

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Carmen González L.

Profesores Comisión: Ricardo Riveros V.

Sergio Quijada V.

**VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL
MÉTODO DE RESISTIVIDAD
ELÉCTRICA PARA EL USO
COMPLEMENTARIO AL ENSAYO SPT.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para optar al título de Ingeniero Civil

YARITZA MALENY ABELLO CAMPOS

CONCEPCIÓN, ENERO DEL 2018

DEDICATORIA

Yaritza Abello Campos.

*“Dedicado especialmente a Dios y a mis padres,
hermanos, sobrino, primas, tíos, pololo, amigos y
profesores, por haberme apoyado en todo
momento y ser partícipes de este sueño, de ser
una profesional....”*

NOMENCLATURA

SEV: Sondeo Eléctrico Vertical

ρ : Resistividad Eléctrica ($\text{ohm}\cdot\text{m}$)

ρ_a : Resistividad Eléctrica Aparente ($\text{ohm}\cdot\text{m}$)

σ : Conductividad eléctrica ($\text{siemens}\cdot\text{m}$)

A y B: Electrodo de corriente

M y N: Electrodo de potencial

ΔV : Diferencia de potencial eléctrico (voltios)

R: Resistencia (ohm)

I: Corriente que fluye entre electrodos exteriores (amperios)

K: Coeficiente Geométrico (m)

SPT: Ensayo de Penetración Estándar.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE TÍTULO	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	<i>3</i>
1.2.2 <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>
2 MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	4
2.2 MÉTODO DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA	4
2.2.1 <i>Resistividad eléctrica.....</i>	<i>5</i>
2.2.2 <i>Resistividad de algunos materiales del subsuelo</i>	<i>6</i>
2.2.3 <i>Factores que influyen en la resistividad de los suelos</i>	<i>8</i>
2.2.4 <i>Distribución de corriente eléctrica</i>	<i>8</i>
2.2.5 <i>Resistividad aparente</i>	<i>11</i>
2.3 SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV).....	12
2.3.1 <i>Configuración Schlumberger.....</i>	<i>13</i>
2.3.2 <i>Profundidad de investigación</i>	<i>14</i>
2.3.3 <i>Curva de Resistividad Aparente.....</i>	<i>15</i>
2.4 INTERPRETACIÓN	15
2.4.1 <i>Interpretación cuantitativa: Software Ipi2win.....</i>	<i>16</i>
2.4.2 <i>Interpretación Cualitativa</i>	<i>16</i>
2.5 ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	17
2.5.1 <i>Descripción del ensayo SPT</i>	<i>17</i>
2.6 CORRELACIONES EXISTENTES ENTRE RESISTIVIDAD E ÍNDICE DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR.....	18
3 METODOLOGÍA	19
3.1 REVISIÓN Y RECOPIACIÓN BIBLIOGRÁFICA	19
3.2 ADQUISICIÓN Y LOCALIZACIÓN SEV Y SPT	19
3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE SOFTWARE IPI2WIN	20
3.3.1 <i>Obtención curva de campo</i>	<i>20</i>
3.3.2 <i>Obtención modelo del subsuelo y corte geoeléctrico.....</i>	<i>20</i>
3.4 OBTENCIÓN PERFIL ESTRATIGRÁFICO RESISTIVO	21
3.5 APLICACIÓN DE CORRELACIONES EXISTENTES.....	21
3.6 COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS	22
3.7 COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS	22
4 RESULTADOS Y ANALISIS.....	22
4.1 CURVAS DE CAMPO.....	22
4.2 MODELO REAL DEL SUBSUELO.....	23
4.3 CORTE GEOELÉCTRICO.....	24
4.3.1 <i>Valores de resistividad real</i>	<i>25</i>
4.3.2 <i>Espesores</i>	<i>25</i>
4.3.3 <i>Cantidad de estratos.....</i>	<i>25</i>
4.4 PROFUNDIDAD DE INVESTIGACIÓN	25
4.5 INTERPRETACIÓN CUALITATIVA	26
4.6 COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍA	27
4.6.1 <i>Comparación tipo de suelo</i>	<i>27</i>

4.6.2	Comparación de espesores	29
4.6.3	Comparación de Nivel freático	29
4.7	COMPARACIÓN DE RESISTENCIA DE SUELOS.....	30
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	31
5.1	CONCLUSIONES.....	31
5.2	RECOMENDACIONES	33
6	BIBLIOGRAFIA.....	33
7	ANEXOS.....	35
7.1	ANEXO A. PROSPECCIONES GEOELÉCTRICAS	35
7.2	ANEXO B. CURVAS TEÓRICAS.....	35
7.3	ANEXO C. ALGORITMO UTILIZADO POR SOFTWARE IPI2WIN	35
7.4	ANEXO D. INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA	35
7.5	ANEXO E. COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS OBTENIDAS POR SEV Y SPT	35
7.6	ANEXO F. COMPARACIÓN DE RESISTENCIA DE SUELOS OBTENIDOS POR SEV Y SPT.....	35
7.7	ANEXO G. ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)	35
7.8	ANEXO H. ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación gráfica de la Ley de Ohm.	5
Figura 2. Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales (Orellana., 1982).	7
Figura 3. Variación de la resistividad en diferentes tipos de rocas y minerales (Auge, 2008).	7
Figura 4. Flujo de corriente de un electrodo en superficie (Hill., 2002).	9
Figura 5. Posición de electrodos A y B en la circulación de corriente eléctrica.	10
Figura 6. Diferencia de potencial entre dos puntos M y N.	10
Figura 7. Método de resistividad eléctrica: Sondeo Eléctrico Vertical.	12
Figura 8. Representación de las capas horizontales homogéneas e isotrópicas del subsuelo.	13
Figura 9. Configuración tipo Schlumberger (Telford <i>et al.</i> , 1990).	13
Figura 10. Curva de campo obtenida realizando un SEV (Román, 2016).	15
Figura 11. Representación de curvas en el modelo real del subsuelo y corte geoelectrico resultante.	21
Figura 12. Modelos reales del subsuelo con mayor porcentaje de error.	23
Figura 13. Modelos reales del subsuelo con menor porcentaje de error.	24
Figura 14. Modelos reales del subsuelo con mayor ajuste en uno de sus extremos.	24
Figura 15. Profundidades máximas y mínimas para cada ciudad alcanzadas por ambos ensayos.	26
Figura 16. Interpretación cualitativa para los materiales del subsuelo.	26
Figura 17. Resultados de las interpretaciones con respecto al SPT para distintos tipo de suelo... ..	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Correlaciones existentes entre resistividad e índice de penetración estándar.	18
Tabla 2. Adquisición y cantidad de ensayos SEVs y SPT.	19
Tabla 3. Cantidad de ensayos adquiridos por ciudad.	19
Tabla 4. Comparación de los resultados de las interpretaciones con respecto al ensayo SPT.	29

Verificación de la eficacia del método de resistividad eléctrica para el uso complementario al ensayo SPT.

Autor: Yaritza Abello Campos

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío,

yabello@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Carmen Gloria González Labbé

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío,

cgonzal@ubiobio.cl

RESUMEN

La determinación de las características y propiedades del suelo es esencial en el diseño y construcción de cualquier obra civil. En este estudio se ha propuesto investigar el método de resistividad eléctrica más específicamente el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) de configuración Schlumberger, como una herramienta para determinar las características del suelo, considerando que son rápidas, no destructivas y de costo adecuados, en comparación a los métodos convencionales geotécnicos.

Así, en este trabajo se ha realizado un estudio comparativo de estratigrafía y resistencias de suelos obtenidos del método de resistividad eléctrica y del Ensayo de Penetración Estándar (SPT), verificando la eficacia del método propuesto para su uso complementario al ensayo SPT.

Para lograr el propósito planteado se debieron interpretar 30 ensayos resistivos entre ellos de la ciudad de Concepción y sus alrededores para la determinación de estratigrafía, y la aplicación de nueve correlaciones existentes en literatura entre resistividad aparente e índice de penetración estándar para la determinación de resistencia a suelos. Con los resultados obtenidos se procedió a compararlos con los del Ensayo de Penetración Estándar. La eficacia del método propuesto depende de varias propiedades y factores que presenta el subsuelo, entre ellos la humedad, compactación, sales solubles, etc., alterando de forma significativa los valores de resistividad y consecuente a esto, provocando que un valor de resistividad sea interpretado por otro material del subsuelo, y afectando a los resultados de las correlaciones existentes.

Palabras clave: Método de resistividad eléctrica, Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), Ensayo de Penetración Estándar (SPT), perfil estratigráfico, resistencia de suelos.

7.193 (Palabras) + 17*250 (Figuras) + 4*250 (Tablas)= 12.443 palabras

1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta la identificación y justificación del problema y los objetivos planteados.

1.1 Justificación del Proyecto de Título

En la práctica geotécnica, la investigación de terreno es una de las principales preocupaciones de los ingenieros civiles, debido a que soportan el peso de las estructuras, siendo de vital importancia para el diseño y construcción de las obras ingenieriles. Estas investigaciones implican exploración, muestreo y pruebas de investigación de sitio, donde tradicionalmente, se han utilizado métodos geotécnicos como ensayos in situ y de laboratorio en la determinación de las propiedades y características del suelo.

Un claro ejemplo de un ensayo in situ, es el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), donde se presentan inconvenientes al momento de realizar más de una exploración para un proyecto de gran escala, debido a que es un equipo voluminoso y pesado, implicando extensas cargas de trabajo y dificultad en su movilización, y consecuente a esto, provocando aumentos de tiempos de ejecución y de costos económicos en el estudio de un proyecto.

Además, la escala de investigación del SPT no alcanza a representar toda la superficie del subsuelo donde se quiere ejecutar un proyecto ingenieril y la profundidad de exploración no alcanza a superar los primeros 50 metros, por lo que el ingeniero a cargo debe tomar medidas propias en cuanto a una interpretación y extrapolación de resultados.

En este sentido, la ejecución de esta investigación propone el uso de un método geofísico, no destructivo, el método de resistividad eléctrica, como un método de aplicación complementario al Ensayo de Penetración Estándar (SPT) con el propósito de ampliar la información en cuanto a la determinación de estratigrafías y resistencias, y así reduciendo tiempos y costos en la obtención de datos previos a la etapa de diseño de un proyecto de ingeniería civil.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Verificar la eficacia del método de resistividad eléctrica en la determinación de estratigrafía y resistencia a suelos de Concepción y sus alrededores, para su uso complementario al ensayo SPT.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Interpretar ensayos de resistividad para la determinación de estratigrafía a suelos de Concepción y sus alrededores.
- Aplicar correlaciones existentes entre resistividad e índice de penetración estándar para la determinación de resistencia a suelos de Concepción y sus alrededores.
- Comparar resultados obtenidos por método de resistividad con ensayo SPT a suelos de Concepción y sus alrededores.
- Determinar la eficacia y restricciones de aplicación del método de resistividad eléctrica en la investigación geotécnica.

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan los conceptos fundamentales del método de resistividad eléctrica, donde se especifica el Sondeo Eléctrico Vertical de configuración electródico Schlumberger como herramienta para el estudio. Se explican las interpretaciones utilizadas. Se presentan las correlaciones de resistividad aparente e índice de penetración estándar existentes en literatura de diferentes autores y por último, la descripción del ensayo SPT.

2.1 Prospección geofísica

La geofísica es un conjunto de técnicas físicas y matemáticas que estudia las propiedades físicas de los materiales de la corteza terrestre (Orellana, 1982). La prospección geofísica o de exploración, se dedica a realizar mediciones por medio de instrumentos colocados en la superficie terrestre.

