfiles, cuyas longitudes varían desde los 18.5 metros en el perfil 5, hasta los 60 metros en el perfil 3.



Figura 6.2. Perfiles (líneas roja)

### PERFIL 1

Este perfil se encuentra constituido por los SEVs 1, 2, 3, 4 Y 5. Con una longitud de 46 metros. El análisis de los datos permitió hacer una correlación para poder generar las unidades geoelectricas.

Unidad geoelectrica A: esta unidad está integrada por lutitas y en ella se localizan 3 cuerpos, el primer cuerpo se encuentra en los sondeos 1, 2, 3 y 5, con un espesor mínimo

de 1.05 m en el SEV 1 y un espesor máximo de 2 m en el SEV 5. Con valores de resistividad entre 60 y 84.6 ohm - m. El segundo cuerpo se encuentra compuesto por los SEV 1, 2,3 Y 5, alcanza un espesor mínimo de 0.8 m en el SEV 2 y un espesor máximo de 3.3 m en el SEV 3. Los valores de resistividad fluctúan entre 43 y 79 ohm – m. Y el último cuerpo de lutitas que se encuentra entre calizas, se localiza entre los SEVs 1 y 2 alcanzando espesores entre 8.14 m en el SEV 1 y 8.28 m en el SEV 2, con resistividades de 55 y 77 ohm – m respectivamente.

Unidad geoelectrica B: Constituida por calizas húmedas en la cual se encontraron 3 cuerpos. El primer cuerpo se encuentra debajo de la Unidad 1 y está integrado en los SEVs 1 y 2 a una profundidad entre 1.3 y 2.3 m con resistividades entre 500 y 183 ohm – m. El segundo cuerpo se encuentra la Unidad 1, está integrado por los SEVs 4 y 5 donde alcanzan un espesor mínimo de 1.63 m y de un espesor máximo de 2.3 m, con resistividades entre 169 y 405 ohm – m. Finalmente, el tercer cuerpo, que es el de mayor tamaño y está integrado por los SEVs 1, 2, 3, 4, y 5, se encuentra por debajo de la unidad A y por arriba de la unidad D, el espesor mínimo es de 0.95 m en el SEV 1 y el espesor máximo 7.64 en el SEV 4, con resistividades entre 104 y 490 ohm - m.

Unidad geoelectrica C: Es la unidad más pequeña encontrada en el perfil que se encuentra entre la unidad A y B, está integrada por el SEV 4 con un espesor de 1.95m y una resistividad de 605 ohm – m.

Unidad geoelectrica D: La unidad geoelectrica D se atribuye a caliza compacta y sana. Se registra a partir de los 2 metros de profundidad, se encuentra debajo de las Unidades A y B.

Unidad geoelectrica F: Se asocia principalmente a barita, se encontraron en los SEVs 1 y 3. El primer cuerpo que se encuentra integrado por el SEV 1 se encuentra entre las unidades A y B, se localiza a una profundidad de 8.34 m y con un espesor de 3.83 m y una resistividad de 1608 ohm – m. El segundo cuerpo, que en este caso puede corresponder a una posible zona de mineralización, está integrado por el SEV 3 y se encuentra rodeado de la unidad A y se localiza una profundidad de 2.25 m y con un espesor de 1.17 m y su resistividad de 1352 ohm – m.

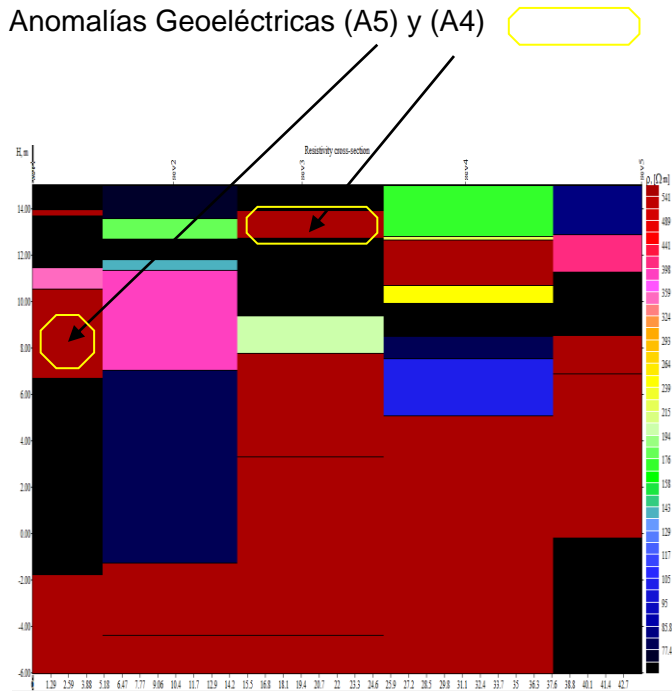


Figura 6.2.1. Perfil geoeléctrico de los sondeos 1, 2, 3, 4 y 5

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

## PERFIL 2

Este perfil se encuentra constituido por los SEVs 6, 7, 8 Y 9 y tiene una longitud de 46 metros. El análisis de los datos permitió hacer una correlación para poder generar las unidades geoelectricas.

Unidad geoelectrica A: La unidad geoelectrica A se asocia a lutita que se encuentra sobre la unidad B e intercalada en la unidad F. Está integrada por los SEVs 6, 7, 8 Y 9. La resistividad máxima es de 100 ohm – m se encuentra en el SEV 8 y la menor resistividad que es de 28.5 se encuentra en el SEV 8. El espesor máximo es de 3.23 m y se encuentra en el SEV 9, el espesor mínimo se encontró en el SEV 7 con un espesor de 0.93 m.

Unidad geoelectrica B: Está constituido por caliza húmeda, se encontraron dos cuerpos el primero de ellos y el de mayor dimensión está integrada por los SEVs 6, 7 y 9, se encuentra abajo de la unidad A y por arriba de la unidad D. La resistividad mínima se encontró en el SEV 7 con una resistividad de 119 ohm – m, la resistividad máxima es de 427 ohm – m en el SEV 6. El espesor de mayor dimensión se localizó en el SEV 9 de 15.6

m y el espesor de menor dimensión de localizo en SEV 7 de 2.96 m. El segundo cuerpo se encuentra rodeado por la unidad A y se localizó en el SEV 9 a una profundidad de 1.75 m con una resistividad de 245 ohm – m y un espesor de 0.75m.

Unidad geoelectrica D: La unidad geoelectrica está constituida por calizas compactas se encuentra por debajo de la unidad B y se atribuyen a los SEVs 6, 7, 8 y 9.

Unidad geoelectrica F: Se asocia a la barita. En este perfil se encuentran dos cuerpos, el primero se encuentra rodeado por la unidad A y se encuentra constituido por los SEVs 7 y 8 con resistividades de 1360 ohm – m en el SEV 8 y de 2390 ohm- m en el SEV 7, con espesores de 1.22 m en el SEV 7 y de 0.63 m en el SEV 8. El segundo cuerpo se encuentra sobre la unidad B y por debajo de la unidad A, lo integran los SEVs 8 y 9 con resistividades de 1290 ohm – m para el SEV 8 y de 2109 ohm – m. para el SEV 9 y con espesores de 1.69 m para el SEV 8 y de 2.39 m para el SEV 9.

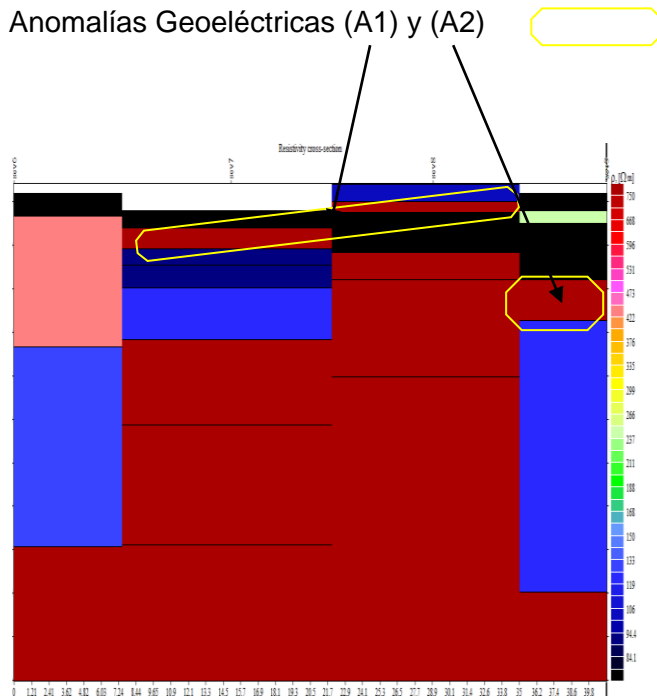


Figura 6.2.2. Perfil geoelectrico de los sondeos 6, 7, 8 y 9

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

### PERFIL 3

El perfil 3 está constituido por los SEVs 10, 11, 12 y 13 y abarca una longitud de 60 metros.

Unidad geoelectrica A: Esta integrada por lutitas, donde se encontraron 3 cuerpos principales. El primer cuerpo y de mayor dimensión se encuentra en el sondeo 10, se encuentra debajo de la unidad F así como por arriba de la Unidad D y a un costado de la Unidad C. La resistividad del primer cuerpo es de 84.5 ohm – m y con un espesor de 11.2 m. El segundo cuerpo se encuentra integrado por los SEVs 12 y 13, donde se encuentra rodeado de la Unidad B y es cruzado por la unidad F, con un espesor máximo de 1.23 m y el espesor mínimo de 0.27 m. La resistividad máxima del segundo cuerpo es de 93 ohm – m y pertenece al SEV 13, y la resistividad mínima es de 67 y pertenece a el SEV 12. Mientras que el tercer cuerpo está integrado por el SEV 13. Se encuentra rodeado de la unidad D, con una resistividad de 1.63 ohm – m y se encuentra a una profundidad de 23 m.

Unidad geoelectrica B: La unidad B está constituida de caliza húmeda, está integrada por los SEVs 10, 11, 12 y 13. Se encuentra por encima de la Unidad C Y D, e intercalada con la Unidad F. La resistividad máxima se encontró en el SEV 13 con una resistividad de 433 ohm – m y la resistividad mínima se encontró en los SEVs 10 y 11 con una resistividad de 112 ohm – m para ambos sondeos. El espesor máximo es de 8.84 m para el SEV 13 y el espesor mínimo para el SEV 11 de 1 m.

Unidad geoelectrica C: Esta unidad está constituida por caliza fracturada, se encuentra rodeada de las Unidades A, B, D y F. Está integrado por el SEV 11 con una resistividad de 802 ohm- m y un espesor de 17 m.

Unidad geoelectrica D: Está constituida por calizas compactas, se encuentran integradas por los SEVs 10, 11, 12 y 13. Se encuentran debajo de las Unidades A, B y C.

Unidad geoelectrica F: Asociada principalmente a barita, donde se localizaron dos cuerpos. El primero cuerpo está integrado por los SEVs 10, 11, 12 y 13. Se encuentra rodeado por las Unidades A y B. La resistividad mayor de localizo en el SEV 11 con una

resistividad de 4843 ohm – m y la menor resistividad de 787 ohm – m en el SEV 13. El mayor espesor se encontró en el SEV 10 de 1.96 m y el espesor de menor dimensión se localiza en el SEV 13 con 1 m. El segundo cuerpo está integrado por los SEVs 10 y 11. Se encuentra por encima de las unidades A y C, y por debajo de la unidad B. Con una resistividad mayor de 19290 ohm – m en el SEV 10, mientras que en el SEV 11 se encontró la resistividad menor que es de 6614 ohm – m. Los espesores fueron de 3.8 m en el SEV 10 y el de menor dimensión es de 2.84 m en el SEV 11.

Anomalías Geoeléctricas (A7) y (A6)

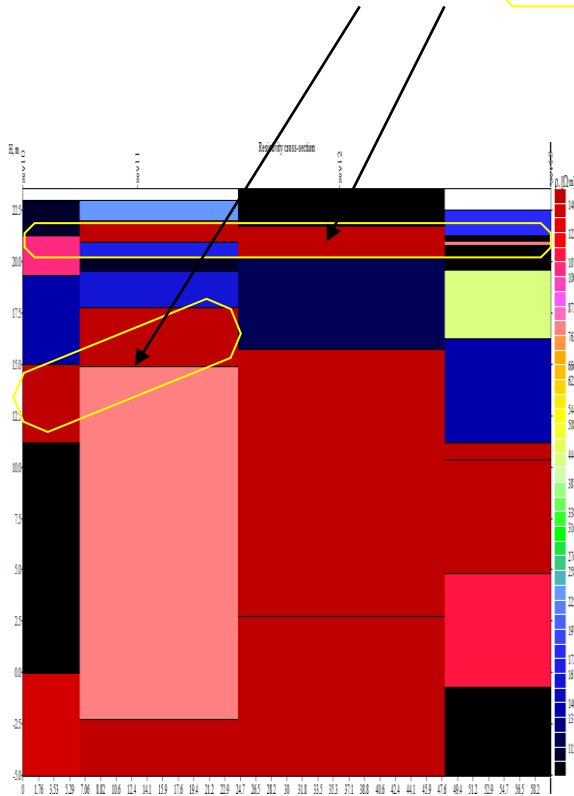


Figura 6.2.3. Perfil geoeléctrico de los sondeos 10, 11, 12 y 13

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm – m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

## PERFIL 4

Perfil 4 está constituido por los SEV 14, 15 y 16, abarcando una longitud de 35 metros.

Unidad geoelectrica A: La Unidad A esta constituida por lutitas. Se encontraron dos cuerpos, el cual el primero está integrado por los SEVs 14, 15 y 16, donde se localizaron por debajo de la Unidad B y por encima de la Unidad F. La resistividad mayor se localizó

en el SEV 16 con una resistividad de 49.7 ohm – m y una resistividad menor de 26.5 ohm – m en el SEV 15. Con espesores entre 3.43 m y 1.2 m. El segundo cuerpo está integrado por los SEVs 14, 15 y 16 donde se encuentra por debajo de la Unidad B. con resistividades de 4.7 ohm – m en el SEV 16 y la resistividad menor en el SEV 15.

Unidad geoelectrica B: Esta unidad se asocian a calizas húmedas, está integrado por los SEVs 14 y 16 , se encuentran intercalada con la Unidad A y F. la resistividad mayor se encuentra en el SEV 16 y su resistividad es de 384 ohm – m y la menor resistividad es de 108 ohm - m en el SEV 14. Los espesores están entre los 23 y 24 m.

Unidad geoelectrica F: Se asocia a barita, está integrado por los SEVs 14, 15 y 16, el cuerpo se encuentra arriba de las Unidades A y B y se encuentra de igual manera debajo de las Unidades A y B. Su resistividad mayor es de 4254 ohm – m en el SEV 15 y la menor resistividad se localizó en el SEV 16 con una resistividad de 948 ohm – m. El espesor mayor se encontró en el SEV 15 de 3.9 m y el de menor dimensión se localizo en el SEV 16 de 1.31 m.

Anomalías Geoelectricas (A8)

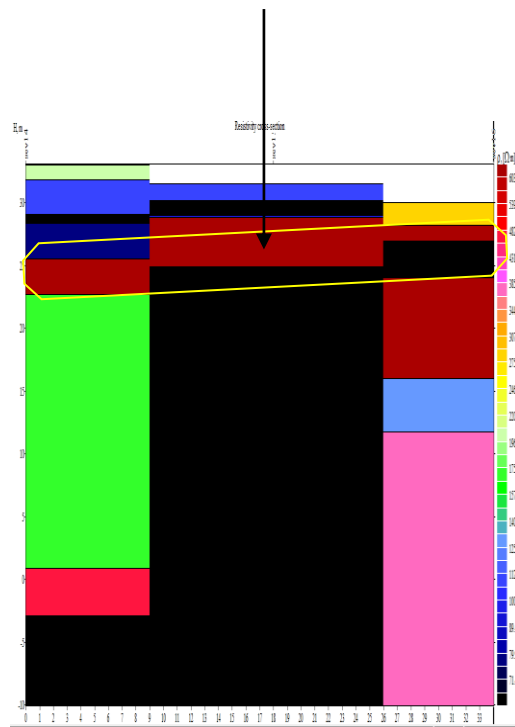


Figura 6.2.4. Perfil geoelectrico de los sondeos 14, 15 y 16

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm – m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

## PERFIL 5

Perfil está constituido por los SEVs 17 y 18. Abarcando una longitud de 18.5 metros.

Unidad geoelectrica A: Se asocia a lutita que se encuentra integrada por los SEVs 17 y 18, se encuentra intercalada con las Unidades B y F, de mayor intercalación con la unidad B. La resistividad mayor se encuentra en el SEV 17 con una resistividad de 76 ohm –m y la de menor resistividad se localiza en el SEV 18 de una resistividad de 37 ohm – m. Los espesores están entre 7 y 6.7 m.

Unidad geoelectrica B: La unidad B está constituida por calizas húmedas y se encuentra integrado por los SEVs 17 y 18. Se encuentran intercaladas con las Unidad A y F. La resistividad mayor se encuentra en el SEV 18 de con un resistividad de 414 ohm – m y la de menor resistividad de igual manera se localiza en el SEV 18 pero en una profundidad de 1 m y su resistividad es de 202 ohm -m, los espesores varían desde 1 m hasta 4.18m.

Unidad geoelectrica D: Está constituida por calizas compactas donde se localizo en el SEV 18 por debajo de la Unidad B y por arriba de la Unidad A, su resistividad es de 5530 ohm – m y tiene un espesor de 5 metros.

Unidad geoelectrica F: Corresponde a barita que se encuentra en el SEV 18 por debajo de la Unidad B y por arriba de la Unidad A, su resistividad es de 1981 ohm – m y su espesor es de 0.37 m.

## Anomalías Geoeléctricas (A9)



Figura 6.2.5. Perfil geoeléctrico de los sondeos 18 y 19

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

## PERFIL 6

Perfil 6 está constituido por los SEVs 19 y 20, abarcando una longitud de 20 metros.

Unidad geoelectrica A: Están asociadas a lutitas intercaladas con las Unidad B y C, principalmente con la Unidad B, está integrado por los SEVs 19 y 20. La resistividad máxima se encontró en el SEV 19 con una resistividad de 49.5 ohm – m y una resistividad mínima en el mismo SEV pero a 21 m de profundidad y su resistividad es de 6.5 ohm – m, y se encontraron espesores desde los 10 m en el SEV 19 y de 0.89 m en SEV 20.

Unidad geoelectrica B: Corresponde a calizas húmedas están integradas por los SEVs 19 y 20 y están entre la unidad A, la resistividad máxima es de 448 ohm- m en el SEV 20 y la de menor resistividad igual se encuentra en el SEV 20 pero a un profundidad de 5.6 m y su resistividad es de 431 ohm – m, sus espesores están entre 1.84 m y 3.09 m.

Unidad geoelectrica C: Están constituidas por calizas fracturadas y está integrado por el SEV 19, se encuentra por debajo de la Unidad B y por encima de la Unidad A, su resistividad es de 880 ohm- m y su espesor es de 1.54 m

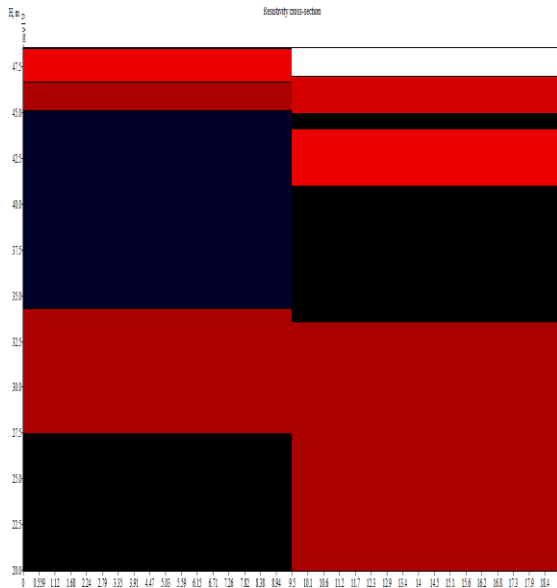


Figura 6.2.6. Perfil geoelectrico de los sondeos 19 y 20

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

## PERFIL 7

Perfil 7 está constituido por los SEVs 21, 22 y 23, abarcando una longitud de 32 metros.

Unidad geoelectrica A: Está asociada con lutita que se encuentra constituido por los SEVs 21, 22 y 23, se encuentra intercalada con la Unidad B y D, la resistividad mayor se encontró en el SEV 21 y es de 63 ohm – m y la de menor resistividad se encontró en el SEVs 23 y 19.5 ohm – m. Los espesores varían desde 1 m en SEV 23 y el mayor espesor localizado en el SEV 21 y es de 23 m.

Unidad geoelectrica B: Está constituida por calizas húmedas y está integrado por los SEVs 21, 22 y 23. Se encuentran intercaladas con las Unidades A y D, su resistividad máxima es de 531 ohm – m en el SEV 21 y la de menor resistividad es de 161 ohm – m en el SEV 22. Los espesores máximos fueron localizado en el SEV 21 y es de 4.9 m y el espesor menor se localizo en el SEV 23 de 1.3 m.

Unidad geoelectrica D: Esta asociado con caliza sana que principalmente esta intercalado con las Unidades A y B.

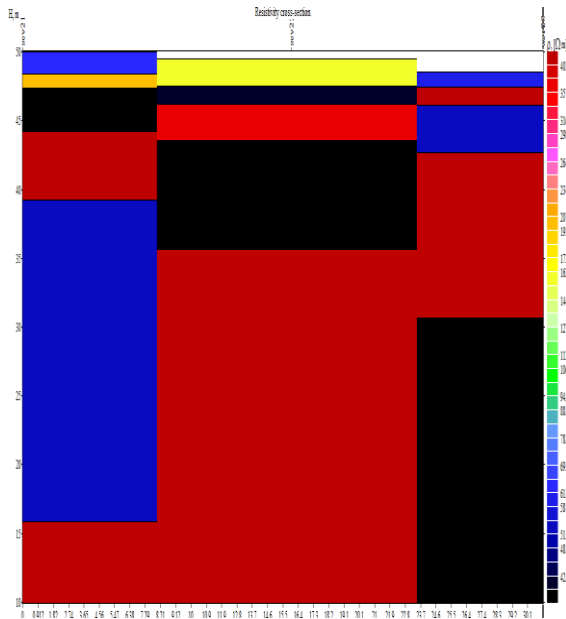


Figura 6.2.7. Perfil geoelectrico de los sondeos 21, 22 y 23

Unidad Geoelectrica	litología	Rango ohm - m	Observaciones
A	Lutita	20 - 100	
B	Caliza húmeda	100 - 500	
C	Caliza fracturada	500 - 1000	
D	Caliza compacta	1000 - 6620	
E	Caliza con barita	4000 - 6620	Estratos pequeños
F	Posible zona mineralizada	700 - 6620	Estratos pequeños

Tabla 6.2.1. Unidad geoelectrica con litología

### 6.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

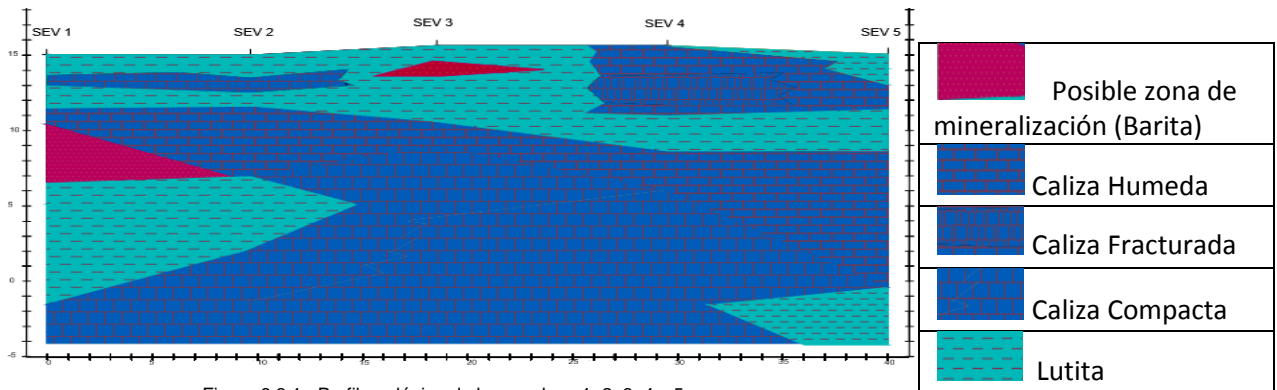
Con la interpretación de la información procesada de los datos obtenidos en campo y la geología regional, se establecieron 6 unidades litológicas: Unidad A – lutitas, Unidad B - caliza húmeda, Unidad C - caliza fracturada, Unidad D - caliza compacta, Unidad E - caliza con barita y Unidad F – Posible zona de mineralización. El objetivo principal en el procesamiento e interpretación se enfocó en la unidad F atribuida a la zona de mineralización (barita). Se elaboraron 7 perfiles geológicos, para una mejor correlación y distribución de las unidades. Con la información de la geología regional y local de la zona de estudio se logró la interpretación de los datos geofísicos y con esto se pudieron establecer las 6 unidades ya antes mencionadas.

Unidad Geoeléctrica	litología	Observaciones
A	Lutita	
B	Caliza húmeda	
C	Caliza fracturada	
D	Caliza compacta	
E	Caliza con barita	Estratos pequeños
F	Posible zona de mineralización (Barita)	Estratos pequeños

Tabla 6.3. Unidades geológicas

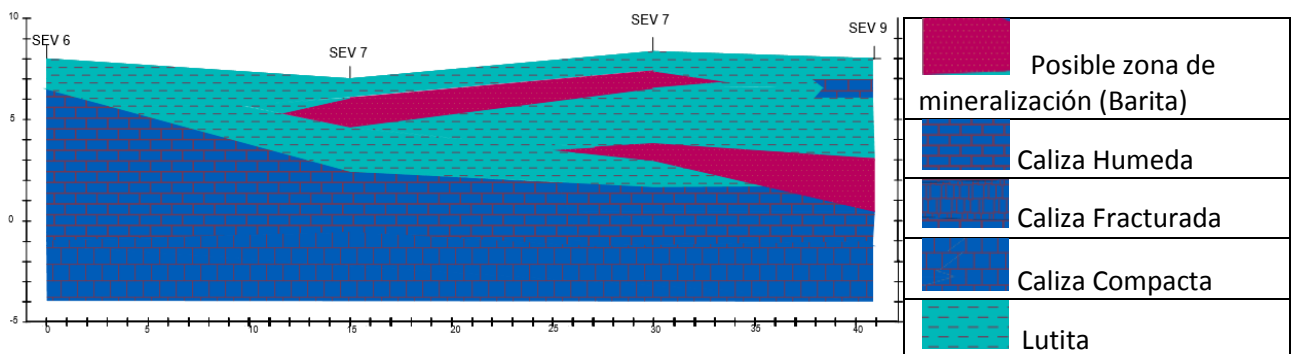
#### PERFIL GEOLÓGICO 1

El perfil 1 está constituido por caliza en su mayoría, con intercalaciones de lutita en la parte superior del perfil. Se localizaron 2 cuerpos asociados al mineral barita, el primer cuerpo se localizó en el sondeo 1 a una profundidad de 8 m con un espesor de 3.8 m, el segundo cuerpo localizándose en el sondeo 3 a una profundidad de 2.25 m y con un espesor 1.17 m.



## PERFIL GEOLÓGICO 2

Perfil 2 con intercalación de caliza y lutita, en la parte superior constituido por lutita, en la cual se encuentran 2 cuerpos asociados a nuestra zona de mineralización; el primer cuerpo se encuentra entre los SEVs 7 y 8 con una profundidad aproximada de 2 m y con un espesor de 1.22 m en el SEV 7 y de 0.63 m para el SEV 8; el segundo cuerpo se localiza entre los SEVs 8 y 9 con un espesor de 1.69 m en el SEV 8 y de 2.39 m para el SEV 9.



### PERFIL GEOLÓGICO 3

En este perfil, conformado principalmente por caliza y pequeños cuerpos de lutita, se localizaron dos cuerpos asociados al mineral, el primer cuerpo se encuentra integrado por los SEVs 10, 11, 12 y 13, en donde el espesor de mayor dimensión se encontró en el SEV 11 de casi 2 metros, el espesor mínimo se encuentra el SEV 13 con 1 m. El segundo cuerpo está integrado por los SEVs 10 y 11. Por debajo del primer cuerpo. Los espesores fueron de 3.8 m en el SEV 10 y el de menor dimensión es de 2.84 m en el SEV 11.

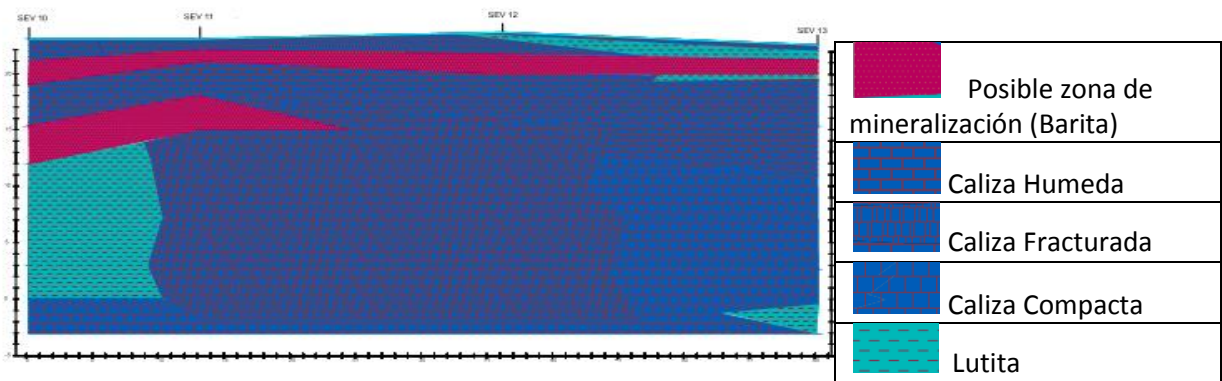


Figura 6.3.3. Perfil geológico de los sondeos 10,11, 12 y 13

### PERFIL GEOLÓGICO 4

Perfil 4 constituido por los SEVs 14, 15 y 16, donde la gran mayoría está conformada por caliza con la intercalación de lutita con mineral en los 3 SEVs que conforman el perfil. El espesor de mayor dimensión se encontró en el SEV 15 de 3.9 m y el de menor dimensión se localizó en el SEV 16 de 1.31 m.

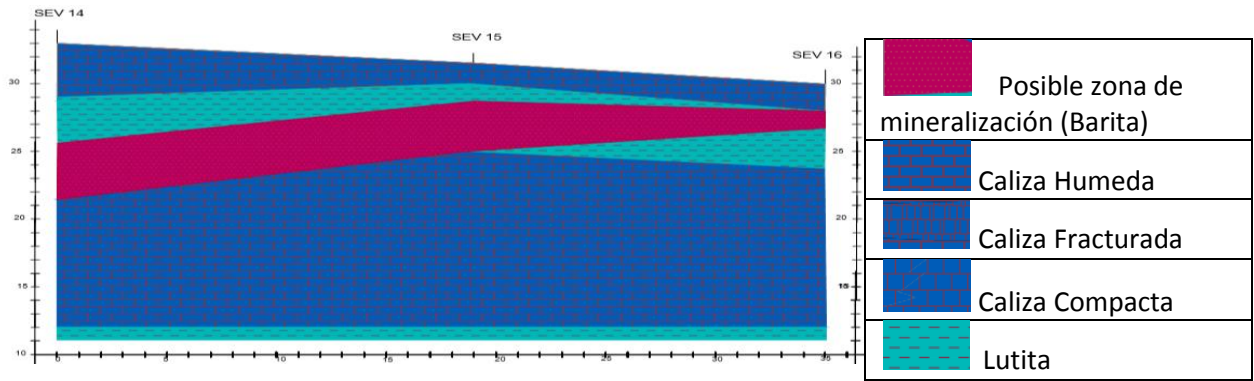


Figura 6.3.4. Perfil geológico de los sondeos 14, 15 y 16

## PERFIL GEOLÓGICO 5

Este perfil se encuentra constituido por intercalaciones de lutita con caliza. En este perfil se localiza un cuerpo asociado con la zona de mineralización, este zona se encuentra en el SEV 18 y tiene un espesor es de 0.37 m.