Una de las ventajas que nos proporcionan los métodos geofísicos es que son técnicas no invasivas y pueden abarcar amplios volúmenes de investigación, debido a que son rápidos y fáciles de emplear en todo tipo de terreno incluso en zonas montañosas.

Cada método geofísico intenta distinguir o reconocer las formaciones que se encuentran en profundidad mediante algún parámetro físico, como por ejemplo: magnético (susceptibilidad magnética), electromagnéticos (conductividad eléctrica y permeabilidad magnética), sísmico (velocidad de propagación de ondas sísmicas), geoeléctricos (resistividad) y Gravimetría (densidad).

Para los siguientes ítems se abordará el método de resistividad eléctrica, más específicamente el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) de configuración electródico Schlumberger, en el cual se centra la investigación.

2.2 Método de resistividad eléctrica

El método de resistividad eléctrica de corriente continua se fundamenta en el estudio de la propagación de la señal eléctrica en el subsuelo, con el fin de conocer las resistividades eléctricas presentes en el, mediante las medidas de diferencia de potencial generadas por la inyección de una corriente eléctrica efectuadas en la superficie del terreno. Este método presenta dos modalidades de prospecciones geoeléctricas según sea su propósito: Sondeo Eléctrico Vertical

(SEV) y Calicatas Eléctricas (CE). En Anexo A se encuentra una breve descripción de la prospección CE.

En investigación geotécnica el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) puede utilizarse como una importante herramienta para determinar la profundidad del basamento rocoso y del nivel freático, las variaciones en el perfil estratigráfico, estudio de agua subterránea, contaminación, y flujos de fluido (MacGregor *et al.*, 2001). Este método también es empleado para el diseño de sistemas de protección catódica para estructuras enterradas y de puestas a tierra de redes eléctricas.

2.2.1 Resistividad eléctrica

De acuerdo a la Ley de Ohm expresa que la Resistencia (R) que ofrece un conductor homogéneo al flujo de una corriente, ver Figura 1, es directamente proporcional a la diferencia de potencial (ΔV) entre los extremos del material e inversamente proporcional a la intensidad (I) del flujo de corriente. La unidad de medida de la resistencia es el Ohmio, que surge de la siguiente definición:

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Ec. (1)}$$

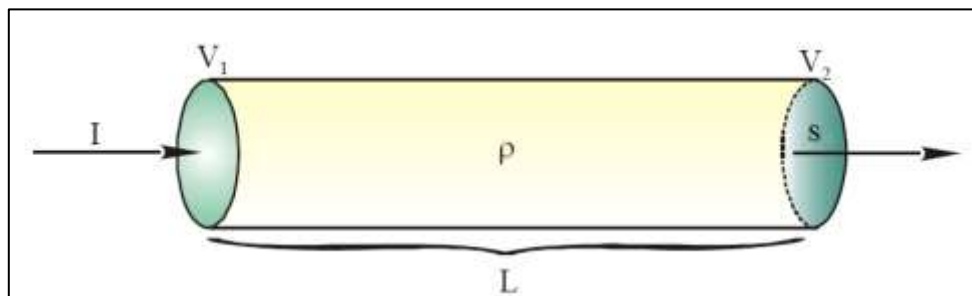


Figura 1. Representación gráfica de la Ley de Ohm.

A su vez la resistencia eléctrica (R) de un conductor rectilíneo y homogéneo es directamente proporcional a su longitud (l) e inversamente proporcional a su sección transversal (s), multiplicada por una constante de proporcionalidad, conocida como resistividad (ρ). Tendremos que la resistencia eléctrica de unidad en sistema internacional es el ohm (Ω), está dada por la relación (Orellana, 1982):

$$R = \rho \frac{l}{s} \quad \text{Ec. (2)}$$

Despejando la resistividad (ρ), cuya unidad de medida en el sistema internacional es el Ohm por metro ($\Omega \cdot m$), se obtiene:

$$\rho = R \frac{S}{l} \quad \text{Ec. (3)}$$

La resistividad eléctrica (ρ) es una propiedad física de un material, que describe su capacidad para resistirse al paso de la corriente eléctrica, la cual depende de la naturaleza y el estado físico del cuerpo considerado.

La magnitud inversa de la resistividad, se denomina conductividad eléctrica, su unidad de medida es el Siemens (S) y se determina por la relación (Orellana, 1982):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \text{Ec. (4)}$$

La conductividad es una medida que representa la capacidad de un cuerpo en permitir el paso de corriente eléctrica a través de él. La conducción eléctrica en los materiales se da como resultado del movimiento de electrones en los geomateriales por efecto de la excitación de la corriente eléctrica y por la conductividad electrolítica por efecto de la cantidad y características de los iones presentes en los fluidos intersticiales.

2.2.2 Resistividad de algunos materiales del subsuelo

La resistividad es una de las propiedades físicas con mayor variabilidad, dado que esta es afectada por una serie de propiedades del suelo, incluyendo la composición química del suelo (contenido de sal soluble en agua), la naturaleza de constituyentes sólidos (distribución de tamaño de partícula, mineralogía), distribución de tamaño de poro, contenido de agua y temperatura (Magnin *et al.*, 2015), lo que altera el valor de la resistividad. Por ello es inapropiado hablar de un valor exacto para un tipo de suelo, sino más bien hablar de un rango de valores.

Los márgenes de variación más usuales para la resistividad de los materiales del subsuelo más importantes se expresan en la figura 2 y figura 3, expuesta por Orellana (1982) para luego ser modificadas en algunos de sus valores, por Auge (2008). Debe entenderse que, en ciertos casos,

la resistividad de algunos materiales del subsuelo puede exceder, por arriba o por abajo, de los límites indicados en las tablas.

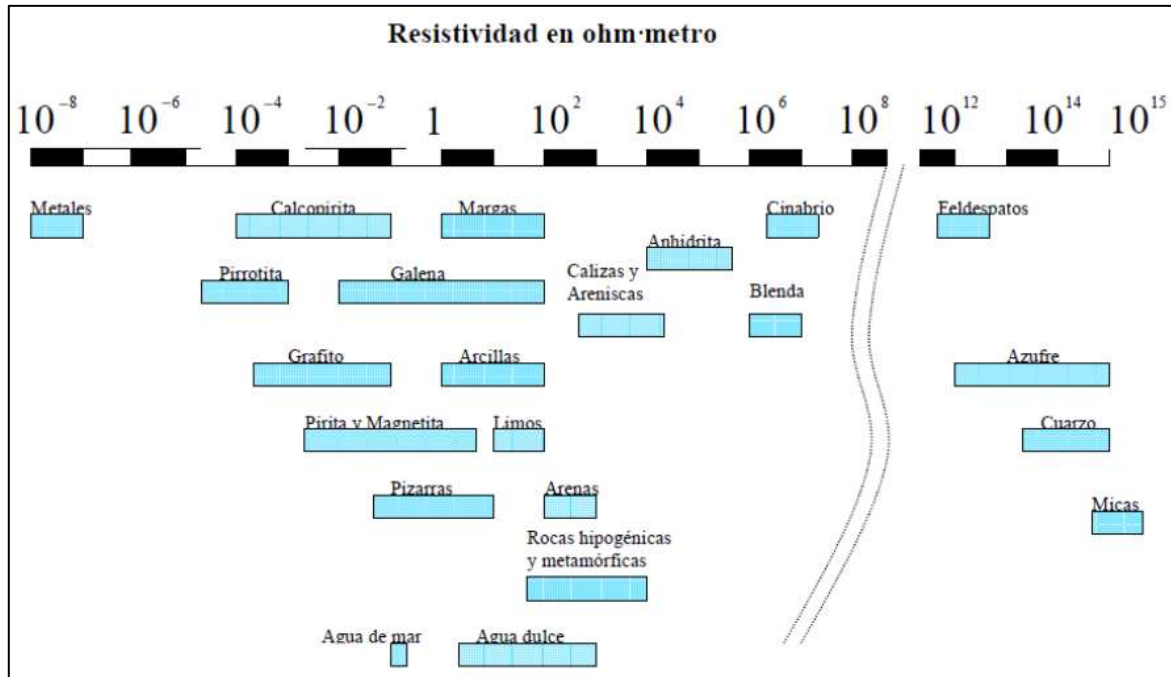


Figura 2. Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales (Orellana., 1982).

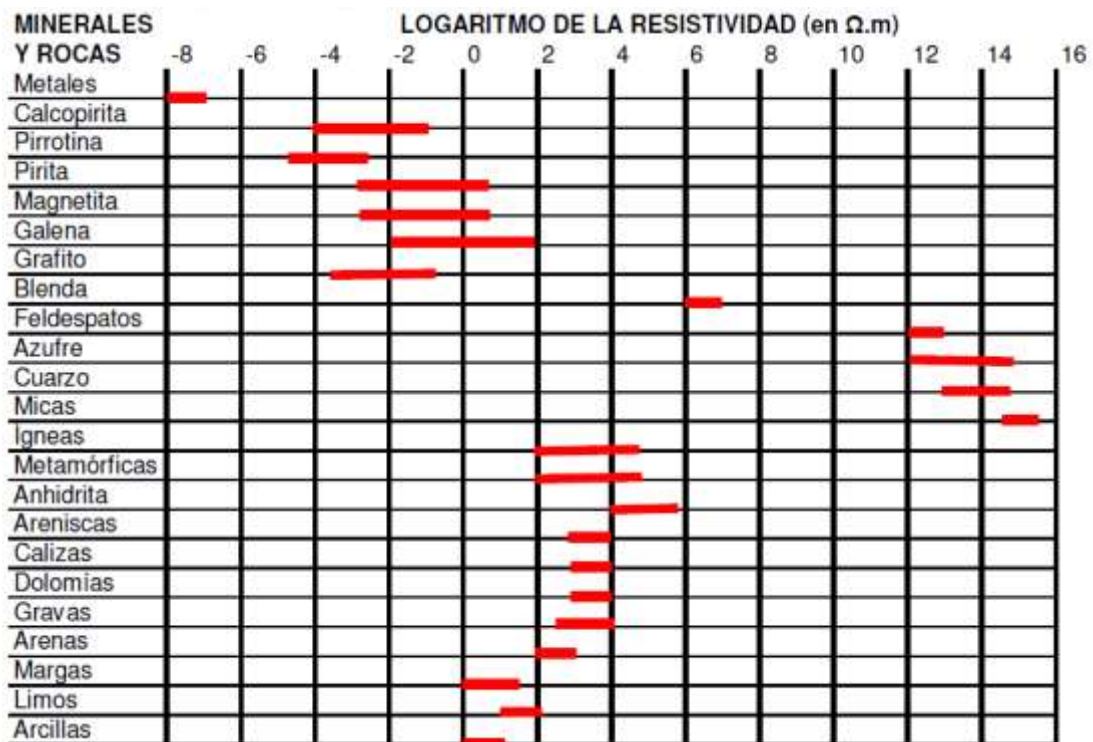


Figura 3. Variación de la resistividad en diferentes tipos de rocas y minerales (Auge, 2008).

Los datos de resistividad presentan un valor bajo para un suelo fino tal como arcilla y limo, mientras que para un suelo más grueso tal como arena y grava producirá un valor de resistividad más alto (Abidin *et al.*, 2012).

Las aguas presentes en la naturaleza son consideradas soluciones salinas y poseen una conductividad apreciable, las aguas subterráneas poseen resistividades de 1-20 ($\Omega \cdot m$) y las aguas de mar de 0.1-0.4 ($\Omega \cdot m$), sin embargo el agua pura es del orden de los 105 ($\Omega \cdot m$) resultando ser muy poca conductora debido a su reducida disociación.