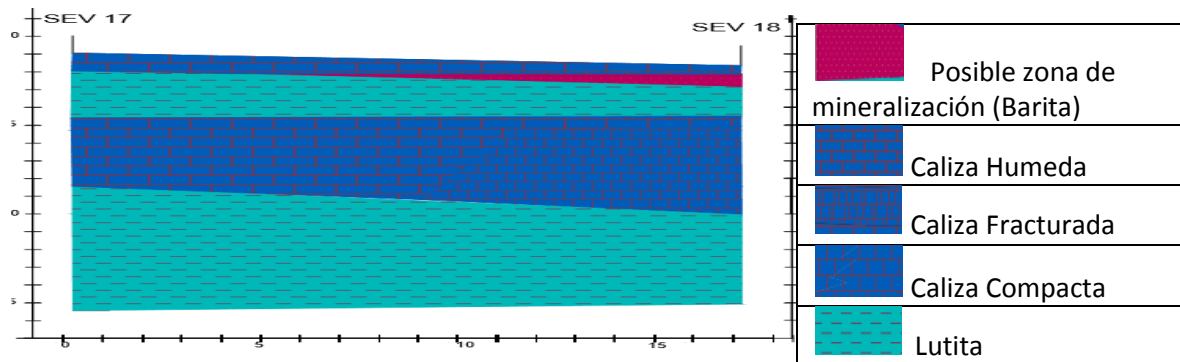


Figura 6.3.5. Perfil geológico de los sondeos 17 y 18

## PERFIL GEOLÓGICO 6

El Perfil 6 está integrado por los SEVs 19 y 20 donde se localizaron calizas en la parte superior del perfil y lutitas por de debajo de las calizas.

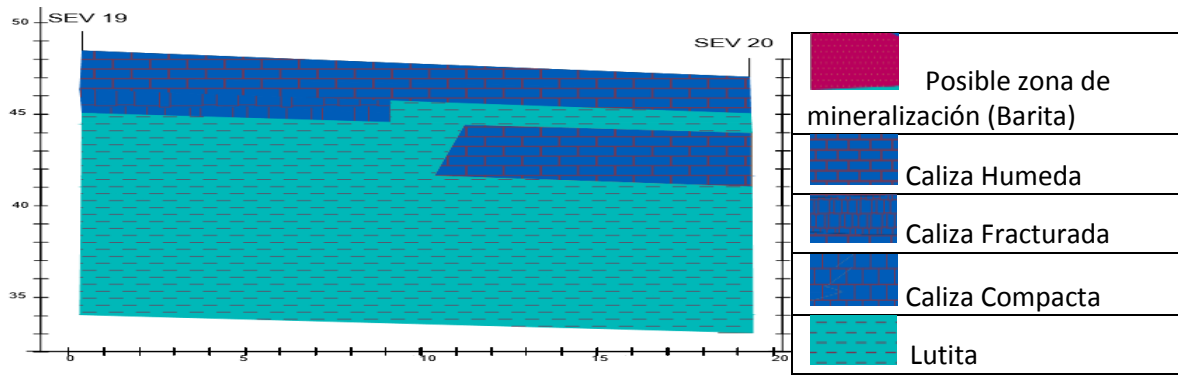


Figura 6.3.6. Perfil geológico de los sondeos 19 y 20

## PERFIL GEOLÓGICO 7

El Perfil 7 contiene intercalaciones de calizas y lutitas, está constituido por los SEVs 21, 22 y 23.

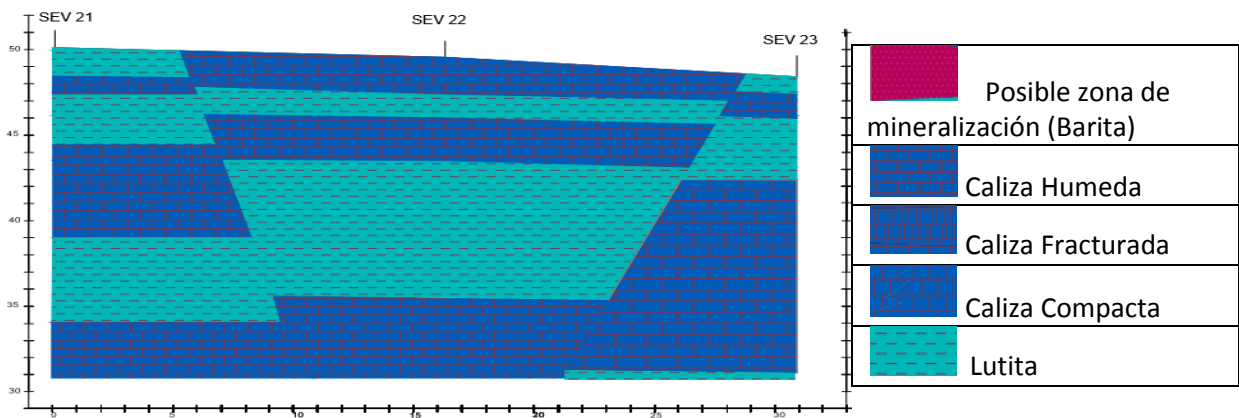


Figura 6.3.7. Perfil geológico de los sondeos 21, 22 y 23

## 6.4. CÁLCULO DE RESERVAS

### 6.4.1. CÁLCULO DE ÁREA, VOLUMEN Y TONELAJE

Una vez generados los perfiles geológicos se procedió a separar las anomalías en cada perfil, y así nombrar cada uno de los cuerpos mineralizados. Se encontró un total de 9 anomalías en 5 perfiles con diferentes profundidades y dimensiones.

El análisis de las anomalías se consideró conforme la geología del mineral ya antes mencionado.

#### 6.4.1.1. CÁLCULO DE ÁREAS

El cálculo de áreas se realizó por anomalía y se determinaron las áreas en el software autoCAD, los perfiles se crearon a escala para así poder determinar las áreas de las anomalías.

El área de mayor dimensión se encontró en el perfil 4, corresponde a la anomalía A8 con una área de  $103.2 \text{ m}^2$  y el área de menor dimensión se encontró en el Perfil 5 y se le asignó el nombre de A9, tiene una dimensión de  $1.48 \text{ m}^2$ .

A continuación se presentan los perfiles con sus respectivas anomalías y áreas.

#### PERFIL 2

A 1 =  $19.9 \text{ m}^2$

A 2 =  $29.33 \text{ m}^2$

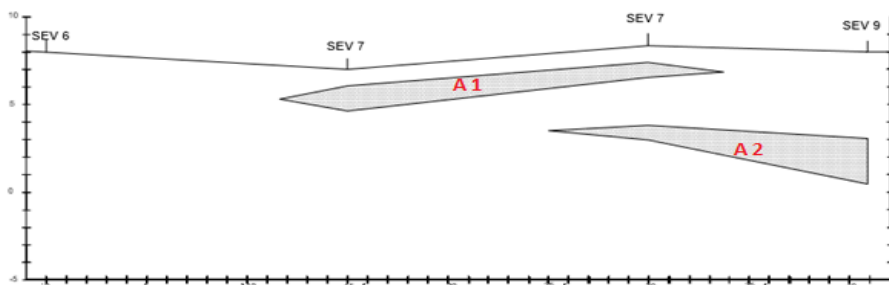


Figura 6.4.1.2. Perfil de anomalías de los sondeos 6, 7, 8 y 9

## PERFIL 1

$$A 4 = 5.7 \text{ m}^2$$

$$A 5 = 9 \text{ m}^2$$

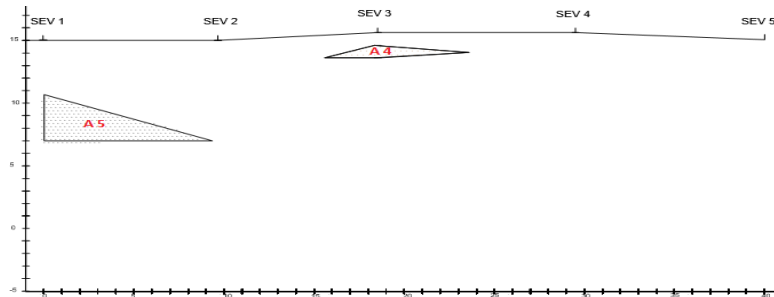


Figura 6.4.1.1. Perfil de anomalías de los sondeos 1, 2, 3, 4 y 5

## Perfil 3

$$A 6 = 88.6 \text{ m}^2$$

$$A 7 = 60 \text{ m}^2$$

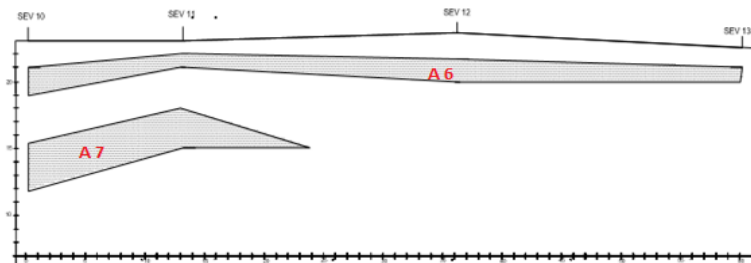


Figura 6.4.1.3. Perfil de anomalías de los sondeos 10, 11, 12 y 13

## PERFIL 4

$$A 8 = 103.2 \text{ m}^2$$

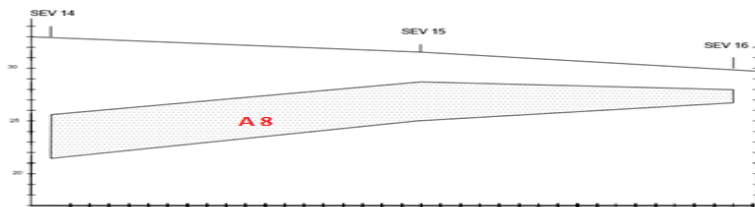


Figura 9.1.4: Perfil de anomalías de los sondeos 14, 15 y 16

## PERFIL 5

$$A 9 = 1.48 \text{ m}^2$$

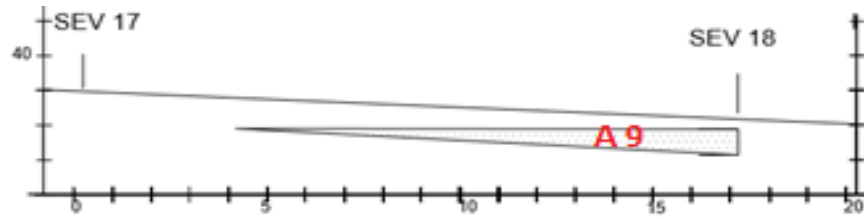


Figura 6.4.1.5. Perfil de anomalías de los sondeos 17 y 18

### 6.4.1.2. CÁLCULO DE VOLUMEN Y TONELAJE

El cálculo de reservas se realizó con el método clásico mas específico con el método de perfiles en cual podemos establecer el volumen del mineral a través de perfiles. Determinadas las áreas de las anomalías se pueden determinar el volumen entre perfiles.

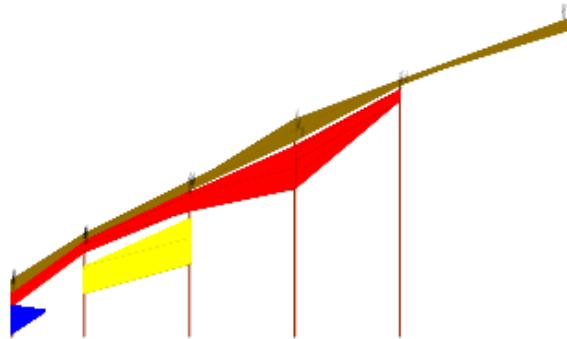


Figura 6.4.1.6. Cuerpos mineralizados (color rojo C1, color amarillo C2, color azul C3)



Figura 6.4.1.7. Cuerpos mineralizados (color rojo C1, color amarillo C2, color azul C3)

A partir de las observaciones de campo se indicó que el 30% de la anomalía correspondía a mineral de barita y el 70% de la anomalía corresponde a roca estéril. Teniendo los volúmenes de los cuerpos se determinaron los tonelajes de dichos cuerpos, para esto se

calculó el tonelaje de acuerdo a la densidad de la barita  $D \approx 4$  a  $4.2 \text{ g/cm}^3$ , por lo cual se ocupó la ecuación de densidad.

$$D = M/V$$

$$M = (D * VZm)$$

$$D = 4 \text{ a } 4.2 \text{ g/cm}^3 \text{ o } D = 4100 \text{ kg/m}^3$$

Con los parámetros anteriores se determinó el tonelaje.

### VOLUMEN Y TONELAJE DE CUERPO 1 (C1)

El cuerpo 1 está integrado por las anomalías A1, A4, A6, A8 y A9 en los perfiles 1, 2, 3, 4 y 5 las cuales se representan en la siguiente figura. El cuerpo 1 se encuentra una profundidad de 5 m en promedio.

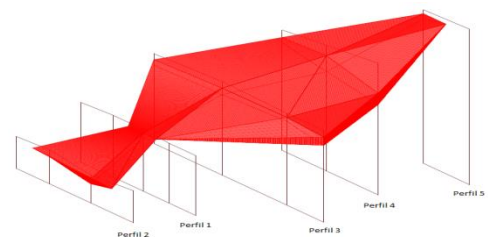


Figura 6.4.1.8. Mapa de anomalía de cuerpo C1

Para el cálculo del volumen del cuerpo 1 (C1), se utilizaron las tres ecuaciones del método de perfiles. La primera ecuación se ocupó entre las anomalías (A4 y A1), (A4 y A6) y (A8 y A9) en la cual se aplicó la fórmula de tronco de pirámide ya que la diferencia entre las áreas supera 40%. Para el cálculo del volumen entre las anomalías (A6 y A8) se ocupó la ecuación del trapecoide ya que la diferencia entre las áreas no superaba el 40%. Y en la anomalía A9 se ocupó la ecuación de la cuña.