2.2.3 Factores que influyen en la resistividad de los suelos

El suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos, que pueden provocar que un mismo suelo presente valores de resistividades diferentes. Algunos de estos factores son:

- a) Humedad: La humedad que posee el subsuelo determina fuertemente su resistividad, por lo tanto, un aumento de humedad genera una reducción en el valor de resistividad.
- b) Temperatura: La resistividad de los suelo disminuye al aumentar la temperatura, debido a la mayor movilidad de los iones en el agua.
- c) Compactación del suelo: Un mayor grado de compactación del suelo disminuye la distancia entre las partículas y se logra una mejor conducción a través de la humedad contenida, disminuyendo el valor de la resistividad.
- d) Sales solubles: Al existir una mayor concentración de sales disueltas en el suelo, éste mejora su conductividad, entonces, se podría establecer que mejor conductor es el terreno mientras mayor contenido de sal haya en él.
- e) Granulometría: Es un elemento que influye tanto en la porosidad como en ser capaz de retener humedad, incrementándose la resistividad con el mayor tamaño de los granos del suelo.

2.2.4 Distribución de corriente eléctrica

Consideremos una carga puntal desde el cual se inyecta corriente de intensidad I sobre la superficie de un medio homogéneo e isótropo, el flujo de corriente es la misma en todas las direcciones, por lo tanto, esta corriente fluye radialmente en todas las direcciones. A una determinada distancia r se tiene una media esfera de ese radio, porque la otra mitad es el aire que

es de resistividad infinita, por lo tanto la corriente no se propaga y se considera un medio aislante. Entonces, el área atravesada por las líneas de corriente será la de la media esfera y la longitud desde la fuente a un punto cualquiera de la media esfera es $l = r$, ver Figura 4. Aplicando la Ley de Ohm correspondiente a la Ec.(1):

$$V = I \cdot R$$

Con: $R = \rho \frac{l}{s}$
 $s = 2\pi r^2$

Se obtiene la ecuación para determinar la tensión que se produce en el punto M en una corriente que se propaga en el subsuelo por medio de una carga puntual:

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad \text{Ec. (5)}$$

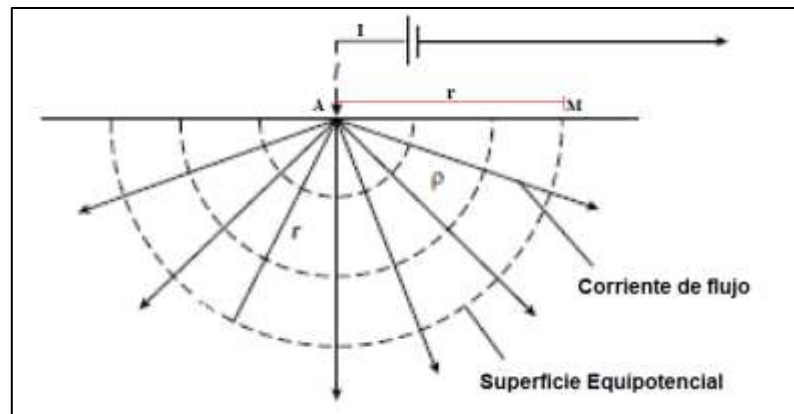


Figura 4. Flujo de corriente de un electrodo en superficie (Hill., 2002).

Sin embargo para introducir esa corriente de intensidad I^+ , debe existir otra carga puntual negativa que llegue esa corriente y complete el circuito eléctrico en el subsuelo, ver figura 5.

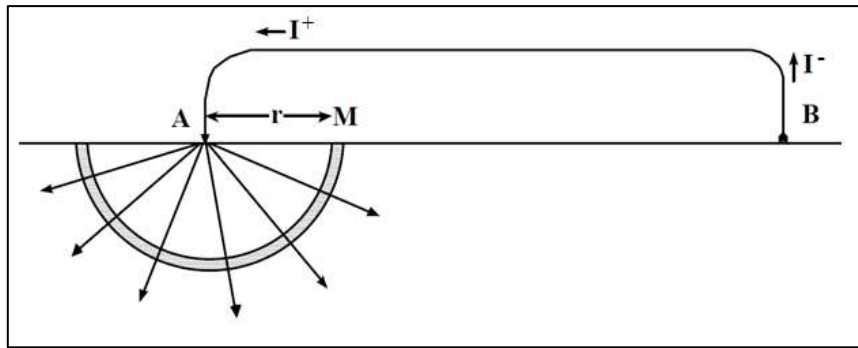


Figura 5. Posición de electrodos A y B en la circulación de corriente eléctrica.

Por lo cual el potencial generado en el punto M, será igual al producido por A menos el producido por B. Aplicando la Ecuación (5) se obtiene que el potencial en el punto M es:

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi AM} - \frac{\rho I}{2\pi BM} \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde AM y BM son las distancias entre electrodos.

Pero en la práctica para obtener la resistividad del subsuelo, no medimos el potencial en un punto, sino que se mide la diferencia de potencial entre dos puntos M y N (ver Figura 6). Aplicando la Ecuación (5) al punto N resulta:

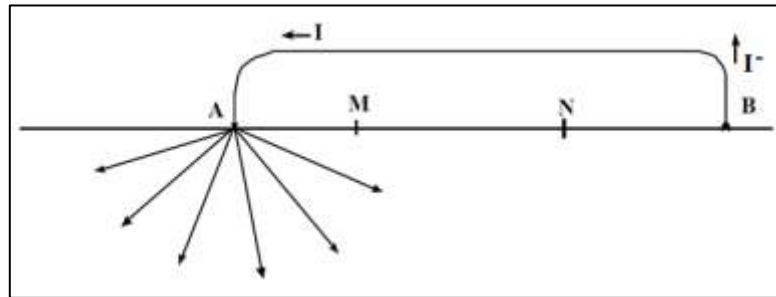


Figura 6. Diferencia de potencial entre dos puntos M y N.

$$V_N = \frac{\rho I}{2\pi AN} - \frac{\rho I}{2\pi BN} \quad \text{Ec. (7)}$$

Por lo tanto, la diferencia de potencial entre los puntos M y N será:

$$V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right) \quad \text{Ec. (8)}$$

Despejando la resistividad ρ :

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)} \quad \text{Ec. (9)}$$

En donde la segunda fracción corresponde al Coeficiente o Factor Geométrico (K) que depende solamente de las distancias entre los cuatro electrodos AMNB, resulta la fórmula de resistividad real del subsuelo si este fuera homogéneo e isotrópico.

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot K \quad \text{Ec. (10)}$$

2.2.5 Resistividad aparente

El valor de resistividad obtenido de la Ecuación (10) sería la resistividad real del terreno si éste fuera homogéneo, sin embargo, en la naturaleza, el subsuelo tiene características heterogéneas debido a que se encuentra formado por materiales de diferentes resistividades, por lo que se debe trabajar bajo un concepto de resistividad aparente (ρ_a).

Se define la resistividad aparente en un semiespacio con heterogeneidades donde las lecturas cambiaran de una posición a otra obteniendo una ρ diferente. Esta variable no es el promedio de los valores de resistividades obtenidos del subsuelo, sino el valor de medición individual que se asocia al punto inmediatamente debajo del centro del arreglo de electrodos.

La resistividad aparente es el valor obtenido como producto de la resistencia medida (R) y el factor geométrico (K). El factor geométrico depende del espaciamiento de los cuatro electrodos (Reynolds, 1997).

$$\rho_a = R \cdot K, \text{ donde } R = \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Ec. (11)}$$

A partir de la interpretación de las resistividades aparentes medidas en un terreno se podrán extraer conclusiones sobre la composición estructural del subsuelo, por lo que esta resistividad aparente corresponde a un valor intuitivo de la resistividad real.

2.3 Sondeo eléctrico Vertical (SEV)

Este método consta de cuatro electrodos (tetraelectródicos) y su aplicación consiste en clavar en la superficie del suelo los cuatro electrodos en una misma recta y ordenada de la siguiente manera (A M N B) como se muestra en la figura 7. Los electrodos AB suministran corriente eléctrica e inyectan la electricidad en el subsuelo por medio de un transmisor, mientras que, los electrodos MN son de potencial y miden la diferencia de potencial generado en el subsuelo por la corriente inyectada.

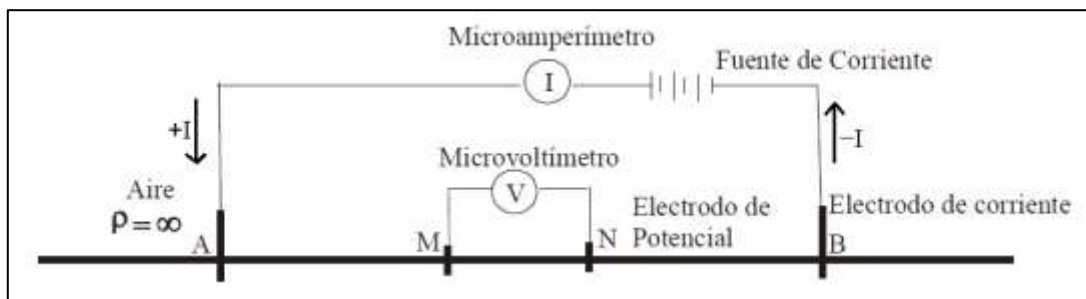


Figura 7. Método de resistividad eléctrica: Sondeo Eléctrico Vertical.

La finalidad del sondeo eléctrico vertical (SEV) es detectar y establecer el número de estratos con sus respectivos espesores del subsuelo, mediante la variación de las resistividades aparentes con respecto a la distribución vertical en profundidad, a partir de la inyección de corriente y la medida de la diferencia de potencial en la superficie (Orellana, 1982).

La principal limitación del SEV se basa en la presunción de que el subsuelo está formado por capas horizontales homogéneas e isotrópicas (Ver figura 8), es decir, las resistividades del subsuelo cambia únicamente con la profundidad, y nunca lateralmente, sin embargo el subsuelo no suele ser homogéneo (heterogéneo y/o cambios laterales).

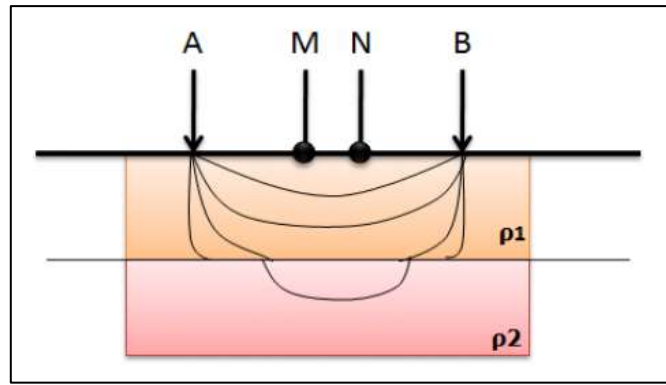


Figura 8. Representación de las capas horizontales homogéneas e isotrópicas del subsuelo.

Estos cambios laterales afectan a la resistividad del subsuelo, generando variaciones en cortas distancias a los valores de resistividad aparente en los que pueden ser mal interpretados. El método de Sonde Eléctrico Vertical no podría ser suficientemente preciso y resolutorio para un subsuelo que presenta muchos cambios laterales.