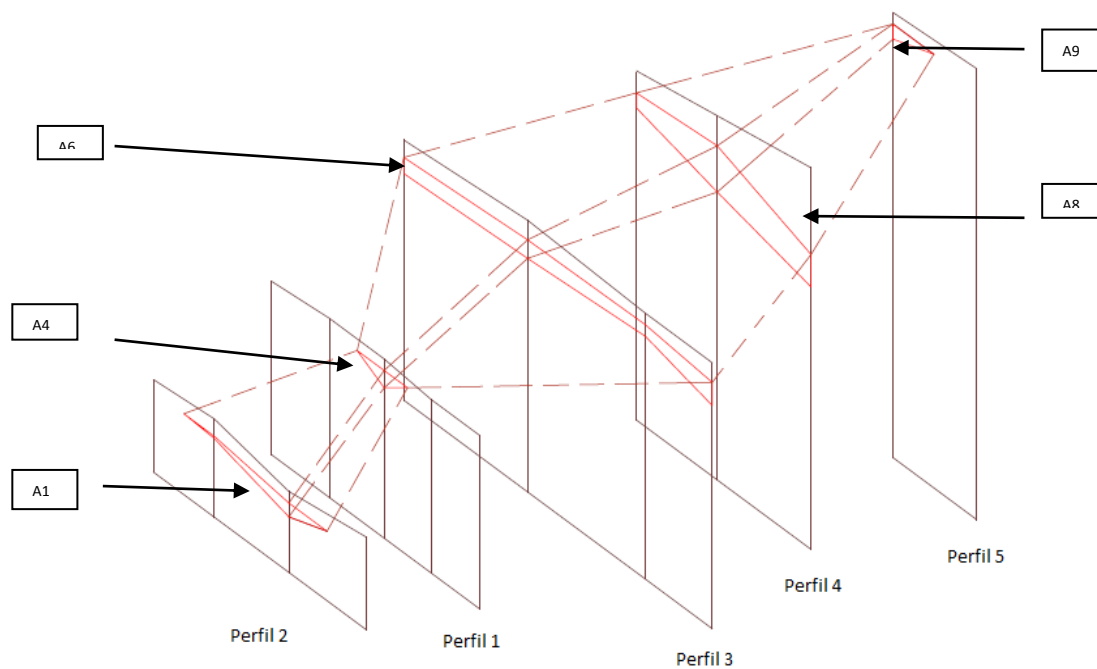


Figura 6.4.1.9. Perfiles de cuerpo C1 (color rojo)

En la siguiente tabla se indica los parámetros utilizados y resultados del cálculo del volumen del cuerpo 1.

$$VC1= 2918 \text{ m}^3$$

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Ecuacion	CVP	CVC	VTC
								VC1= 2918 m <sup>3</sup>
A1 = 19.9 m <sup>2</sup>	11 m	100%	71.35%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$	132.91 m <sup>3</sup>		
		28.65%						
A4 = 5.7 m <sup>2</sup>	16 m	6.43%	93.56%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$	622.78 m <sup>3</sup>		
		100%						
A6 = 88.6 m <sup>2</sup>	16 m	85.85%	14.14%	Ax - Ay ≤ 40 %	$V = d \cdot (\frac{S_1 + S_2}{2})$	1534.4 m <sup>3</sup>		
		100%						
A8 = 103.2m <sup>2</sup>	16 m	100%	98.56%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$	624.2 m <sup>3</sup>		
		1.40%						
A9 = 1.48 m <sup>2</sup>	5 m				$V = \frac{1}{2}(S_0 \cdot d)$		3.7 m <sup>3</sup>	

Tabla 6.4.1.1. Cálculo de volumen de C1

Obtenidos los volúmenes entre perfiles 1, 2, 3, 4, y 5 con sus anomalías correspondientes, se suman para obtener el volumen total del cuerpo VC1, del cual se restara el 70% ya que corresponde a roca estéril, donde se le obtendrá el tonelaje total de 3589.14 toneladas.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C1	2918 m <sup>3</sup>	875.4 m <sup>3</sup>	3589.14

Tabla 6.4.1.2. Tonelaje de cuerpo C1

## VOLUMEN DE CUERPO 2

El cuerpo 2 se determino a una profundidad de 10 m aproximadamente el cual esta integrado por las anomalías A5 y A7, se encuentran en los perfiles 1 y 3. Se calculo un volumen de 514.43 m<sup>3</sup>

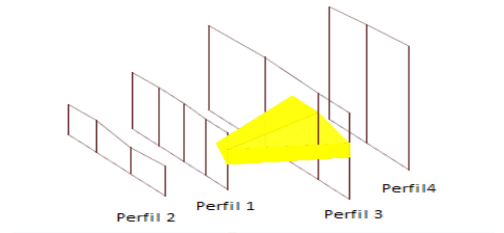


Figura 6.4.1.10. Mapa de anomalía de cuerpo C2 (color amarillo)

Para el cálculo de volumen del cuerpo 2 (C2), se ocuparon dos ecuaciones, donde la diferencia entre las anomalías fue mayor al 40% por lo cual se ocupó la ecuación de tronco de pirámide para las anomalías (A5 y A7), y para el segundo cálculo se ocupó la ecuación de cuña para la anomalía

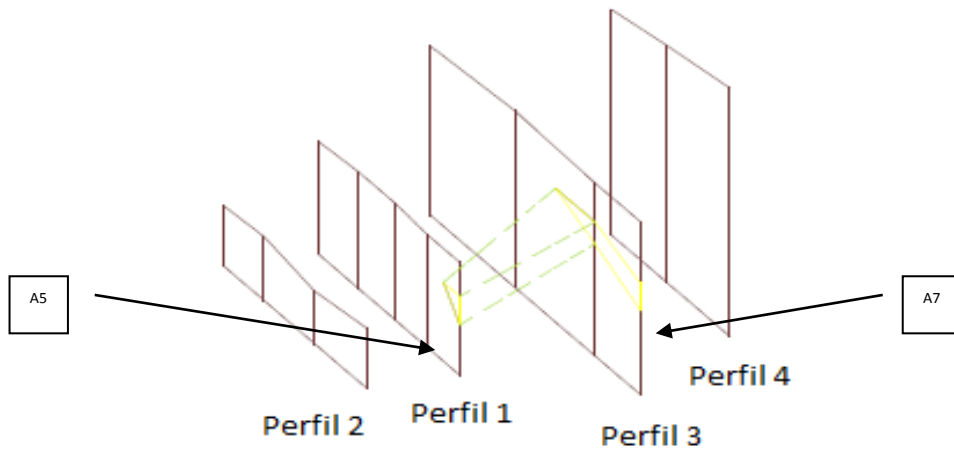


Figura 6.4.1.11. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)

En la siguiente tabla se indica los parámetros utilizados y resultados del cálculo del volumen del cuerpo 2.

$$VC2=514.43 \text{ m}^3$$

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Calculo	CVP	CVC	VTC
								VC2 = 514.43 m <sup>3</sup>
A5 = 9 m <sup>2</sup>	16 m	15%	85%	$Ax - Ay \geq 40 \%$	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	491.93 m <sup>3</sup>		
A7 = 60 m <sup>2</sup>		100%						
					$V = \frac{1}{2}(S_1 \cdot d)$		22.5 m <sup>3</sup>	

Tabla 6.4.1.3. Cálculo volumen de C2

Obtenido el volumen entre los perfiles 1 y 3 de las anomalías A5 y A7 tenemos el volumen total del cuerpo VC1, por lo que se restara el 70% ya que corresponde a roca estéril y se obtendrá el tonelaje total de 632.712 toneladas.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C2	514.43 m <sup>3</sup>	154.32 m <sup>3</sup>	632.712

Tabla 6.4.1.4. Tonelaje de cuerpo C2

### VOLUMEN DE CUERPO 3

Cuerpo 3 se encuentra integrado por la anomalía A2 en el perfil 1, su volumen calculado fue 73.32 m<sup>3</sup>, con una profundidad de 15 m.

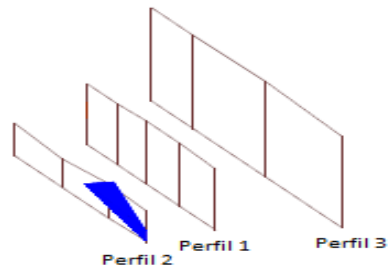


Figura 6.4.1.12. Mapa de anomalía de cuerpo C3

Para el calculo del cuerpo 3 (C3) se ocupó solo la ecuacion de cuña para la anomalia A2.

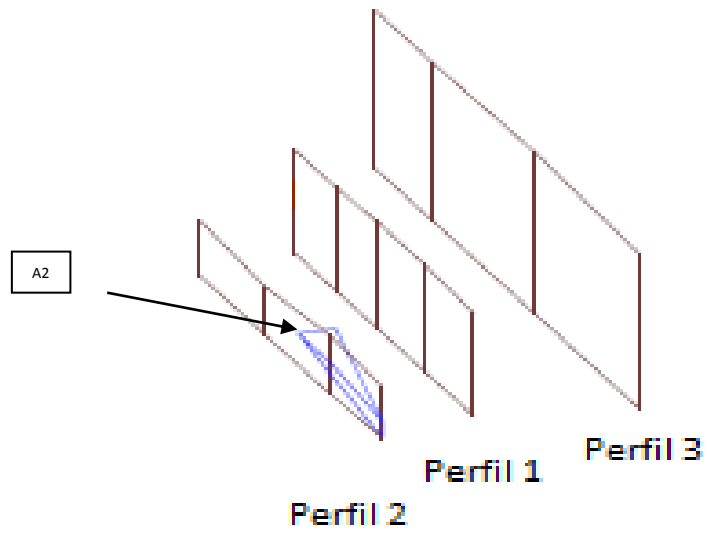


Figura 6.4.1.13. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)

En la siguiente tabla se indica los parámetros utilizados y resultados del cálculo del volumen del cuerpo 2.

A Perfiles	Distancia	Calculo	CVC	VTC
A2 = 29.33 m	5	$V = \frac{1}{2}(S_2 \cdot d)$	73.32 m <sup>3</sup>	VC3 = 73.32 m <sup>3</sup>

Tabla 6.4.1.5. Cálculo de volumen de C3

Obtenidos los volúmenes entre los perfiles 1 y 2 con la anomalía A2, se obtuvo el volumen total del cuerpo VC1, del cual se restara el 70% ya que corresponde a roca estéril, a lo cual se le obtendrá el tonelaje total de 90.15 toneladas.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C3	73.32 m <sup>3</sup>	21.99 m <sup>3</sup>	90.159

Tabla 6.4.1.6. Tonelaje de cuerpo C3

El volumen de la zona mineralizada de mayor dimensión es de 875.4 m<sup>3</sup> se localizó en el cuerpo C1 y se encuentra entre los perfiles 1, 2, 3, y 4, a una profundidad de 5 m en promedio, el tonelaje del cuerpo C1 es de 3589.14. El volumen total de la zona mineralizada es de 1051.72 m<sup>3</sup> y el tonelaje total es de 4312.011 toneladas.

$$V_t = VC1 + VC2 + VC3$$

$$T_t = T1 + T2 + T3$$

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C1	2918 m <sup>3</sup>	875.4 m <sup>3</sup>	3589.14
C2	514.43 m <sup>3</sup>	154.32 m <sup>3</sup>	632.712
C3	73.32 m <sup>3</sup>	21.99 m <sup>3</sup>	90.159

Tabla 6.4.1.7. Tonelaje total

$$VT = 3505.75 \quad VTZ = 1051.72 \quad TT = 4312.011$$

$$TTV = 14373.575$$

## CAPÍTULO VII

### 7.1. MÉTODO 2

El método 2 se utilizó para la generación de cuerpos de posible mineralización en base a la separación de la distorsión de la curva eléctrica a través de una línea de tendencia tipo polinomial.

Las anomalías se generaron a partir de las curvas de resistividad aplicándoles una línea de tendencia de tipo polinomial donde el grado del polinomio varío con respecto al número de inflexiones de la curva de resistividad aparente donde nos permitió seleccionar las anomalías de alta resistividad, una vez teniendo seleccionadas las anomalías se prosiguió a procesar e interpretar las secciones de curvas pertenecientes a las anomalías obteniendo resistividad verdadera, espesor y profundidad, teniendo su profundidad y espesor se crearon los cuerpos mineralizados dependiendo la profundidad de la anomalía.

El método 2 se propuso por las propiedades y la geología de la barita que son parámetros muy importantes en su búsqueda, principalmente su constante dieléctrica y el emplazamiento del mineral.

La barita se comporta como un material dieléctrico, el cual en la prospección geoelectrica nos permite asociar a las altas anomalías de resistividad con la posible zona mineralizada (barita).

La geología del sulfato de bario se presenta en filones hidrotermales principalmente así como también en masas granuladas, en nódulos de arcilla, en venas de estratos sedimentarios como lo es en nuestro caso de estudio y alrededor de fuentes termales.

Teniendo en cuenta principalmente la constante dieléctrica y la geología se pudieron seleccionar anomalías que permitieron generar cuerpos mineralizados y determinar su volumen por medio del método de perfiles y posteriormente calcular su tonelaje.

A continuación se muestran las curvas de resistividad aparente con sus anomalías seleccionadas y su línea de tendencia. Así como una tabla con su resistividad verdadera espesor y profundidad.

SEV 1

SEV	X	Y	Z
SEV 1	47.37	11	15.00

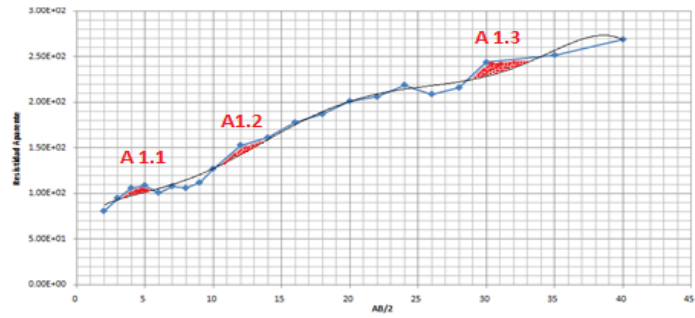


Figura 7.1.1. Curva de resistividad del sondeo 1 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
1.1	352.9 ohm-m	1.5 m	1.5 - 3 m
1.2	2370 ohm-m	3 m	6.5 - 9.5 m
1.3	2541 ohm-m	5.8 m	14.5 - 20.3 m

Tabla 7.1.1. Anomalía y resistividad de sondeo 1

SEV 2

SEV	X	Y	Z
SEV 2	37.89	11	15.00

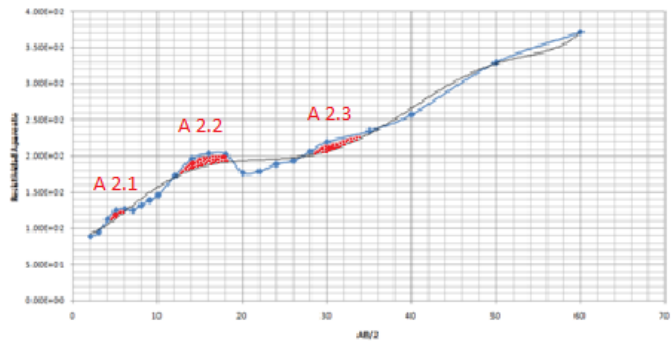


Figura 7.1.2. Curva de resistividad del sondeo 2 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
2.1	438.5 ohm-m	2.1 m	1.5 - 3.6 m
2.2	968.9 ohm-m	3.2 m	5.2 - 8.4 m
2.3	2652 ohm-m	3.9 m	15.8 - 19.8 m

Tabla 7.1.2. Anomalía y resistividad de sondeo 2

SEV 3

SEV	X	Y	Z
SEV 3	28.64	11	15.50

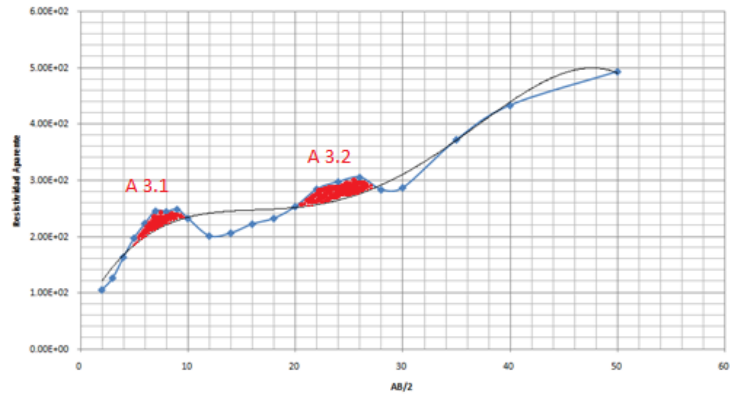


Figura 7.1.3. Curva de resistividad del sondeo 3 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
3.1	791.6 ohm-m	2.8 m	2.2 - 5 m
3.2	1832 ohm-m	2 m	12 - 14 m

Tabla 7.1.3. Anomalía y resistividad de sondeo 3

SEV 4

SEV	X	Y	Z
SEV 4	17.88	11	15.50

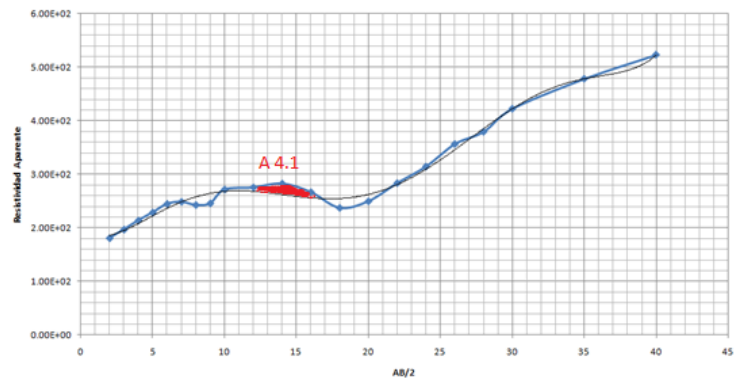


Figura 7.1.4. Curva de resistividad del sondeo 4 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
4.1	432.8 ohm-m	7.9 m	5 - 12.9 m

Tabla 7.1.4. Anomalía y resistividad de sondeo 4

SEV 5

SEV	X	Y	Z
SEV 5	6.55	11	15.00

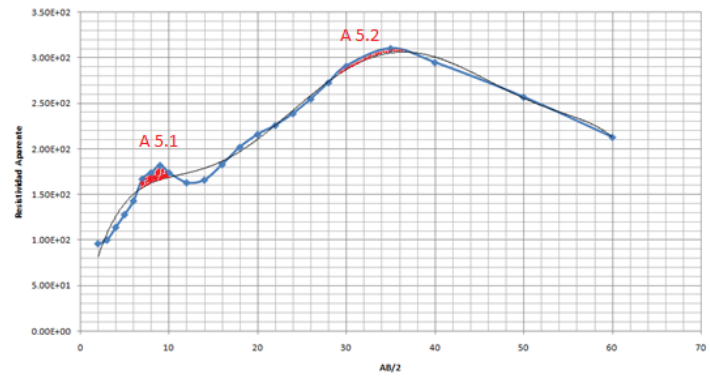


Figura 7.1.5. Curva de resistividad del sondeo 5 (anomalías color rojo)

Anomalia	resistividad	espesor	profundidad
5.1	650 ohm-m	2.92 m	4.7 - 7.6 m
5.2	3124 ohm-m	4.8 m	15.7 - 20.6 m

Tabla 7.1.5 Anomalia y resistividad de sondeo 5

SEV 6

SEV	X	Y	Z
SEV 6	47.37	0	8.00

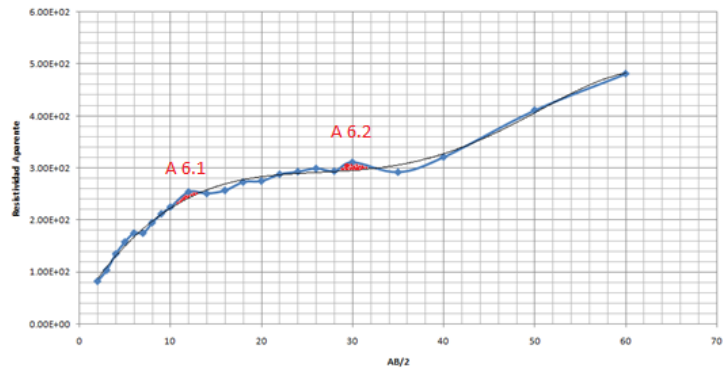


Figura 7.1.6. Curva de resistividad del sondeo 6 (anomalías color rojo)

Anomalia	resistividad	espesor	profundidad
6.1	859.8 ohm-m	2.6 m	5.6 - 8.2 m
6.2	883 ohm-m	5.2 m	22.7 - 27.9 m

Tabla 7.1.6. Anomalia y resistividad de sondeo 6

SEV 7

SEV	X	Y	Z
SEV 7	32.27	0	7.00

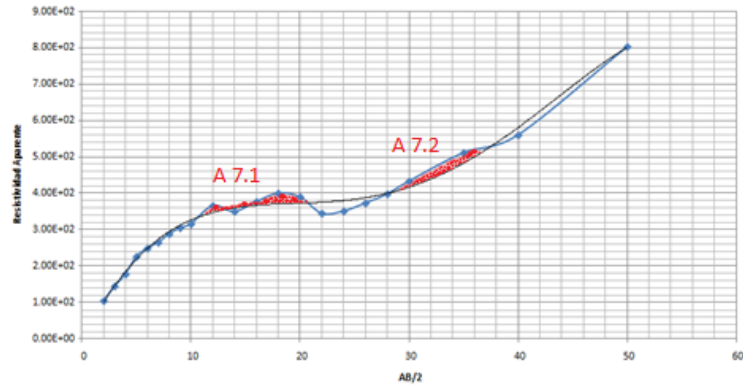


Figura 7.1.7. Curva de resistividad del sondeo 7 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
7.1	869.9 ohm-m	4.9 m	6.7 - 11.7 m
	915.9 ohm-m	3.8 m	15.8 - 19.7 m
7.2	11000 ohm-m	11 m	14 - 25 m

Tabla 7.1.7. Anomalía y resistividad de sondeo 7

SEV 8

SEV	X	Y	Z
SEV 8	17.62	0	8.50

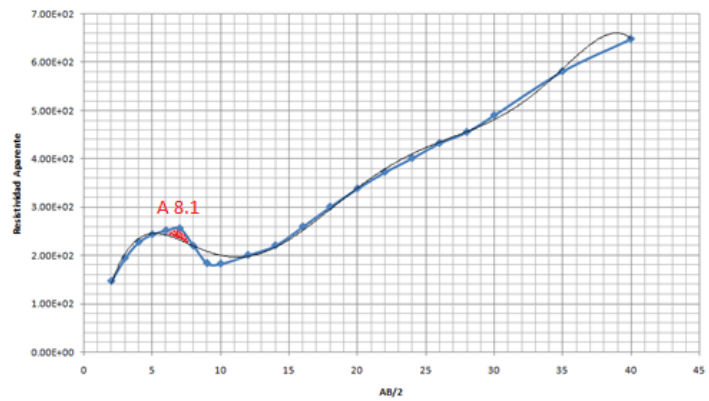


Figura 17.1.8. Curva de resistividad del sondeo 8 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
8.1	541.4 ohm-m	2.1 m	2.6 - 4.8 m

Tabla 7.1.8. Anomalía y resistividad de sondeo 8

SEV 9

SEV	X	Y	Z
SEV 9	5.71	0	8.00

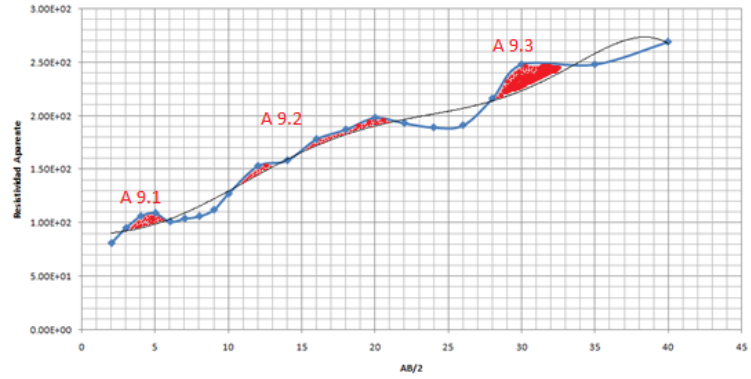


Figura 7.1.9. Curva de resistividad del sondeo 9 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
9.1	415.5 ohm-m	1.2 m	1.5 - 2.8 m
9.2	1383 ohm-m	5 m	6 - 11 m
9.3	11000 ohm-m	6.1 m	19.8 - 25.9 m

Tabla 7.1.9. Anomalía y resistividad de sondeo 9

SEV 10

SEV	X	Y	Z
SEV 10	60.49	27	23.00

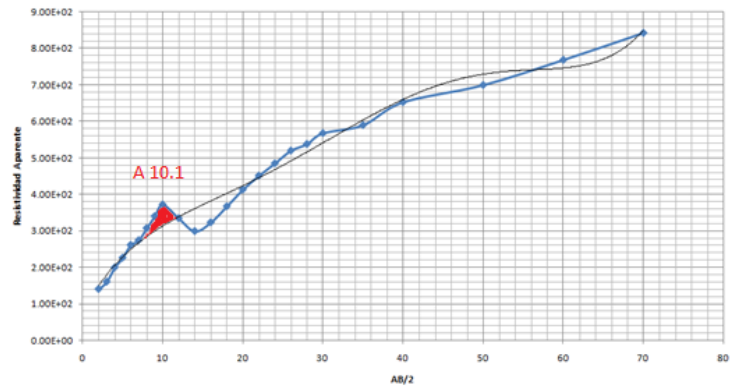


Figura 7.1.10. Curva de resistividad del sondeo 10 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
10.1	5077 ohm-m	3.2 m	10.8 – 14 m

Tabla 7.1.10. Anomalía y resistividad de sondeo 10

SEV 11

SEV	X	Y	Z
SEV 11	47.37	27	23.00

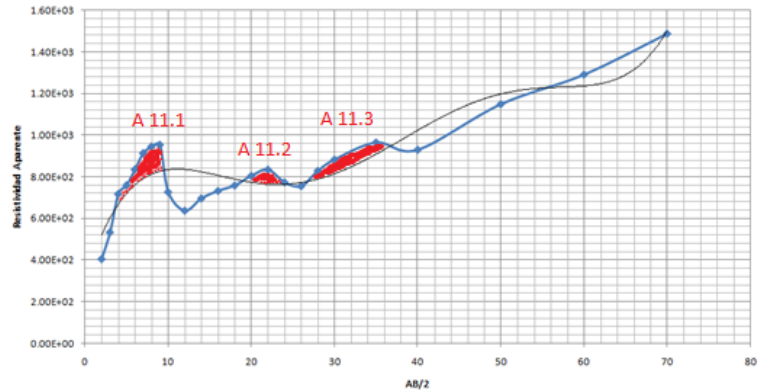


Figura 7.1.11. Curva de resistividad del sondeo 11 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
11.1	2107 ohm-m	2.6 m	2.4 – 5 m
11.2	1606 ohm-m	3.3 m	9.5 – 12 m
11.3	45328 ohm-m	2.7 m	17.9 - 20.7 m

Tabla 7.1.11. Anomalía y resistividad de sondeo 11

SEV 12

SEV	X	Y	Z
SEV 12	24.28	27	23.50

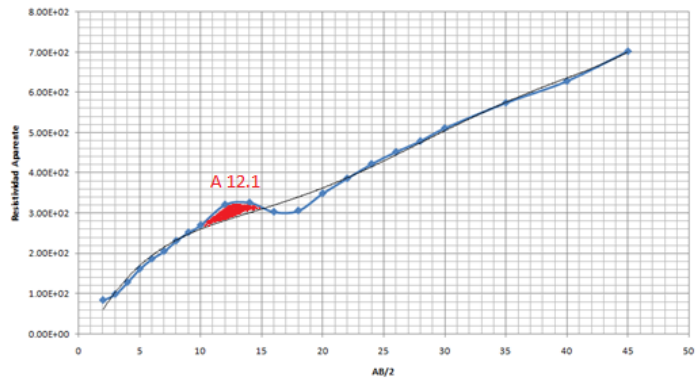


Figura 7.1.12. Curva de resistividad del sondeo 12 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
12.1	2129 ohm-m	2 m	6 – 8 m

Tabla 7.1.12. Anomalía y resistividad de sondeo 12

SEV 13

SEV	X	Y	Z
SEV 13		0	27 22.50

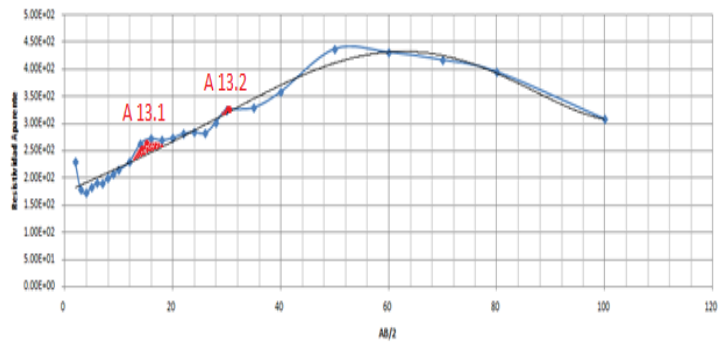


Figura 7.1.13. Curva de resistividad del sondeo 13 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
13.1	1088 ohm-m	4 m	6 – 10 m
13.2	2128 ohm-m	2.3 m	16.1 - 18.4 m

Tabla 7.1.13. Anomalía y resistividad de sondeo 13

SEV 14

SEV	X	Y	Z
SEV 14		47.37	43 33.00

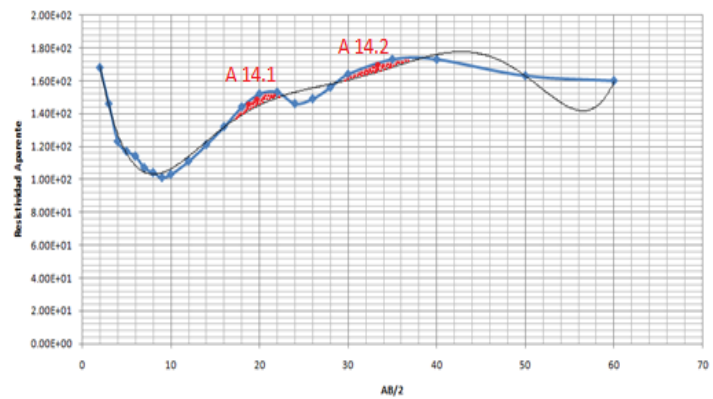


Figura 7.1.14. Curva de resistividad del sondeo 14 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
14.1	995.6 ohm-m	2.2 m	9.3 - 11.6 m
14.2	778.2 ohm-m	3.2 m	16.5 - 19.7 m

Tabla 7.1.14. Anomalía y resistividad de sondeo 14

SEV 15

SEV	X	Y	Z
SEV 15	28.98	43	31.50

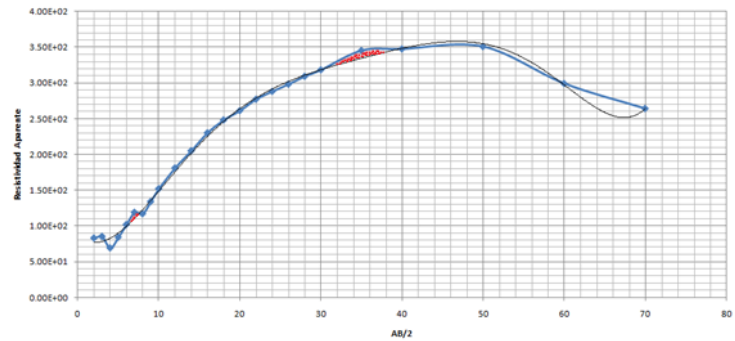


Figura 7.1.15. Curva de resistividad del sondeo 15 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
15.1	932 ohm-m	2.8 m	8.4 - 11.3 m
15.2	1221 ohm-m	3.2 m	16.8 - 20 m

Tabla 7.1.15. Anomalía y resistividad de sondeo 15

SEV 16

SEV	X	Y	Z
SEV 16	13.14	43	30.00

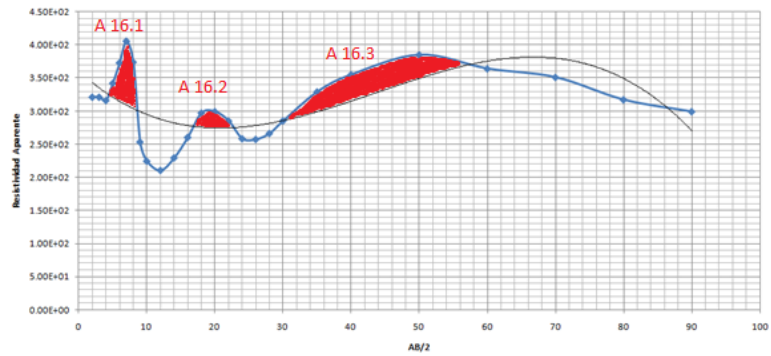


Figura 7.1.16. Curva de resistividad del sondeo 16 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
16.1	1264 ohm-m	1.2 m	2 -3.2 m
16.2	853.2 ohm-m	2.4 m	8.9 - 11.4 m
16.3	8564 ohm-m	3.3 m	17.1 - 20.5 m