Para el método sondeo eléctrico vertical existen varias configuraciones de cuatro electrodos, las cuales consisten en separar de manera sucesiva y a diferentes proporciones los electrodos de corriente y/o potencial del punto central (Samouëlian *et al.*, 2005). Estas son las de Schlumberger, Wenner y Polo-Dipolo. En esta tesis se utilizó la configuración Schlumberger. Las otras configuraciones se encuentran explicadas en el Anexo A.

2.3.1 Configuración Schlumberger

Para esta configuración consiste en separar progresivamente y a una misma distancia los electrodos de corriente AB, dejando los electrodos de potencial MN fijos en torno a un punto central O también fijo. (Ver Figura 9).

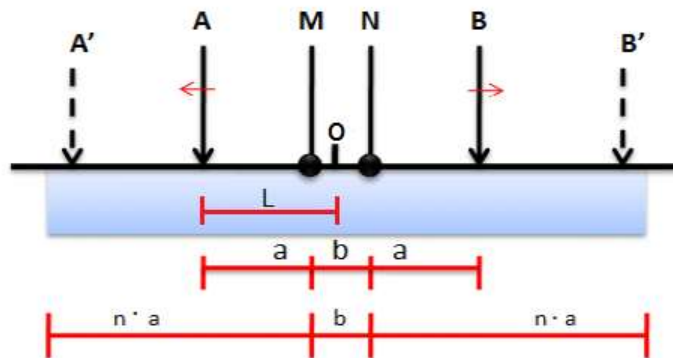


Figura 9. Configuración tipo Schlumberger (Telford *et al.*, 1990).

El coeficiente geométrico para esta configuración es:

$$K = \pi \frac{a(a+b)}{b} \quad \text{Ec. (12)}$$

Se define $L=a+b/2$, el factor geométrico se puede expresar como:

$$K = \pi \left(\frac{L^2}{b} - \frac{b}{4} \right) \quad \text{Ec. (13)}$$

Si la distancia b que separa los electrodos M y N tiende a cero el factor geométrico queda:

$$k = \pi \frac{L^2}{b} \quad \text{Ec. (14)}$$

Por lo tanto, la resistividad aparente (ρ_a) para esta configuración es:

$$\rho_a = \pi \frac{L^2}{b} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad \text{Ec. (15)}$$

2.3.2 Profundidad de investigación

La profundidad a investigar no depende de la potencia de un equipo, depende básicamente de la penetración de la corriente eléctrica y de la separación de los electrodos inyectores AB.

Conforme a lo estipulado por Telford *et al.* (1990), a medida que se incrementa el espaciamiento entre los electrodos AB, incrementa la penetración de la corriente. Según Schlumberger (1982), la profundidad teórica de investigación del sondeo alcanza un cuarto de la distancia AB, y probablemente variando de $AB/2$ hasta $AB/10$ según las características del terreno, ya que al existir un estrato muy conductor absorberá toda la corriente impidiendo que penetre a los posteriores, por eso es muy importante señalar que el concepto de penetración no puede definirse rigurosamente, hasta la inversión misma del problema.

2.3.3 Curva de Resistividad Aparente

Los datos registrados del sondeo eléctrico vertical se representan en un gráfico logarítmico ya que esta escala permite la separación más detallada de valores dentro de rangos que difieren en más de un orden de magnitud, en el eje de las abscisas corresponde a la separación de electrodos $AB/2$ de cada medida en metros, y en las ordenadas corresponden las resistividades aparentes de cada punto en ohm por metro, la curva así obtenida, Ver Figura 10, se denomina curva de SEV, curva de campo o curva de resistividad aparente (Orellana, 1982). A simple vista esta curva de campo es posible deducir la cantidad de estratos presentes, ya que los puntos de cambios de concavidad representan variaciones de los estratos.

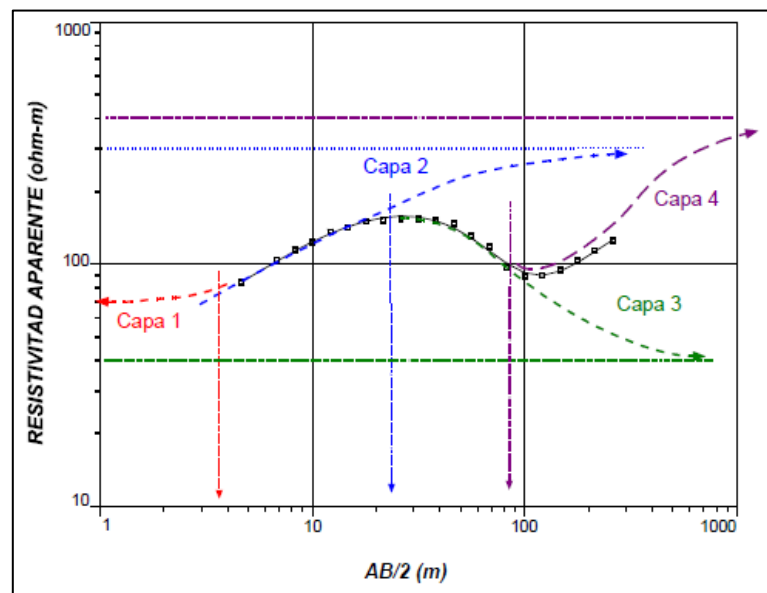


Figura 10. Curva de campo obtenida realizando un SEV (Román, 2016).

2.4 Interpretación

La interpretación de la curva de campo consiste en proponer modelos estratificados horizontalmente, por medio de interpretaciones cuantitativa y cualitativa, la primera consiste en determinar el modelo real del subsuelo con el corte geoelectrico, formado por la cantidad de estratos, espesores y resistividades reales de cada estrato, y la segunda interpretación, consiste en convertir el corte geoelectrico en un corte estratigráfico.

2.4.1 Interpretación cuantitativa: Software Ipi2win

Como mecanismo de llevar a cabo la interpretación cuantitativa en este estudio, se empleó el software IPI2Win, desarrollado por la Moscow State University, Geological Faculty, Department Of Geophysics. El cual está diseñado para la interpretación de forma interactiva y la inversión de manera automática o semi-automática de las curvas tipo SEV a lo largo de un perfil con una variedad de configuración electródicos.

El proceso interactivo se resuelve usando filtrado lineal, desarrollada principalmente por Gosh (1971), y Koefoed (1979), algoritmo que provee una solución rápida y precisa para una amplia gama de modelos de curvas que cubren todas las situaciones encontradas en el subsuelo, proponiendo modelos estratificados horizontalmente llamadas curvas teóricas, estas curvas se encuentran más detalladas en Anexo B. Para este proceso la curva de campo es comparada con la curva teórica obtenida a partir de un modelo propuesto. Este procedimiento se repite hasta reducir a un mínimo la discrepancia entre la curva de campo y la curva teórica.

La interpretación automática se resuelve usando una variante del algoritmo de Newton para la aproximación de número de capas y resistividades, esta aproximación permite introducir capas extremadamente finas o gruesas, así como extremadamente conductoras o resistivas. Las propiedades de tales capas pueden ser editadas posteriormente de manera semi-automática dentro del rango de equivalencia.

La interpretación interactiva semi-automática utiliza el algoritmo regularizado de minimización del error de ajuste que representa la diferencia relativa entre la curva teórica y la curva de SEV, que utiliza la aproximación de Tikhonov para resolver el problema de la ambigüedad en la solución de la tarea inversa, facilitando el análisis e identificación de las resistividades y estratos para elegir la curva apropiada. El algoritmo utilizado se encuentra en más detalle en Anexo C.

2.4.2 Interpretación Cualitativa

La segunda fase de la interpretación es convertir el corte geoeléctrico en un corte estratigráfico, mediante los valores de ρ_a del modelo de inversión son comparados con los valores de resistividad mostrado en las Figuras 2 y 3. Esta etapa precisa de un conocimiento geotécnico de la zona de estudio, ya que el valor de la resistividad puede variar en un intervalo muy amplio para el mismo material dependiendo de sus características particulares y de sus condiciones de

saturación y calidad del agua intersticial o del entorno. Para este trabajo esta incertidumbre pudo solucionarse con la comparación de los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

2.5 Ensayo de Penetración Estándar (SPT)

El Ensayo de Penetración Estándar o SPT (del inglés Standard Penetration Test), es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que queremos realizar un reconocimiento geotécnico. El SPT es utilizado para medir la resistencia a la penetración, permite tomar muestras, estimar la densidad relativa de los suelos granulares, evaluar la consistencia de los suelos cohesivos, conocer el tipo de terreno y los espesores de cada estrato, observar y acotar de manera directa el nivel freático, entre otros aspectos.

El ensayo prácticamente consiste en medir el número de golpes necesario para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara cilíndrica de acero, hueca de 68.5 cm de largo de diámetro exterior de 5 cm e interior de 3.5 cm, que permite tomar una muestra, naturalmente alterada, en su interior.

2.5.1 Descripción del ensayo SPT

Se ejecuta una perforación o pozo donde se desea hacer el estudio geotécnico y se baja la cuchara colocándola en el extremo inferior del pozo mediante un conjunto de varillas metálicas que permiten lograr la profundidad deseada, en el extremo superior de las varillas se coloca una cabeza de golpeo y los dispositivos que permitirán accionar el martillo, masa de 63.5 kgf dejándolo caer libremente desde una altura de 76.2 cm.

Luego se golpea para hincar la cuchara los primeros 15 cm y se registra el número de golpes para lograr dicho avance (N_{0-15}). Estos primeros 15 cm no se consideran representativos porque el suelo está alterado.

Posteriormente se realiza la prueba en sí, introduciendo otros 30 centímetros, anotando el número de golpes requerido para la hincada en cada intervalo de 15 centímetros de penetración (N_{15-30} y N_{30-45}).

El resultado del ensayo es el golpeo SPT o resistencia a la penetración estándar:

$$N_{SPT} = N_{15-30} + N_{30-45}$$

Ec. (16)

Si el número de golpes necesario para profundizar en cualquiera de estos intervalos de 15 centímetros, es superior a 50, el resultado del ensayo deja de ser la suma anteriormente indicada, para convertirse en rechazo (R), debiendo anotar también la longitud hincada en el tramo en el que se han alcanzado los 50 golpes. El ensayo SPT en este punto se considera finalizado cuando se alcanza este valor.

2.6 Correlaciones existentes entre resistividad e índice de penetración estándar

Las correlaciones en estudio, se generan de la necesidad de encontrar formas más económicas y rápidas para obtener la resistencia de los suelos.

A continuación se presentan un conjunto de correlaciones, que corresponden a 6 Autores, de los cuales se pudieron obtener registros de sus fórmulas y año de elaboración de la correlación. Estas, tienen en su gran mayoría, el origen estadístico y son aplicables para todo tipo de suelo o para un tipo particular de suelo. (Ver tabla 1).

Autor	ρ ($\Omega \cdot m$)		
	General	Arenas	Arcillas
Braga et al., (1999)	-	$N = \left(\frac{\rho}{3862,72}\right)^{-1,33}$	$N = \left(\frac{\rho}{6839,72}\right)^{0,7}$
Akinlabi y Adeyemi (2014)	-	$N = 0,001\rho + 21,89$	-
Boobalan y Ramanujam (2015)	$N = 1,401\rho - 51,893$	-	$N = 0,623\rho - 12,649$
	$N = 1,953\rho - 7,782$		
Hatta y Syed (2015)	-	$\rho = 20,942N + 281,56$	-
Syed et al., (2016)	-	-	$N = -0,0003\rho^2 + 0,2553\rho - 6,2856$
Kalyane (2017)	$N = 0,1805\rho + 19,557$	-	-

Tabla 1. Correlaciones existentes entre resistividad e índice de penetración estándar.

Fuente: Elaboración propia.

3 METODOLOGÍA

Para este capítulo se presenta como se llevaron a cabo los procedimientos de las interpretaciones de los ensayos resistivos y la aplicación de las correlaciones existentes.

3.1 Revisión y recopilación bibliográfica

El desarrollo de esta investigación incluyó una amplia revisión bibliográfica del tema con énfasis en la exploración del método de resistividad eléctrica, más específicamente el método Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), de esta revisión se tomaron los elementos de interés para la realización de esta tesis. Además de la recopilación de correlaciones existentes en literatura entre resistividad aparente (ρ_a) e índice de penetración estándar.

3.2 Adquisición y localización SEV y SPT

La adquisición de los SEVs y SPT fueron facilitados por distintas empresas, tanto privadas como públicas, los cuales se adquirieron un total de 60 ensayos, tal como se muestra en la tabla 2. Dichos ensayos se encuentran adjuntos en los Anexos F y G de este informe.

Adquisición de ensayos		
Ensayos	Empresa	Cantidad de ensayos
SEV	ORA	30
SPT	Terrasonda	30
	Municipalidades	

Tabla 2. Adquisición y cantidad de ensayos SEVs y SPT.

Cada ensayo adquirido tanto los SEVs como los SPT se agruparon por ciudad para facilitar la localización de estos, como se muestra en la tabla 3, donde la mayor adquisición de datos fue para la ciudad de Concepción.

Número de ensayos por ciudad		
Ciudad	SEV	SPT
Concepción	11	11
Talcahuano	3	3
Penco	3	3
Coronel	1	1
Tomé	2	2
Chiguayante	1	1
Hualpén	1	1
Lota	1	1
San Pedro de la Paz	5	5
Arauco	2	2

Tabla 3. Cantidad de ensayos adquiridos por ciudad.

Para la facilitar la localización de ambos ensayos adquiridos, se utilizó Google Earth para determinar la distancia en que se encontraban ambos métodos, así pudiendo descartar ensayos que estuvieran a una distancia lejana. En el Anexo E se muestra la localización en coordenadas U.T.M y la distancia que se encuentran ambos métodos en estudio.

3.3 Procesamiento de datos mediante software IPI2Win

3.3.1 Obtención curva de campo

A partir de los datos adquiridos del SEV, se procede a ingresar las distancias $AB/2$ en metros y las resistividades aparentes en Ohm por metro al software IPI2Win, verificando que se esté trabajando con una configuración Schlumberger y con resistividad aparente, para que este grafique en escala logarítmica la curva de campo, donde el eje de las abscisas corresponde a las distancias $AB/2$ y el eje de las ordenadas a las resistividades aparentes.

3.3.2 Obtención modelo del subsuelo y corte geoeléctrico

La interpretación cuantitativa de la curva de campo para llevarlas a valores de resistividad real y espesor de estratos geoeléctricos fue hecha mediante el programa IPI2Win por medio de la interpretación interactiva y de inversión semi-automática, lo cual se procedió al ajuste manual de la curva teórica obtenida a partir de un modelo propuesto por el software, ajustándola lo más cercano posible a la curva de campo. Este procedimiento se repite las veces que sean necesarias hasta lograr reducir a un mínimo la discrepancia entre ambas curvas. Una vez logrado el ajuste de ambas curvas se obtiene una aproximación del modelo real del subsuelo, que está representado por la curva de campo (en negro), la curva teórica (en rojo), y los espesores, y cantidad de estratos vienen dados por una línea en azul (ver figura 11), indicando además una tabla adjunta con los parámetros correspondiente al resultado del corte geoeléctrico, esto son, la cantidad total de estratos, las resistividades verdaderas ρ , el espesor h , profundidad máxima de investigación y el porcentaje de error. Este procedimiento se realizó para los 30 ensayos resistivos, dichas interpretaciones cuantitativas se encuentran en el Anexo D del presente informe.

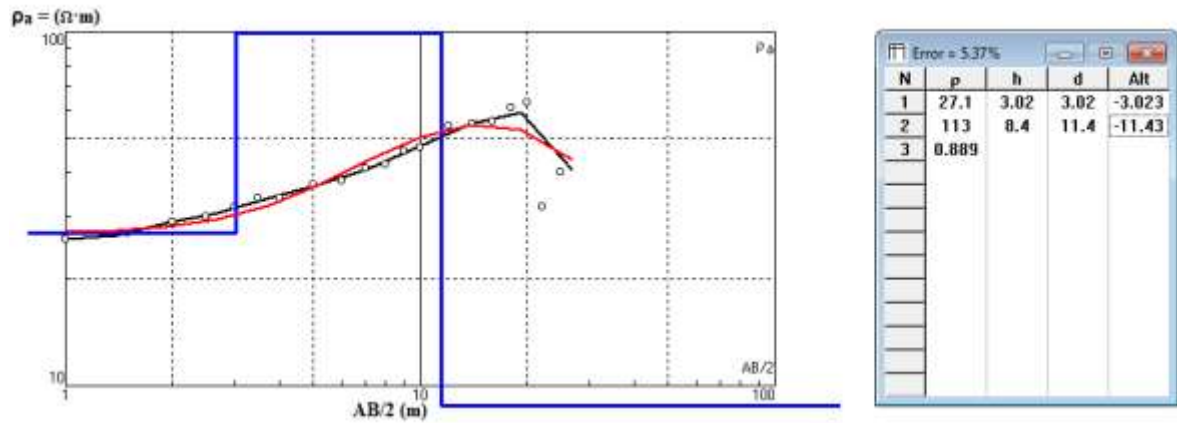


Figura 11. Representación de curvas en el modelo real del subsuelo y corte geoelectrico resultante.

3.4 Obtención perfil estratigráfico resistivo

El perfil estratigráfico resistivo se obtuvo a partir de las interpretaciones cualitativas de las resistividades reales del subsuelo con la ayuda de los rangos de valores de resistividad de los materiales del subsuelo expuestos por Orellana y Auge, y la interpretación de la curva obtenida del modelo real del subsuelo.

A través de la interpretación cualitativa, se logra obtener los posibles materiales presente en cada estrato, el tamaño aproximado del grano (fino, medio, grande), presencia y cota aproximada del nivel freático, saturación y humedad presente en algunos casos. Para esta tesis se interpretaron 30 modelos de curva real del subsuelo, los cuales se encuentran detallados en el Anexo D de este informe.

3.5 Aplicación de correlaciones existentes

Para la aplicación de las correlaciones existentes en literatura, se procedió a visualizar los intervalos de profundidades en que se obtuvo el índice de penetración estándar resultante del ensayo SPT, verificando a la vez que tipo de suelo predomina en ese tramo estudiado, para luego visualizar la curva de campo y determinar el valor de resistividad aparente presente en ese mismo tramo de profundidad, para finalmente reemplazarlo a las correlaciones existentes según corresponda el tipo de suelo presente en el tramo indicado por el ensayo SPT.

A partir de la aplicación de correlaciones existentes, mediante el reemplazo de valores de resistividad aparente del subsuelo, se obtiene el índice de penetración estándar (N_{SPT}) para cada uno de los intervalos de profundidad indicado por el ensayo SPT.

3.6 Comparación de estratigrafías

Una vez realizada las interpretaciones de cada SEVs y obtenido el perfil estratigráfico de forma resistiva, se procedió a una comparación con respecto a los resultados del perfil estratigráfico obtenido por el Ensayo de Penetración Estándar (SPT), para ello se comparó la cantidad de estratos presentes con sus respectivos espesores, el tipo de suelo presente en cada estrato, existencia de humedad baja, medio o alta, posible existencia de saturación del estrato, y presencia y cota aproximada del nivel freático. Estas comparaciones de estratigrafías resultantes por ambos métodos se encuentran detalladas en Anexo E.

Para estas comparaciones se consideraron, la distancia y fecha de medición de ambos ensayos, y el porcentaje de error obtenido del modelo real del subsuelo.

3.7 Comparación de resistencias

Se compararon los índices de penetración estándar resultante del reemplazo de los valores de resistividad aparente en las correlaciones existentes con los registrados por el ensayo SPT, esta comparación se realizó por cada tramo de 0.45 metros y según el suelo presente en dicho tramo.

4 RESULTADOS Y ANALISIS

En este capítulo se presentan los resultados de las interpretaciones cuantitativa y cualitativa, las resistencias obtenidas por medio de la aplicación de correlaciones y finalmente la comparación de los resultados obtenidos mediante la técnica resistiva con respecto al del ensayo SPT.

4.1 Curvas de Campo

Se obtuvo una curva de campo propia para cada uno de los 30 lugares en estudio, el comportamiento de estas curvas, está definida principalmente por las heterogeneidades laterales presentes en la estructura del terreno, mientras mayor heterogeneidades laterales existan, mayores serán las variaciones en la forma de la curva obtenida, mientras que para otras presentaron

variaciones muy pequeñas, en estos casos se presume que cada estrato reconocido por el SEV, tiene una estructura casi homogénea, sin embargo fueron muy pocas las curvas obtenidas con variaciones casi inexistente.

Cabe señalar que además de las heterogeneidades laterales, las variaciones presentes en las curvas también pudieron ser generadas por ruidos externos, como es el mal uso o funcionamiento del equipo de medición o intervenciones de antenas eléctricas que se pudieran encontrar cerca a las mediciones.

4.2 Modelo real del subsuelo

Por medio del ajuste manual de interpretación semi-automática, empleando el programa IPI2Win se obtuvo un modelo aproximado del subsuelo para cada una de las curvas de campo. Cada uno de estos modelos tomó la forma más cercana a la curva de campo, resultando porcentaje de error que van desde los 2% hasta los 47%, estas variaciones de porcentajes, depende de que tan ajustadas se encuentran ambas curvas.

Los mayor cantidad de porcentajes de error obtenidos de los modelos, se encuentran entre los intervalos de 0%-30%, representando al 80% del total de los modelos interpretados cuantitativamente, mientras que el 20% se encuentran entre intervalos de 30.1%-50%.

Se obtuvieron modelos real del subsuelo que presentaron altos porcentaje de error resultante del menor ajuste entre ambas curvas, ver Figura 12, esto a causa de la cantidad de variaciones presentes en la forma de la curva de campo, impidiendo que la curva teórica se aproxime a la forma de la curva de campo.

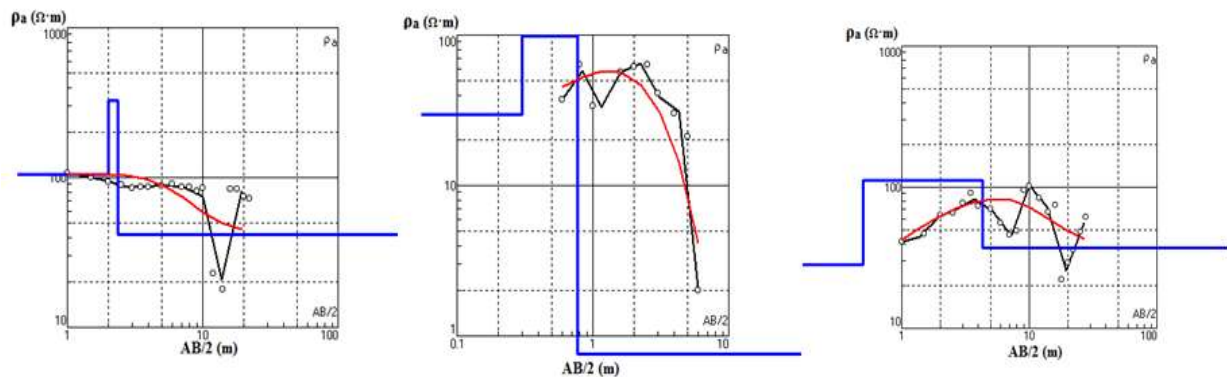


Figura 12. Modelos reales del subsuelo con mayor porcentaje de error.