Tabla 7.1.16. Anomalía y resistividad de sondeo 16

SEV 17

SEV	X	Y	Z
SEV 17	47.37	59	39.00

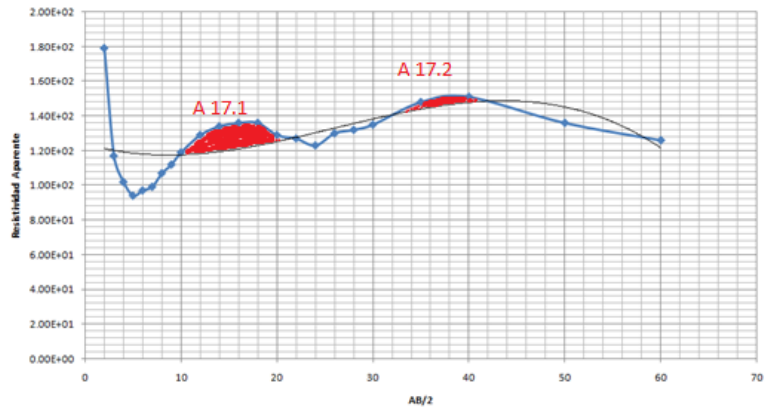


Figura 7.1.17. Curva de resistividad del sondeo 17 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
17.1	368 ohm-m	5.5 m	8.5 – 14 m
17.2	1369 ohm-m	7.5 m	29.5 – 37 m

Tabla 7.1.17. Anomalía y resistividad de sondeo 17

SEV 18

SEV	X	Y	Z
SEV 18	30.96	59	38.50

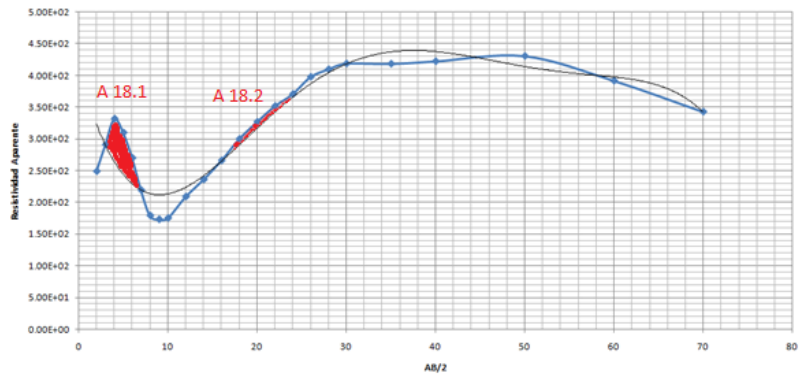


Figura 7.1.18. Curva de resistividad del sondeo 18 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
18.1	1245 ohm-m	1 m	1.5 -2.5 m
18.2	4901 ohm-m	12.6 m	15.4 – 28 m

Tabla 7.1.18. Anomalía y resistividad de sondeo 18

SEV 19

SEV	X	Y	Z
SEV 19	28.06	85	48.50

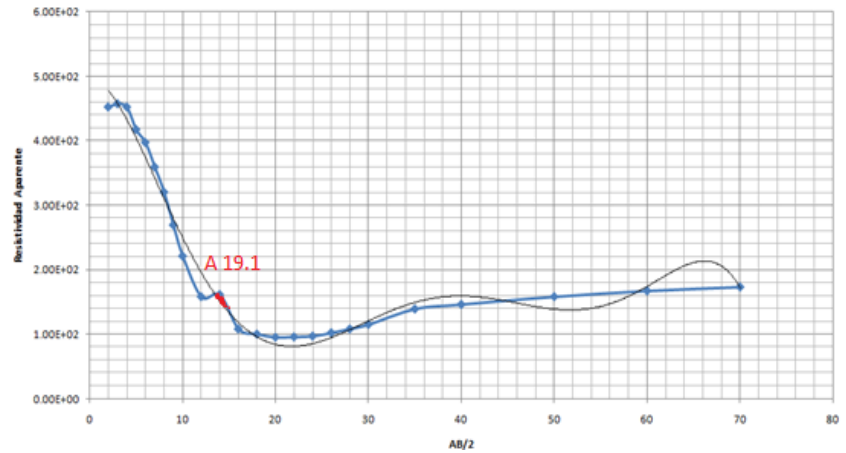


Figura 7.1.19. Curva de resistividad del sondeo 19 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
19.1	525.3 ohm-m	2.6 m	5 - 7.6 m

Tabla 7.1.19. Anomalía y resistividad de sondeo 19

SEV 20

SEV	X	Y	Z
SEV 20	47.37	85	47.00

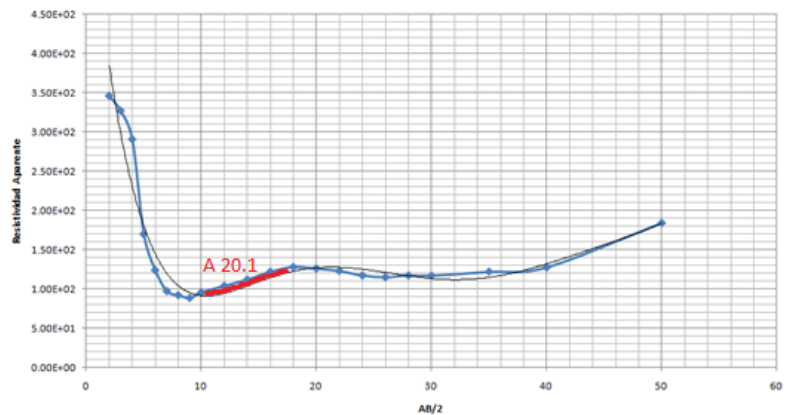


Figura 7.1.20. Curva de resistividad del sondeo 20 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
20.1	563.4 ohm-m	2.4 m	6.4 - 8.8 m

Tabla 7.1.20. Anomalía y resistividad de sondeo 20

SEV 21

SEV	X	Y	Z
SEV 21	59.06	96	50.00

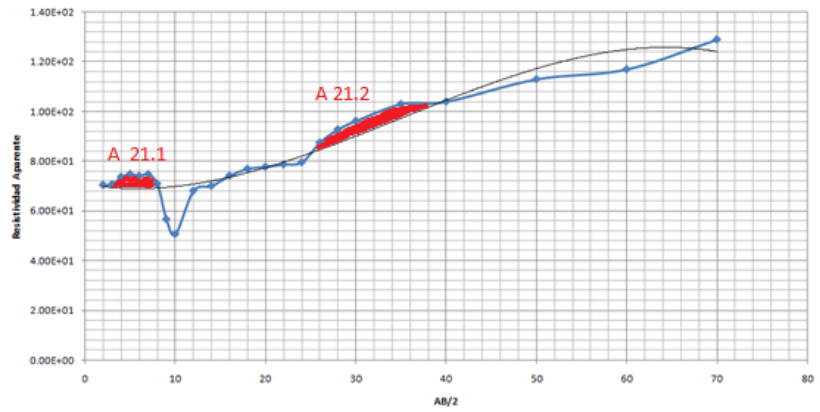


Figura 7.1.21. Curva de resistividad del sondeo 21 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
21.1	142 ohm-m	1.4 m	2 - 3.4 m
21.2	1301 ohm-m	4.99 m	14.5 - 19.5 m

Tabla 7.1.21. Anomalía y resistividad de sondeo 21

SEV 22

SEV	X	Y	Z
SEV 22	44.36	118	49.50

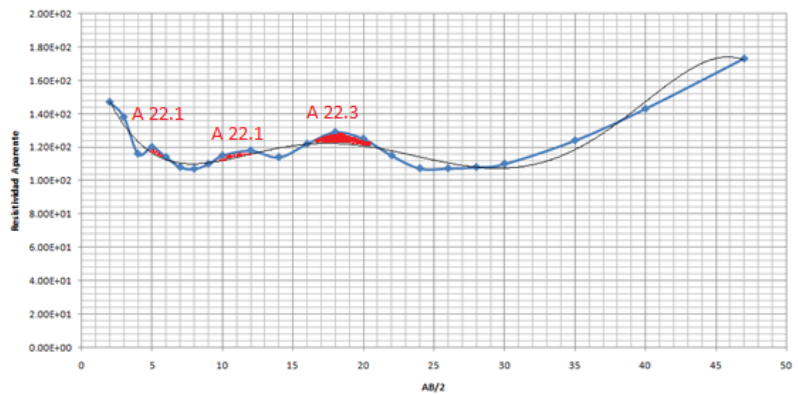


Figura 7.1.22. Curva de resistividad del sondeo 22 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
22.1	183 ohm-m	0.9 m	1.8 - 2.8 m
22.2	334.4 ohm-m	1.9 m	5 - 6.9 m
22.3	413 ohm-m	4 m	8 - 12 m

Tabla 7.1.22. Anomalía y resistividad de sondeo 22

SEV 23

SEV	X	Y	Z
SEV 23	28.06	148	48.50

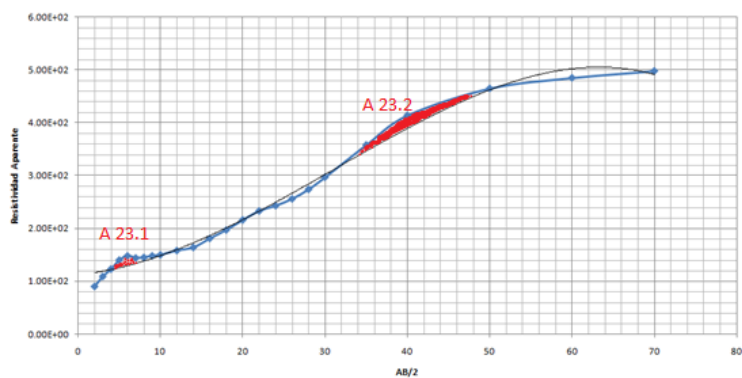


Figura 7.1.23. Curva de resistividad del sondeo 23 (anomalías color rojo)

Anomalía	resistividad	espesor	profundidad
23.1	242 ohm-m	4.8 m	2.2 – 7 m
23.2	43000 ohm-m	5.3 m	35.3 - 40.6 m

Tabla 7.1.23. Anomalía y resistividad de sondeo 23

## 7.2. CÁLCULO DE RESERVAS

### 7.2.1. CÁLCULO DE ÁREA, VOLUMEN Y TONELAJE

La selección de las anomalías de las 23 curvas de resistividad aparente, aplicándoles una línea de tendencia tipo polinomial, se encontraron 3 anomalías en los sev 1, 2, 9, 11, 16 y 22. Dichas anomalías fueron calculadas sus áreas en AUTOCAD.

Los cuerpos se obtuvieron interpolando las profundidades de las anomalías en la que se encontraron 4 niveles de profundidad, en primer nivel se encuentra a una profundidad en promedio de 5 m, el segundo nivel a 10 m en promedio, el tercer nivel se encuentra a una profundidad de 15 m y el cuarto nivel a una profundidad de 25 m donde se obtuvieron los distintos cuerpos.

Se encontraron un total de 11 cuerpos distribuidos en los 7 perfiles y a diferentes profundidades por lo que se decidió dividirlos con respecto a su profundidad donde a una profundidad de 5 metros en promedio se encontraron 4 cuerpos, a la profundidad de 10 metros en promedio se encontraron 3 cuerpos, a una profundidad de 15 metros se encontraron 2 cuerpos y a una profundidad de 25 metros se encontraron 2 cuerpos.

El cálculo volumetrico se obtuvo de igual manera que el método anterior con el método de perfiles, se dividieron en 4 zonas de profundidad en cuales fueron calculadas el volumen con respecto a su profundidad. El volumen de mayor dimensión es el cuerpo C4.1 que se encuentra entre los SEVs 1, 2, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 15, 16 y 18, y de un volumen  $3312.84 \text{ m}^3$  y el cuerpo de menor dimensión es de  $66.17 \text{ m}^3$  y es el cuerpo C1.2 y se encuentra entre los SEVs 8 y 9.

Despues de calcularse el volumen de los cuerpos se les restó el 70% de roca esteril, para obterter el volumen de la zona mineralizada de cada uno de los cuerpos para despues calcular el tonoleje de los cuerpos con la ecuación de densidad para cada uno de los cuerpos, suman los tonelajes de cada cuerpo obtenemos el tonelaje total.

A continuacion se muestran los mapas de los cuerpos y su calculó de volumen y tonelaje.

### 7.2.1.1 CÁLCULO DE ÁREAS

El cálculo de áreas se realizó en AUTOCAD para poder tener datos más confiables que al calcular las áreas manualmente con figuras geométricas sencillas.

A1= 46.86 m <sup>2</sup>	A14=20.26 m <sup>2</sup>
A2= 13 m <sup>2</sup>	A15=50.35 m <sup>2</sup>
A3= 26.47 m <sup>2</sup>	A16= 90 m <sup>2</sup>
A4= 4.2 m <sup>2</sup>	A17=20.26 m <sup>2</sup>
A5= 3.5 m <sup>2</sup>	A18=18.8 m <sup>2</sup>
A6= 184 m <sup>2</sup>	A19=13.3 m <sup>2</sup>
A7=78.88 m <sup>2</sup>	A20=6.9 m <sup>2</sup>
A8= 38.81 m <sup>2</sup>	A21=140 m <sup>2</sup>
A9= 13.22 m <sup>2</sup>	A22=56.8 m <sup>2</sup>
A10=78.11 m <sup>2</sup>	A23=16.8 m <sup>2</sup>
A11=78.56 m <sup>2</sup>	A24=113.8 m <sup>2</sup>
A12=48.27 m <sup>2</sup>	A25=32.2 m <sup>2</sup>
A13=14 m <sup>2</sup>	A26= 119 m <sup>2</sup>

Tabla 7.2.1.1. Áreas de anomalías

### 7.2.1.2 CÁLCULO DE VOLUMEN Y TONELAJE

El cálculo de reservas se realizó con el método de perfiles donde podemos establecer el volumen del mineral a través de perfiles. Se dividieron en cuatro niveles de profundidad para determinar el volumen de los cuerpos.

#### VOLUMEN Y TONELAJE DE LOS CUERPOS DEL NIVEL 1

El nivel 1 se encuentra a una profundidad de 5 metros en promedio donde se localizaron cuatro cuerpos C1.1, C1.2, C1.3 y C1.4.



Figura 7.2.1.2. Mapa de cuerpos de nivel 1 (color rojo)

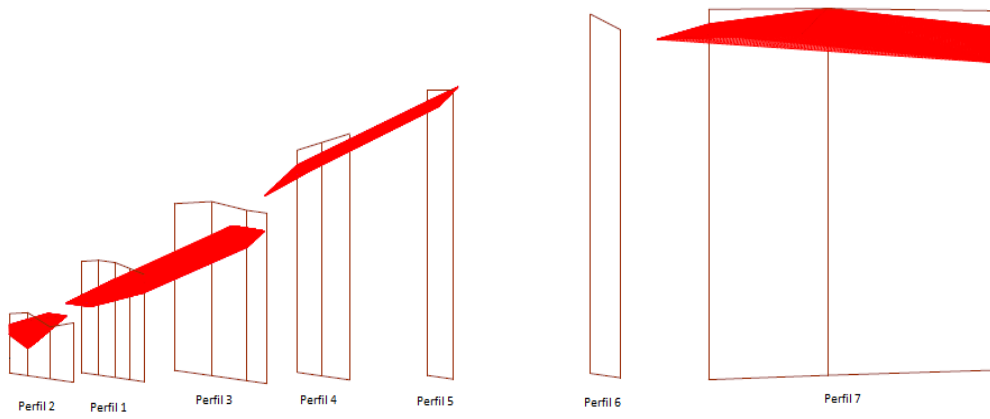


Figura 7.2.1.3. Mapa de cuerpos de nivel 1 en 3D (color rojo)

### Cuerpo C1.2

El cálculo del volumen del cuerpo C1.2 se utilizó la ecuación de cuña para la anomalía A3.