También se obtuvieron modelos reales del subsuelo que presentaron menores porcentajes de error, a causa de un mayor ajuste entre ambas curvas, ver Figura 13.

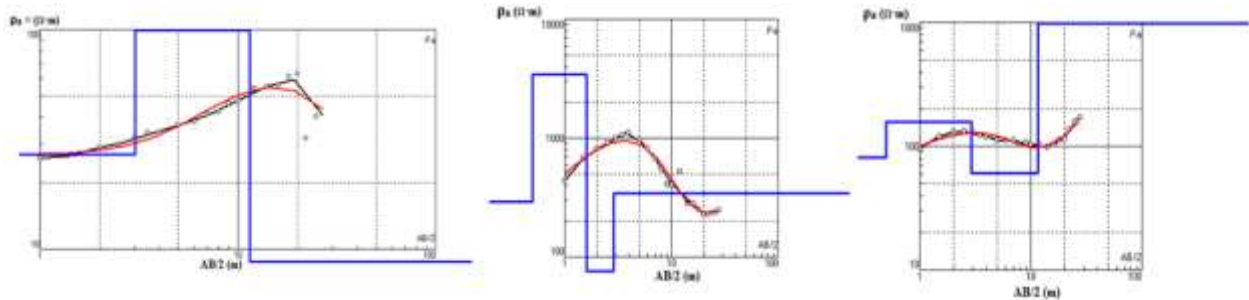


Figura 13. Modelos reales del subsuelo con menor porcentaje de error.

Además, resultaron curvas que presentaron mayor ajuste en algunos de sus extremos, siendo para la mayoría desde el comienzo de la curva, mientras que en el otro extremo no se logró mayor ajuste. Esto se le puede atribuir que a menor apertura en la distancia $AB/2$, se está en menores presencia de heterogeneidades laterales como se muestra en la Figura 14.

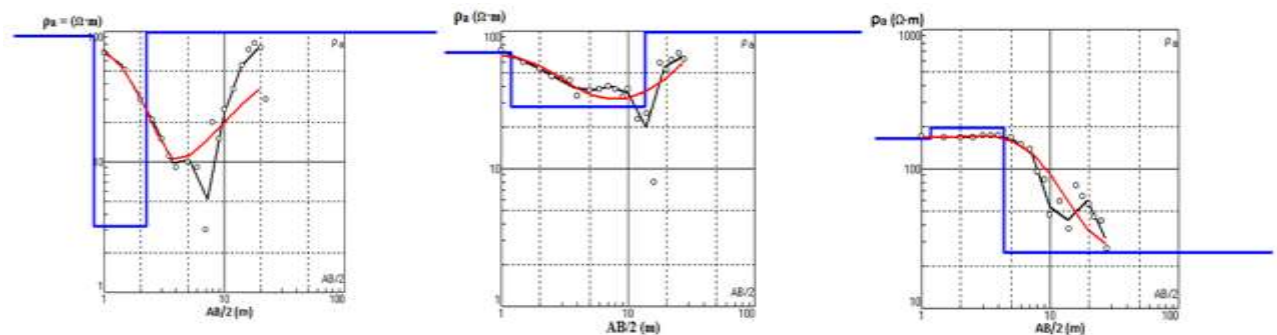


Figura 14. Modelos reales del subsuelo con mayor ajuste en uno de sus extremos.

4.3 Corte Geoelectrico

Para cada uno de los modelos reales del subsuelo, el software arrojó los resultados del corte geoelectrico, el cual está representado por la cantidad total de estratos, resistividades reales y espesor de cada estrato, profundidad de investigación y porcentaje de error obtenida del ajuste de ambas curvas.

4.3.1 Valores de resistividad real

Los valores de resistividad real obtenidos van desde los $0,1 \Omega \cdot m$ hasta los $5000 \Omega \cdot m$, y cada valor está influenciado por el tipo de suelo presente y los factores presentes en el estrato, ya sea granulometría, porcentaje de humedad, sales solubles, compactación, etc.

4.3.2 Espesores

Los espesores detectados por el software dependieron del cambio de concavidad de la curva de campo, mientras más notorio, mejor es el reconocimiento en los cambios de estratos, esto se da consecuente a mayores diferencias en contrastes de los valores de resistividades presente en cada uno de estos.

4.3.3 Cantidad de estratos

La cantidad de estratos obtenidos varían desde 2 estratos hasta los 5 estratos, esta cantidad dependió de la profundidad de investigación para cada uno de los modelos.

4.4 Profundidad de Investigación

La Figura 15 muestra las profundidades máximas y mínimas de cada ciudad en estudio, alcanzadas por ambos métodos.

Los ensayos resistivos alcanzaron una profundidad que van desde los 0.6 metros hasta los 14 metros aproximadamente.

Las profundidades máximas de investigación dependieron principalmente de las distancias de los electrodos con respecto al centro ($AB/2$), a mayor distancia, se logró una mayor profundidad de investigación, caso contrario para algunos ensayos que presentaron mayores distancias $AB/2$, resultaron tener menor profundidad de investigación, a causa de presencia de estratos con mayor grado de conductividad, provocando que la mayor parte de la corriente eléctrica estuviera concentrada en ese estrato e impidiendo la conducción a los posteriores.

Las mediciones de los ensayos de resistividades adquiridos alcanzaron distancia mayores de $AB/2$ entre los 12(m) a 28 (m) y otros alcanzaron distancias menores de $AB/2$ entre los 3 (m) a 10 (m).

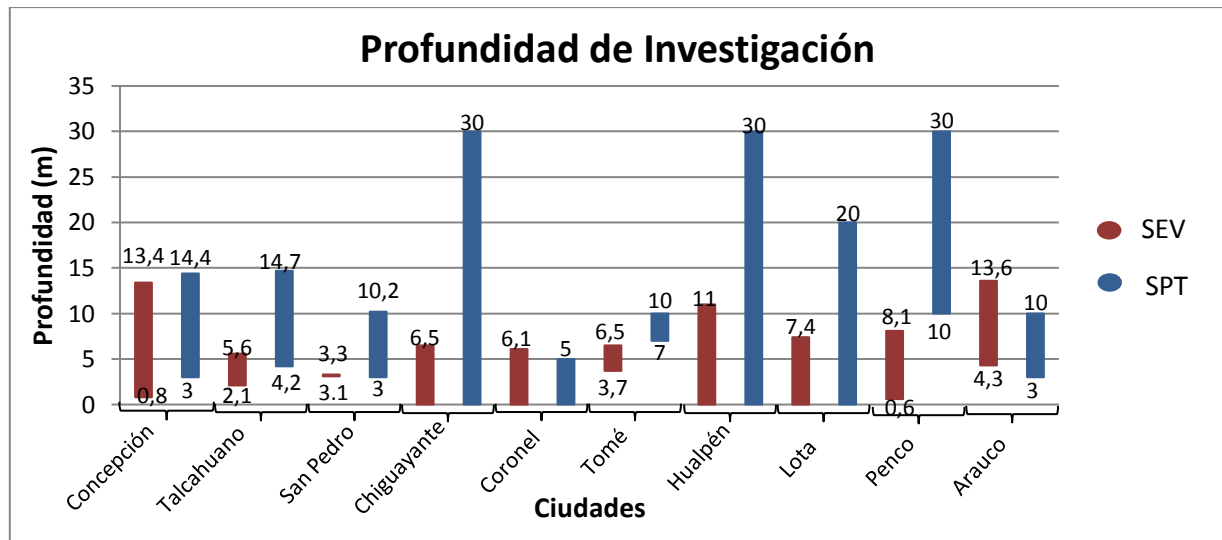


Figura 15. Profundidades máximas y mínimas para cada ciudad alcanzadas por ambos ensayos.

4.5 Interpretación Cualitativa

El mayor intervalo de valores de resistividad presente en los ensayos resultó ser entre 100 a 1000 $\Omega \cdot m$, por lo que la mayoría de las interpretaciones correspondieron a suelos tipos arenas, con un total de interpretaciones del 38%, seguido con un 36% de las interpretaciones resultaron para suelos finos, ya sea limo y/o arcilla, como se muestra en la Figura 16.

No resultaron mayores interpretaciones para posible manto rocoso, debido a que fueron pocos los ensayos que alcanzaron profundidades de investigación máximas.

Cabe señalar que la ciudad de Concepción y sus alrededores, son zonas que predomina el suelo arenoso, por tal motivo los valores de resistividad estuvieron concentrada mayor parte en el rango para ese tipo de suelo.

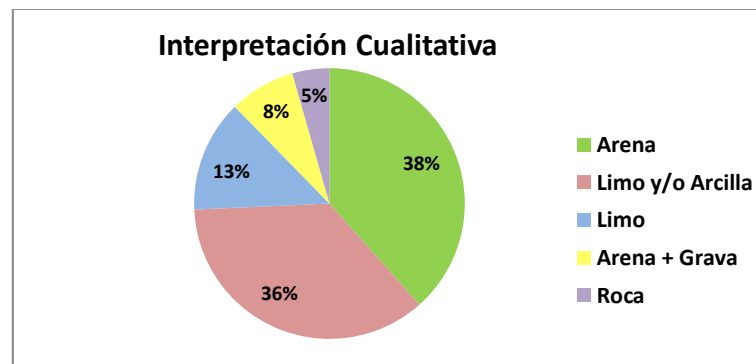


Figura 16. Interpretación cualitativa para los materiales del subsuelo.

4.6 Comparación de Estratigrafía

En general, los resultados de las comparaciones para todo tipo de suelo, tuvieron interpretaciones erróneas como concordantes, ya que para algunos valores de resistividad que correspondían a suelos según lo expuesto por Orellana y Auge, al compararlos con los resultados del SPT demostraron ser otro tipo de suelo, esto debido a las variaciones que presentaron los valores de resistividad causadas por las propiedades físicas propias de cada suelo.

4.6.1 Comparación tipo de suelo

a) Arenas

La mayor parte de las interpretaciones correspondió a este tipo de suelo, siendo concordante en un 21% con los resultados del ensayo SPT de un total de 38% que se infirió, mientras que un 10% no tuvieron concordancias con los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (Ver Figura 17), ya que mostraron en algunos casos que correspondían a suelos limosos de consistencia alta. Para el resto de las interpretaciones no fue posible realizar comparaciones, a causa de la menor profundidad que alcanzó el ensayo SPT con respecto al SEV.

b) Limo y/o Arcilla

Sin embargo se interpretó un 36% a suelos finos, de los cuales el 10% coincidieron con los resultados del ensayo SPT como se muestra en la Figura 17, pudiéndose discriminar si correspondía a limo o arcilla o ambas, mientras que un 14% de las interpretaciones no concordaron con los resultados del ensayo SPT, mostrando que se trataba de suelos arenosos de compacidad suelta y contenidos con un mayor porcentaje de humedad o en algunos casos en estado saturados.

c) Limos

Los resultados de las interpretaciones para limos que no concordaron con los resultados del ensayo SPT, mostraron ser resultantes a suelo arenoso limoso o fino, con porcentaje de humedad menor o mayor o en algunos casos saturados, afectando en el valor de resistividad para las interpretaciones de posibles limos. A pesar de ello, resultó un 50% de la interpretación concordante y un 50% que no concordó con los resultados del ensayo SPT. (Ver Figura 17).

d) Arena + Gravas

Como se muestra en la Figura 17, esta mezcla tuvo una menor coincidencia, puesto que al compararlos con el ensayo SPT, resultaba ser un suelo arenoso de compacidad densa y para algunas ocasiones se presentaban conchitas o posible presencia de cuarzo.

e) Manto rocoso

La interpretación para posible manto rocoso tuvo una mayor concordancia a los resultados del ensayo SPT (ver Figura 17), puesto que es una de las interpretaciones con más posibilidad de concordancia, ya que si se está en presencia de una profundidad máxima y se presencia un valor alto de resistividad, se infiere su existencia.

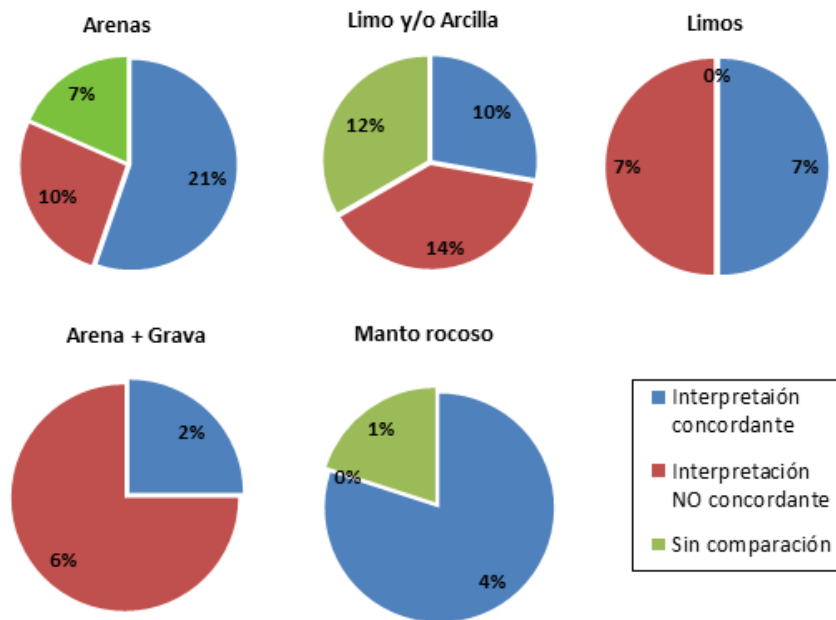


Figura 17. Resultados de las interpretaciones con respecto al SPT para distintos tipo de suelo.

f) Relleno artificial y capa vegetal

No se realizaron interpretaciones para posibles rellenos artificiales y capa vegetal, ya que no existe un rango de valores de resistividad definidos, debido a que el relleno artificial está conformado por mezcla de materiales y la capa vegetal conformada por mezcla de sustrato orgánico – mineral.

Sin embargo el rango de valores de resistividad alcanzados para ambos mediante las comparaciones con el SPT, resultó ser de $100 \Omega \cdot m$ hasta $2700 \Omega \cdot m$ para el caso de relleno artificial y para la capa vegetal de $50 \Omega \cdot m$ hasta $90 \Omega \cdot m$.

4.6.2 Comparación de espesores

Las variaciones de espesores entre los obtenidos por el SEVs y el SPT, resultaron ser de 0 hasta 8,7 metros de diferencias.

El espesor de cada estrato fue influenciado por la similitud en los contrastes de resistividades entre estratos. Donde para algunos casos el SEV presumió un estrato, lo que en realidad correspondían a la existencia de dos estratos.

La mayor variación con respecto a los espesores registrados de ambos ensayos, correspondieron a diferencias de espesores menores a 1 metro, correspondiente a un 73%, mientras que variaciones de espesor entre 2 hasta 8 metros correspondieron a un total de 13%.

4.6.3 Comparación de Nivel freático

La interpretación de presencia de nivel freático se realizó para 21 ensayos y 9 ensayos no se presenciaron.

De los 21 ensayos que se presenció nivel freático, al compararlos con el ensayo SPT, resultaron ser 17 ensayos que concordaban con la presencia de nivel freático y 4 ensayos que no concordaba con su presencia. (Ver Tabla 4).

Presencia		Sin presencia	
Coincide con SPT	No coincide con SPT	Coincide con SPT	No coincide con SPT
17	4	4	5

Tabla 4. Comparación de los resultados de las interpretaciones con respecto al ensayo SPT.

Para los 17 ensayos que concuerdan con los resultados del ensayo SPT en la presencia de nivel freático, se evaluó la diferencia de cota de estos para ambos métodos, lo cual tuvo variaciones entre 0.1 y 5.3 metros.

Cabe señalar que este método identifica un estrato altamente conductivo, por lo que se interpretaría la presencia de nivel freático, pero sin conocer de forma exacta la cota que se encuentra al interior de él.

4.7 Comparación de resistencia de suelos

La resistencia de suelos obtenidos mediante la aplicación de correlaciones existentes, no tuvieron semejanzas en cuanto a los resultados de los índices de penetración estándar obtenidos mediante el ensayo SPT, cuyos resultados se encuentran en Anexo F.

Por lo que se procedió a evaluar el comportamiento de los valores de resistividad aparente en cuanto al número de golpes obtenidos por el ensayo SPT, sólo para suelo tipo arena, resultando que los cambios en los registros de resistividad aparente no son directamente comparable con el número de golpes, por lo que no existe una relación entre ambos parámetros. En Anexo F se encuentran detalladas estas relaciones.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos de la metodología aplicada a este proyecto, permitieron determinar las estratigrafías y resistencias de suelos mediante las resistividades del subsuelo en profundidad, para zonas de Concepción y sus alrededores, alcanzando una profundidad promedio de 7 metros aproximadamente y determinando un promedio de 4 estratos dentro de ese rango de profundidad.

En relación a las interpretaciones cuantitativa utilizando el programa IPI2Win, el que sea mayor o menor porcentaje de error se debe a que existen algunas partes de la curva teórica que no coincide con la de campo, esto debido que en esa zona en estudio pueda existir alguna imperfección (eventualmente rocas), o mayores heterogeneidades o errores en la medición.

Las comparaciones de estratigrafías obtenida mediante la interpretación de ensayos resistivos con respecto a la obtenida por el Ensayo de Penetración Estándar, no tuvo resultados tan favorables, a causa de que el suelo es una mezcla de partículas sólidas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos, provocando que el valor de resistividad no solo dependa de su composición intrínseca, sino que también de otros factores externos, implicando que un mismo suelo presente valores de resistividad diferente y consecuente a esto, generando interpretaciones erróneas de los materiales presentes en el subsuelo.

Para ciertos casos, la resistividad de algunos materiales del suelo excedió, por arriba o por abajo, de los límites indicados por Orellana y Auge, en consecuencia se interpretaron a otro tipo suelo debido a que la resistividad eléctrica está ligada a distintos factores, como los que se concluyen a continuación:

- Los resultados obtenidos indican que las resistividades eléctricas son sensibles a las variaciones del contenido de humedad cualquiera sea la textura del suelo, aminorando el valor de este.
- Los suelos que se encontraban en condiciones seca presentan mayores valores de resistividad eléctrica en comparación a suelos que contenían un porcentaje de humedad o aquellos que se encontraban saturados.
- Se obtuvo mayores valores de resistividad para un suelo de grano grueso y menores valores para un suelo de grano fino, concluyendo que los valores de resistividad están influenciados por el tamaño del grano del suelo, siguiendo una relación general de que el

valor de resistividad es linealmente proporcional a la cantidad de suelos grueso e inversamente proporcional al contenido de suelo fino.

- La adherencia de material fino en un material granular afecta a la resistividad, aminorando su valor.
- Las mediciones para algunos ensayos resistivos fueron tomadas días previos a condiciones de un clima lluvioso, afectando a la información registrada, por saturación excesiva del suelo, produciendo errores de interpretación.

Cabe señalar que, el método de resistividad eléctrica es un buen detector de estratos siempre y cuando estos tengan mayores contrastes en los valores de resistividad entre estratos, ya que al no existir mayor diferenciación, resultará una curva de campo donde el cambio de concavidad es nulo, por lo que el software no distinguirá un estrato de otro. Al igual que en la identificación de presencia del nivel freático, fue uno de las interpretaciones más cercana a los resultados del ensayo SPT, sin embargo no define exactamente la cota a la que se encuentra dentro del estrato identificado.

Con lo antes mencionado, las interpretaciones cualitativas del modelo real del subsuelo, no es un proceso sencillo ni sus resultados son unívocos, por tal motivo se requiere personal con conocimiento a priori en conceptos físicos, matemáticos y de un conocimiento previo de la estratigrafía presente en el área de estudio con el fin de disminuir incertidumbre.

En cuanto a la resistencias de suelos obtenidos por medio de la aplicación de correlaciones existentes, se concluye que no existe relación entre el registro de resistividad aparente con el número de golpes del Ensayo de Penetración Estándar, y que cada correlación existente en literatura es propia del sitio en estudio sin poder ser empleada a otros estudios.

Se obtiene una mayor eficacia del método a la investigación geotécnica, en cuanto a la detección de nivel freático, estratos saturados, manto rocoso, acuíferos, y existencia de mayores heterogeneidades presente en la zona de estudio.

Finalmente, el método es sensible principalmente ante variaciones de humedad, alterando de forma significativa los valores de resistividad, provocando interpretaciones erróneas de los tipos de suelos, cantidad y espesores de estratos, y profundidad de investigación, por lo que el Sondeo Eléctrico Vertical de configuración Schlumberger no es un método adecuado para su uso complementario al ensayo SPT.

5.2 Recomendaciones

- I. Que esta investigación de tesis sirva de guía para futuras investigaciones en otras áreas de la ingeniería civil, como es la investigación de agua subterránea, reconocimiento de las propiedades dinámicas del suelo, existencia de mayores heterogeneidades en un sitio de estudio, mediante las técnicas descritas en todo el desarrollo de este documento.
- II. Realizar estudios de resistividad eléctrica con enfoques bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D), los cuales presentan un mejor desempeño, ya que la resistividad real en el subsuelo cambia en todas las direcciones debido a la anisotropía y heterogeneidad.
- III. Se recomienda realizar nuevos estudios aplicando la técnica Sondeo Eléctrico Vertical de configuración Schlumberger en conjunto con la técnica Calicatas Eléctricas, para un estudio tanto lateralmente y en profundidad del subsuelo, verificando zonas altamente saturadas.

6 BIBLIOGRAFIA

- [1]. Abidin M.H.Z., Saad R., Ahmad F., Wijeyesekera D.C y Baharuddin M.F.T. (2012). “Integral Analysis of Geoelectrical (Resistivity) and Geotechnical (SPT) Data in Slope Stability Assessment”. Academic Journal of Science, 1. Pp. 305-316.
- [2]. Akinlabi I.A. y G.O. Adeyemi G.O. (2014). “Determination of Empirical Relations between Geoelectrical Data and Geotechnical Parameters in Foundation Studies for a proposed Earth Dam”. Pacific Journal of Science and Technology. 15(2). Pp. 278-287.
- [3]. Alexei A. Bobachev, Igor. N. Modin, Vladimir A. Shevnin, IPI2WIN, 1990-2000.
- [4]. Braga A., Malagutti W., Dourado, J. y Chang H. (1999). “Correlation of electrical resistivity and induced polarization data with geotechnical survey standard penetration test measurements”. J. Environ. Eng. Geophys. 4. Pp. 123–130.
- [5]. Estrada, L. (2012). “Prospección Geoeléctrica para Ingenieros”. San Miguel de Tucumán, Tucumán, Argentina.