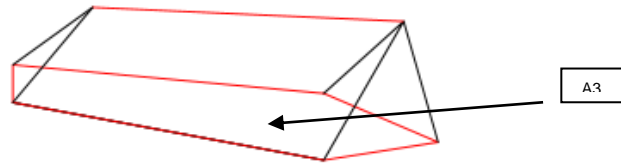


Figura 7.2.1.4. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)

### Cuerpo C1.1

Para el cálculo del volumen del cuerpo C1.1 se ocuparán dos ecuaciones. Para el primer cálculo se utilizó la ecuación del tronco de pirámide ya que la diferencia entre las anomalías A1 y A2 supera el 40% , y para el segundo cálculo se ocupó la ecuación de la cuña para A1.

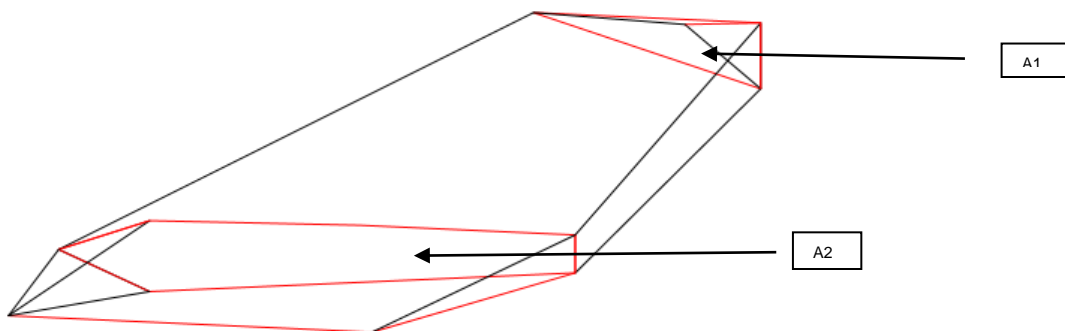


Figura 7.2.1.5. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)

### Cuerpo C1.3

Para el cálculo de volumen del cuerpo C1.3 se ocuparon 2 ecuaciones para el cual el primer cálculo se ocupó la ecuación del trapecoide ya que la diferencia de las anomalías de A4 y A5 no superaba el 40% , para el segundo cálculo se ocupó la ecuación de la cuña para la anomalía A5.

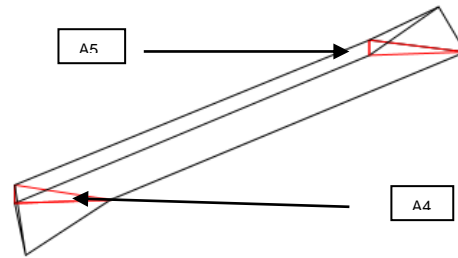


Figura 7.2.1.6. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)

### Cuerpo C1.4

Para el cálculo del volumen del cuerpo C1.4 se necesitó de la ecuación de la cuña para la anomalía A6.

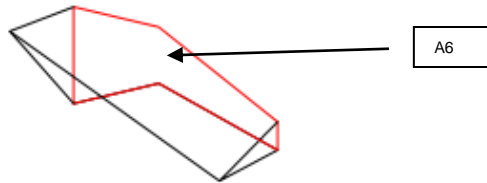


Figura 7.2.1.7. Perfiles de cuerpo C3 (color rojo)

A continuación se muestra la tabla de cálculos de los cuerpos del nivel 1

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Ecuacion	CVP	CVC	VTC
A1(1.1,2.1,3.1)= 46.86 m <sup>2</sup>	11 m	100%	72.25%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	309.98 m <sup>3</sup>	117.15 m <sup>3</sup>	VC1.1 = 459.63 m <sup>3</sup>
A2(11.1)= 13 m <sup>2</sup>		27.74%			$V = \frac{d}{2}(S_1 \cdot d)$		32.5 m <sup>3</sup>	
A3(8.1,9.1)= 26.47 m <sup>2</sup>	5 m				$V = \frac{d}{2}(S_1 \cdot d)$		66.17 m <sup>3</sup>	VC1.2 = 66.17 m <sup>3</sup>
A4(16.1)= 4.2 m <sup>2</sup>	16 m	100%	16.66%	Ax - Ay ≤ 40 %	$V = d \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right)$	61.6 m <sup>3</sup>	10.5 m <sup>3</sup>	VC1.3=80. 85 m <sup>3</sup>
A5(18.1)= 3.5 m <sup>2</sup>		83.33%			$V = \frac{d}{2}(S_1 \cdot d)$		8.75 m <sup>3</sup>	
A6(21.1,22.1,23.1)= 184 m <sup>2</sup>	5 m				$V = \frac{d}{2}(S_1 \cdot d)$		460 m <sup>3</sup>	VC1.4= 460 m <sup>3</sup>

Tabla 7.2.1.1. Cálculo volumen de cuerpos nivel 1

Obtenidos los volúmenes de los cuerpos C1.1, C1.2, C1.3 y C1.4, se restara el 70% del volumen de los cuerpos ya que corresponde a roca estéril, por lo cual se le obtendrá el tonelaje para cada cuerpo.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C1.1	459.63 m <sup>3</sup>	137.889 m <sup>3</sup>	565.3449
C1.2	66.17 m <sup>3</sup>	19.851 m <sup>3</sup>	81.3891
C1.3	80.85 m <sup>3</sup>	24.255 m <sup>3</sup>	99.4455
C1.4	460 m <sup>3</sup>	138 m <sup>3</sup>	565.8

Tabla 7.2.1.1.1. Tonelaje de cuerpos nivel 1

## VOLUMEN Y TONELAJE DE LOS CUERPOS DEL NIVEL 2

Se encuentra a una profundidad promedio de 10 metros, donde se encontraron 3 cuerpos C2.1, C2.2 y C2.3.

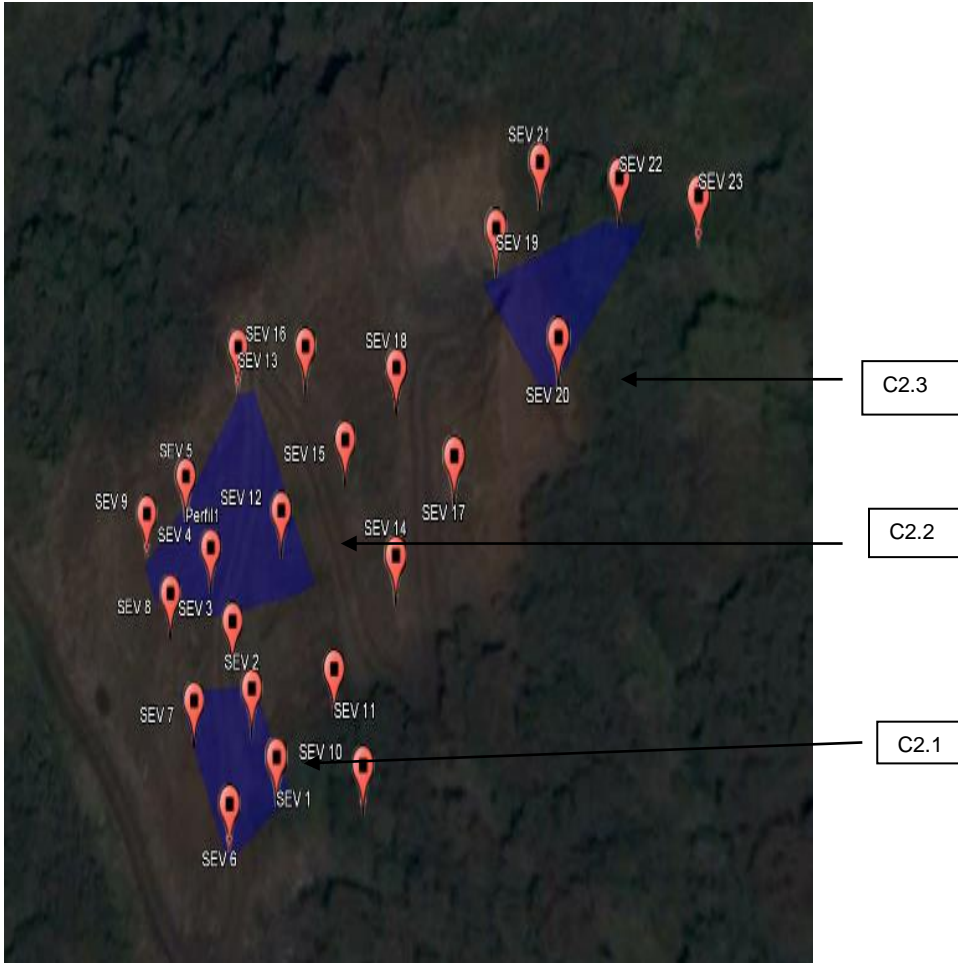


Figura 7.2.1.8. Mapa de cuerpos de nivel 2 (color azul)

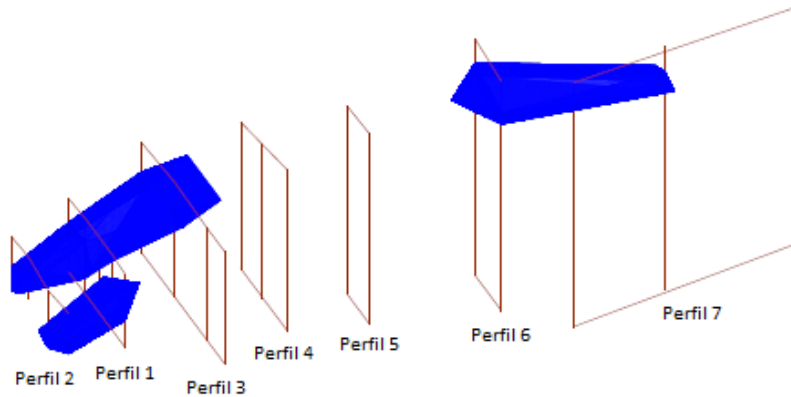


Figura 7.2.1.9. Mapa de cuerpos de nivel 2 en 3D (color azul)

### Cuerpo C2.2

Para el cálculo de volumen del cuerpo C2.2 se ocuparon las tres ecuaciones. Para el primer cálculo entre las anomalías A9 y A10 se ocupó la ecuación de tronco de pirámide por que la diferencia entre las áreas superaba el 40%. El segundo cálculo entre las anomalías A10 y A11 se ocupó la ecuación de trapezoide ya que no superaban el 40% entre las áreas. Y el tercer cálculo se realizó con la ecuación de la cuña para la anomalía A11.

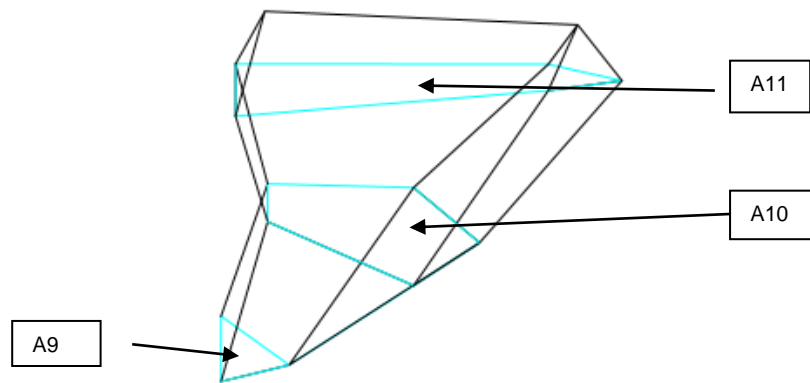


Figura 7.2.1.10. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)

### Cuerpo C2.1

El cálculo del volumen del cuerpo C2.1 se ocupó dos ecuaciones. El primer cálculo se ocupó la ecuación de tronco de pirámide ya que las anomalías A8 y A7 superaban el 40%. El segundo cálculo se ocupó la ecuación de cuña para la anomalía A8

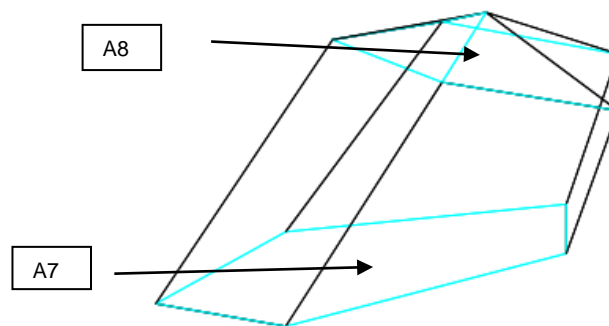


Figura 7.2.1.11. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)

### Cuerpo C2.3

Para el cálculo de volumen del cuerpo C2.3 se ocuparon dos ecuaciones. El primer cálculo de las anomalías A12 y A13 superaron el 40% en la diferencias de áreas, por lo que se ocupó la ecuación de tronco de pirámide. El segundo cálculo para la anomalía A13 se ocupó la ecuación de la cuña.

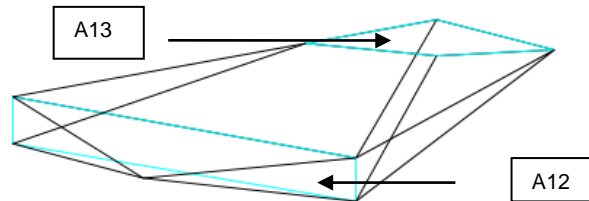


Figura 7.2.1.12. Perfiles de cuerpo C3 (color azul)

A continuación se muestra la tabla de cálculos de los cuerpos del nivel 1

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Ecuacion	CVP	CVC	VTC
A7(6.1,7.1)=78.88 m <sup>2</sup>	11 m	100%	50.79%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	634.4 m <sup>3</sup>		C2.1= 731.42 m <sup>3</sup>
A8(1.2,2.2)= 38.81 m <sup>2</sup>		49.20%			$V = \frac{1}{2}(S_b \cdot d)$		97.05 m <sup>3</sup>	
A9(9.2)= 13.22 m <sup>2</sup>	11 m	16.92%	83.07%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	452.7 m <sup>3</sup>		C2.2= 1902.46 m <sup>3</sup>
A10(4.1,5.1)=78.11 m <sup>2</sup>	16 m	99.42%	0.57%	Ax - Ay ≤ 40 %	$V = d(\frac{S_1 + S_2}{2})$	1253.36 m <sup>3</sup>		
A11(12.1,13.1)=78.56 m <sup>2</sup>		100%			$V = \frac{1}{2}(S_b \cdot d)$		196.4 m <sup>3</sup>	
A12(19.1,20.1)=48.27 m <sup>2</sup>	33 m	100%	71%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	970.92 m <sup>3</sup>		C2.3= 1091.59 m <sup>3</sup>
A13(22.2)=14 m <sup>2</sup>		29%			$V = \frac{1}{2}(S_b \cdot d)$		120.67 m <sup>3</sup>	

Tabla 7.2.1.2. Cálculo volumen de cuerpos de nivel 2

Obtenidos los volúmenes de los cuerpos C2.1, C2.2 y C2.3, se restara el 70% del volumen de los cuerpos ya que corresponde a roca estéril, por lo cual se obtendrá el tonelaje para cada cuerpo.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C3.1	101.3 m <sup>3</sup>	30.39 m <sup>3</sup>	124.599
C3.2	2096.3 m <sup>3</sup>	628.89 m <sup>3</sup>	2578.449

Tabla 7.2.1.2.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 2

### VOLUMEN Y TONELAJE DE LOS CUERPOS DEL NIVEL 3

El nivel 1 se encuentra profundidad de 15 metros en promedio donde se localizaron cuatro cuerpos C3.1 y C3.2



Figura 7.2.1.13. Mapa de cuerpos de nivel 3 (color amarillo)

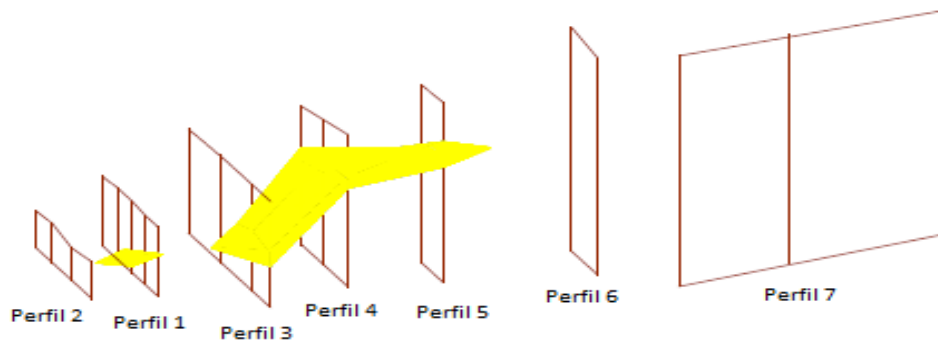


Figura 7.2.1.14. Mapa de cuerpos de nivel 3 en 3D (color amarillo)

### Cuerpo C3.1

El cálculo del volumen del cuerpo C3.1 se calculó por la ecuación de cuña para la anomalía A14, se aplicó dos veces ya que se tiene una sola anomalía.

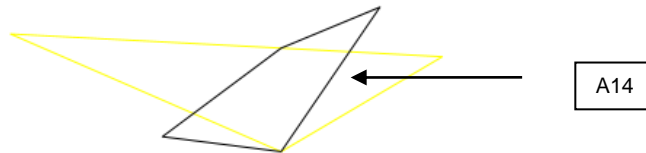


Figura 7.2.1.15. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)

### Cuerpo C3.2

Para el cálculo de volumen del cuerpo 3 se ocuparon dos ecuaciones. Para las anomalías (A15 y A16) y (A16 y A17) se ocupó la ecuación de tronco de pirámide ya que la diferencia entre las áreas superaban el 40%. Y para las anomalías (A15) y (A17) se ocuparon la ecuación de la cuña respectivamente.

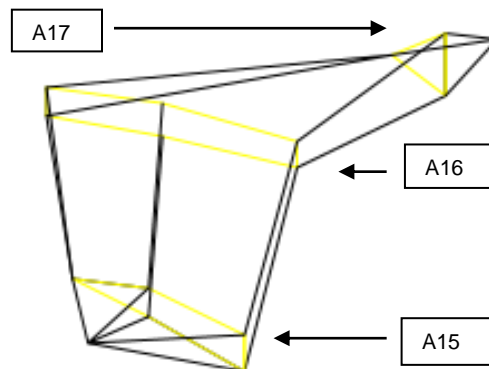


Figura 7.2.1.16. Perfiles de cuerpo C3 (color amarillo)

A continuación se muestra la tabla de cálculos de los cuerpos del nivel 1

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Ecuacion	CVP	CVC	VTC
A14(17.1)=20.26 m <sup>2</sup>	5 m				$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2)$		50.65 m <sup>3</sup>	C3.1= 101.3 m <sup>3</sup>
					$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2)$		50.65 m <sup>3</sup>	
A15(10.2,11.2)=50.35 m <sup>2</sup>	16 m	55.94%	44.05%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$	1107.55 m <sup>3</sup>		
A16(14.1,15.1,16.2)= 90 m <sup>2</sup>		100%			$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2)$		125.87 m <sup>3</sup>	C3.2= 2096.3 m <sup>3</sup>
A17(17.1)=20.26 m <sup>2</sup>	16 m	100%	77.77%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \times S_2})$	812.94 m <sup>3</sup>		
		22.22%			$V = \frac{d}{2}(S_1 + S_2)$		50 m <sup>3</sup>	

Tabla 7.2.1.3. Cálculo volumen de cuerpos de nivel 3

Obtenidos los volúmenes de los cuerpos C3.1 y C3.2, se restará el 70% del volumen de los cuerpos ya que corresponde a roca estéril, por lo cual se obtendrá el tonelaje para cada cuerpo.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C3.1	101.3 m <sup>3</sup>	30.39 m <sup>3</sup>	124.599
C3.2	2096.3 m <sup>3</sup>	628.89 m <sup>3</sup>	2578.449

Tabla 7.2.1.3.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 3

## VOLUMEN Y TONELAJE DE CUERPOS DEL NIVEL 4

Se encuentra a una profundidad de 25 metros en promedio, se encontraron 2 cuerpos C4.1 y C4.2.



Figura 7.2.1.17. Mapa de cuerpos de nivel 4 (color verde)

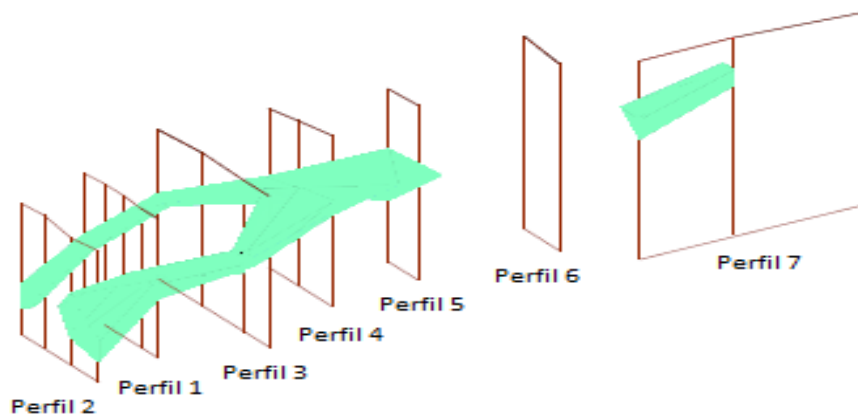


Figura 7.2.1.18. Mapa de cuerpos de nivel 4 en 3D (color verde)

### Cuerpo C4.1

Para el cálculo del volumen del cuerpo C4.1 se ocuparon las tres ecuaciones en la que la ecuación de tronco de pirámide se ocuparon para el volumen entre las anomalías (A19 y A20), (A21 y A22), (A22 y A23) y (A24 y A25) ya que dichas anomalías superaban el 40 % entre sus áreas. Para las anomalías A18 y A19 se ocupó la ecuación del trapezoide ya que las anomalías no superaban el 40% de diferencias entre las áreas. Y la ecuación de la cuña se ocupó para las anomalías (A20) y (A23) respectivamente.

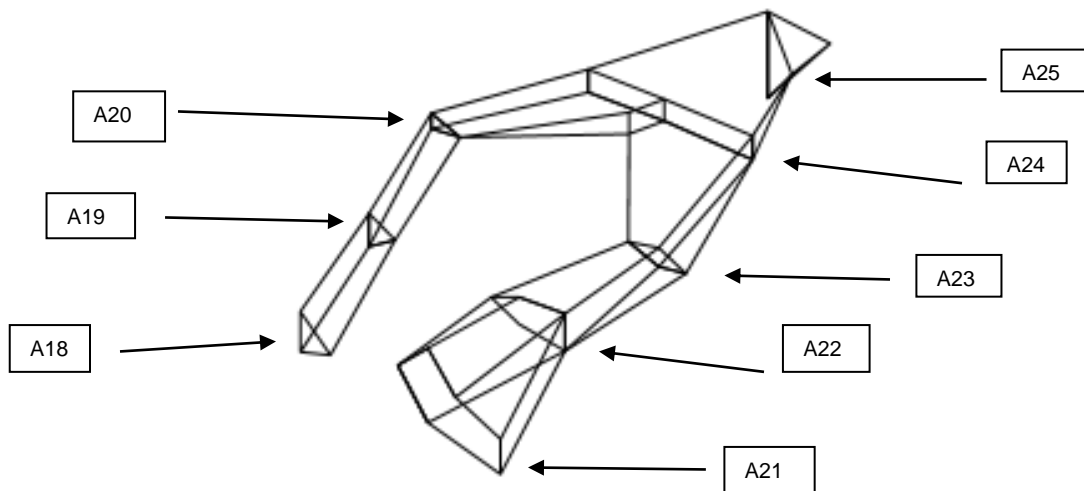


Figura 7.2.1.19. Perfiles de cuerpo C3 (color verde)

### Cuerpo C4.2

El cálculo del volumen del cuerpo C4.2 se obtuvo con la ecuación de la cuña para la anomalía A26.

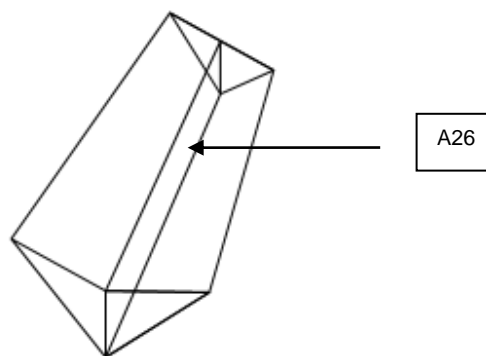


Figura 7.2.1.20. Perfiles de cuerpo C3 (color verde)

A continuación se muestra la tabla de cálculos de los cuerpos del nivel 1

A Perfiles	Distancia	Porcentaje	D Porcentaje	P Ecuacion	Ecuacion	CVP	CVC	VTC
A18(9.3)=18.8 m <sup>2</sup>	11 m	100%	29.25%	Ax - Ay ≤ 40 %	$V = d \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right)$	176.55 m <sup>3</sup>		C4.1= 3312.84 m <sup>3</sup>
		70.74%						
A19(5.2)=13.3 m <sup>2</sup>								
	16 m	100%	48.13%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	158.82 m <sup>3</sup>		
A20(13.2)=6.9 m <sup>2</sup>		51.87%			$V = \frac{d}{2} (S_1 \cdot d)$		55.2 m <sup>3</sup>	
A21(6.1,7.2)=140 m <sup>2</sup>	11 m	100%	59.42%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	1048.57 m <sup>3</sup>		
		40.57%						
A22(1.3,2.3)=56.8 m <sup>2</sup>								
	16 m	100%	70.42%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	557.28 m <sup>3</sup>		
A23(11.3)=16.8 m <sup>2</sup>		29.57%			$V = \frac{d}{2} (S_1 \cdot d)$		134.4 m <sup>3</sup>	
A24(14.2,15.2,16.3)=113.8 m <sup>2</sup>	16 m	100%	71.70%	Ax - Ay ≥ 40 %	$V = \frac{d}{3} (S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$	1101.51 m <sup>3</sup>		
A25(18.2)=32.2 m <sup>2</sup>		28.29%			$V = \frac{d}{2} (S_1 \cdot d)$		80.5 m <sup>3</sup>	
A26(21.2,22.3)= 119 m <sup>2</sup>	5 m				$V = \frac{d}{2} (S_1 \cdot d)$			C4.2= 297.5 m <sup>3</sup>

Tabla 7.2.1.4. Cálculo de volumen de cuerpos de nivel 4

Obtenidos los volúmenes de los cuerpos C4.1 y C4.2, se restara el 70% del volumen de los cuerpos ya que corresponde a roca estéril, por lo que se obtendrá el tonelaje para cada cuerpo.

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
C4.1	3312.84 m <sup>3</sup>	993.852 m <sup>3</sup>	4074.7932
C4.2	297.5 m <sup>3</sup>	89.25 m <sup>3</sup>	365.925

Tabla 7.2.1.4.1. Tonelaje de cuerpos de nivel 4

El volumen de la zona mineralizada de mayor dimensión es de 993.852 m<sup>3</sup> perteneciente al cuerpo C1, se encuentra a una profundidad de 25 metros en promedio, el tonelaje del cuerpo C1 es de 4074.79. Mientras que el volumen total de la zona mineralizada es de 3180.18 m<sup>3</sup> y el tonelaje total es de 13038.07 toneladas.

$$V_t = VC1 + VC2 + VC3$$

$$T_t = T1 + T2 + T3$$

Cuerpo	Volumen	VZm	Tonelaje
VC1.1	459.63 m <sup>3</sup>	137.889 m <sup>3</sup>	565.3449
VC1.2	66.17 m <sup>3</sup>	19.851 m <sup>3</sup>	81.3891
VC1.3	80.85 m <sup>3</sup>	24.255 m <sup>3</sup>	99.4455
VC1.4	460 m <sup>3</sup>	138 m <sup>3</sup>	565.8
C2.1	731.42 m <sup>3</sup>	219.426 m <sup>3</sup>	899.6466
C2.2	1902.46 m <sup>3</sup>	570.738 m <sup>3</sup>	2340.0258
C2.3	1091.59 m <sup>3</sup>	327.477 m <sup>3</sup>	1342.6557
C3.1	101.3 m <sup>3</sup>	30.39 m <sup>3</sup>	124.599
C3.2	2096.3 m <sup>3</sup>	628.89 m <sup>3</sup>	2578.449
C4.1	3312.84 m <sup>3</sup>	993.852 m <sup>3</sup>	4074.7932
C4.2	297.5 m <sup>3</sup>	89.25 m <sup>3</sup>	365.925

Tabla 7.2.1.5. Tonelaje total de los cuerpos de los 4 niveles

VT =10600.06      VZm= 3180.018      TT= 13038.0738

TTV= 43460.246

## CAPITULO VIII

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 8.1. CONCLUSIONES

Con el Método 1 para la generación de cuerpos, se obtuvo un volumen de la zona mineralizada de 1051.72 m<sup>3</sup> y un tonelaje de 4312.011, mientras que para el Método 2 se obtuvo un volumen de la zona mineralizada de 3180.018 m<sup>3</sup> y un tonelaje de 13038.0738.

Dicha diferencia depende de la interpretación de la curva del Método 1 ya que se determinan menos zonas de posible mineralización. Por lo anterior se recomienda realizar un mayor número de medidas en campo, esto permitirá evitar enmascarar zonas de posible mineralización en capas de gran espesor y, por tanto, se evitará variaciones tan grandes tanto en el cálculo de volumen como en el de tonelaje.

El método 2 tiende a seleccionar automáticamente las anomalías a diferencia del Método 1, ya que el grado del polinomio de la línea de tendencia tiende a seleccionar mayor número de anomalías de zonas de posible mineralización por lo que depende del tipo de curva de resistividad que se tenga. Se podría aumentar el grado del polinomio de la línea de tendencia para poder seleccionar menor número de anomalías asociadas a la zona mineralizada (barita), así como anular anomalías de dimensiones grandes debido a la geología del mineral que no se encuentra en espesores de grandes dimensiones si no en pequeñas venas de estratos.

## 8.2. RECOMENDACIONES

- Aumentar el número de SEVs para el prospecto, principalmente paralelos a los perfiles 6 y 7.
- Realizar Sondeos en zonas donde se encuentre afloramiento de barita.
- Realizar barrenación entre los perfiles 1, 2 y 3 ya que se localizaron el mayor número de cuerpos mineralizados.
- Realizar los SEVs lo más cercanos que se puedan para el cálculo de volumen con el método de perfiles.
- Realizar un mayor número de medidas en campo para Método 1
- Ajustar la línea de tendencia en el Método 2

### 8.3. BIBLIOGRAFIA

<http://www.prodexa.com.mx/barita.htm>

<http://nextbar.net/tecnica/HTE023%20BARITA.pdf>

<http://www2.uned.es/cristamine/fichas/baritina/baritina.htm>

<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/produccion-minera/barita.html>

[http://www.cirisco.com/chico\\_espanol.pdf](http://www.cirisco.com/chico_espanol.pdf)

<http://max-schwarz.blogspot.mx/2012/10/recursos-y-reservas-mineras-bajo-el.html>

<http://www.redalyc.org/pdf/2235/223516052004.pdf>

<https://support.office.com/es-es/article/Elegir-la-mejor-l%C3%ADnea-de-tendencia-para-los-datos-1bb3c9e7-0280-45b5-9ab0-d0c93161daa8>

<https://www.camimex.org.mx/index.php/secciones1/sala-de-prensa/uso-de-los-metales/barita/>

[https://www.caixabank.com/deployedfiles/caixabank/Estaticos/PDFs/Aprenda\\_con\\_caixabank/Manual\\_Analisis\\_Tecnico\\_w.pdf](https://www.caixabank.com/deployedfiles/caixabank/Estaticos/PDFs/Aprenda_con_caixabank/Manual_Analisis_Tecnico_w.pdf)

Caracterización geoelectrico del subsuelo para exploración de aguas subterráneas al norte de Cojedes

<http://www.scintrextld.com/electrical.html>

(<http://www.geol.msu.ru/deps/geophys/ipi2win.htm>)