- [6]. Ghosh D.P. (1971). “The application of linear theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements”, *Geophysical Prospecting*, Issue 19. pp. 192-217.
- [7]. Koefoed O. (1971). *Geosounding Principles, 1. Resistivity Sounding Measurements*. Elsevier.
- [8]. MacGregor, L., Sinha M y Constable S. (2001). “Electrical resistivity structure of the Valu Fa Ridge, Lau Basin, from marine controlled-source electromagnetic sounding”. *Geophys J Int* 146. Pp. 217–236.
- [9]. Magnin F., Krautblatter M., Deline P., Ravanel L., Malet E., y Bevington A. (2015). “Determination of warm, sensitive permafrost areas in near-vertical rockwalls and evaluation of distributed models by electrical resistivity tomography”. *J. Geophysical Res.*, 120(5). Pp. 745-762.
- [10]. Orellana, E. (1982). “Prospección geoelectrica en corriente continua”. Paraninfo.
- [11]. Reynolds J.M. (1997). “An introduction to applied and environmental Geophysics. Jhon Wiley and Sons. Pp. 796.
- [12]. Román, J.S. (2016). “Prospección Geofísica”. Salamanca, España: Universidad de Salamanca.
- [13]. Samouëlian A., Cousin I., Tabbagh A., Bruand A., and Richard G. (2005). “Electrical resistivity survey in soil science: a review”. *Soil Tillage Res.*, 83. Pp. 173-193.
- [14]. Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E. (1990). “Applied Geophysics”, Cambridge University Press, Cambridge.

7 ANEXOS

7.1 Anexo A. Prospecciones Geoeléctricas

7.2 Anexo B. Curvas Teóricas

7.3 Anexo C. Algoritmo utilizado por software IPI2Win

7.4 Anexo D. Interpretación Cuantitativa y Cualitativa

7.5 Anexo E. Comparación de estratigrafías obtenidas por SEV y SPT

7.6 Anexo F. Comparación de resistencia de suelos obtenidos por SEV y SPT

7.7 Anexo G. Ensayos de Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

7.8 Anexo H. Ensayos de Penetración Estándar (SPT)

ANEXO A
PROSPECCIONES GEOELÉCTRICAS

La finalidad de las prospecciones geoeléctricas es conocer la forma, composición y dimensiones de estructuras o cuerpos inmersos en el subsuelo a partir de medidas en la superficie, consiguiendo trazar una cartografía de resistividades aparentes. Se dividen en dos tipos:

- Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)
- Calicatas Eléctricas (CE)

Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)

a) Configuración Wenner

En este dispositivo los electrodos AMNB son equidistantes entre sí, a una distancia a . En la figura se observa esquemáticamente la disposición de los electrodos.

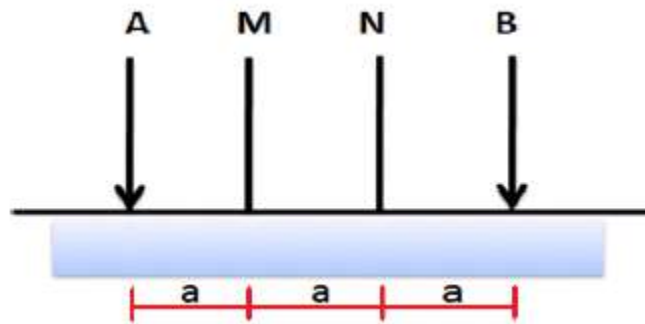


Figura A1. Esquema de la configuración electroda del dispositivo wenner.

El factor geométrico del dispositivo se deduce:

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1}$$

Donde:

$$AM = MN = NB = a$$

Entonces se tiene:

$$k = 2\pi a$$

Deduciendo que la resistividad aparente para este dispositivo es:

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I}$$

b) Configuración Polo-Dipolo

En este dispositivo un electrodo de corriente se lleva a una gran distancia (teóricamente en el infinito) de los otros tres (AMN).

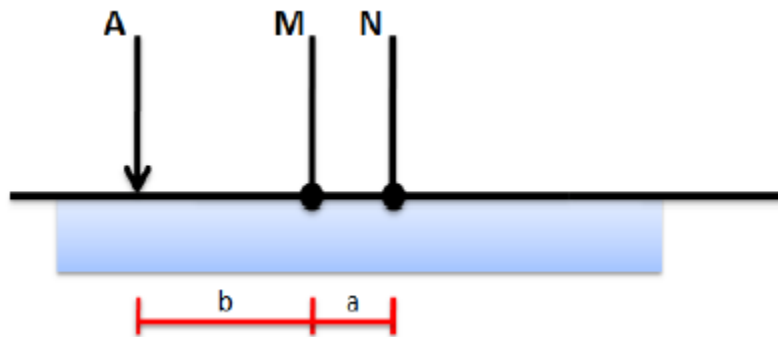


Figura A2. Dispositivo Polo-Dipolo.

El factor geométrico del dispositivo en este caso es:

$$k = 2\pi \frac{b(b+a)}{a}$$

Calicatas eléctricas

La finalidad de las Calicatas Eléctricas (CE) es obtener un perfil de las variaciones laterales del subsuelo fijada una profundidad de investigación. Esto lo hace adecuado para la detección de contactos verticales, cuerpos y estructuras que se presentan como heterogeneidades laterales de resistividad (Gasulla, 1999).

Experimentalmente, la CE consisten en trasladar lateralmente los cuatros electrodos del dispositivo a lo largo de un recorrido, manteniéndose su separación, obteniéndose un perfil de resistividades aparentes a lo largo del aquél.

a) Calicata Wenner

Esta calicata consiste en desplazar los cuatro electrodos AMNB a la vez, manteniendo sus separaciones interelectródica a lo largo de un recorrido, ver Figura A3.

Se representa la distancia del origen, O, al centro de los electrodos MN en abscisas y en ordenadas el valor de ρ_a ($\Omega \cdot m$) para cada distancia x.

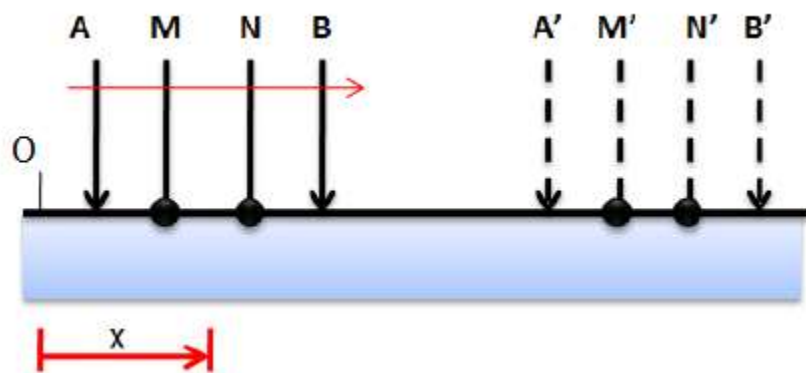


Figura A3. Calicata Wenner.

b) Calicata Schlumberger

En este tipo se pueden citar dos variantes. La primera sería similar a la calicata Wenner, desplazando lateralmente los cuatro electrodos del dispositivo Schlumberger a la vez. La segunda consiste en desplazar los electrodos detectores M y N entre A y B, los cuales están fijos y a una gran distancia de los electrodos detectores, ver Figura A4.

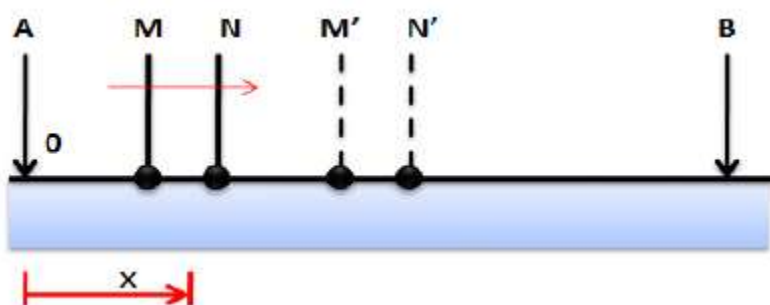


Figura A4. Calicata Schlumberger (segunda variante).

c) Calicata polo – dipolo

La calicata Polo-Dipolo consiste en desplazar los tres electrodos AMN a la vez, manteniendo sus separaciones interelectrodo, a lo largo de un recorrido. Se representa la distancia de un origen escogido al centro de los electrodos MN en abscisas y el valor de la resistividad aparente medida ($\Omega \cdot m$) para cada distancia x en ordenadas. En la calicata polo – dipolo se desplazan los electrodos AM y la resistividad aparente se representa respecto al punto medio entre A y M.

d) Calicata dipolar

Esta calicata basada en el dispositivo dipolar consiste en desplazar los cuatro electrodos ABMN a la vez, manteniendo sus separaciones interelectrónicas, a lo largo de un recorrido (ver Figura A5), se representa la distancia del origen, O, al punto medio entre los dos dipolos en abscisas y en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida ($\Omega \cdot m$) para cada distancia x (m).

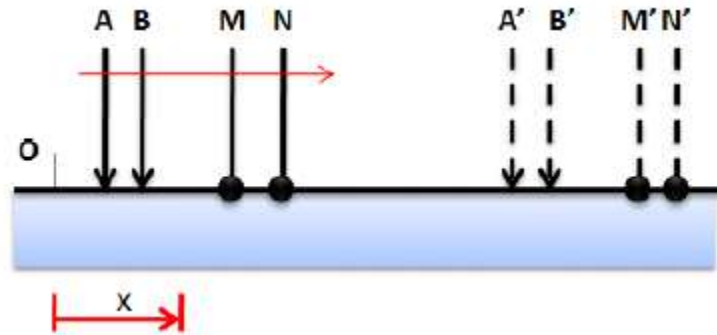


Figura A5. Calicata dipolar. Se desplaza el dispositivo dipolar manteniendo las separaciones.

En general no puede afirmarse que tal o cual tipo de calicata sea superior a los demás. Para cada problema concreto, cada uno de estos tipos presenta ventajas e inconvenientes.

La elección debe tener en cuenta muchos factores, tales como el corte geoelectrico esperado, las características de la zona de trabajo, la clase de prospección, así como factores económicos.

En una curva de resistividad aparente se produce una discontinuidad cada vez que un electrodo pasa sobre cambio lateral de resistividad, por lo que resulta que cuanto mayor sea el número de electrodos movidos más ancha y complicada se hace la anomalía en la curva de resistividad aparente, lo cual hace más difícil la interpretación.

Cada tipo de calicata responde a las heterogeneidades laterales con diferentes resolución e intensidad de cambio, por lo que a la hora de interpretar las curvas de resistividad aparente hay que tener en cuenta el dispositivo electrónico utilizado.

ANEXO B.
CURVAS TEÓRICAS

Existen numerosas curvas teóricas de resistividad llamadas curvas patrón propuestas por Orellana y Mooney (1982) que contemplan combinaciones de capas de diferentes resistividades y espesores, estas curvas se representan en escala logarítmica y están normalizadas, con el objeto de conseguir una reducción en el número de curvas teóricas necesarias e independizarse de las unidades y magnitudes de la medición.

Cada curva patrón representa un corte geoelectrico, componiéndose de n valores de resistividades y $n-1$ espesores, ya que la última capa denominada sustrato tiene siempre espesor infinito.

a) Curva de 1 capa

Cuando el medio es homogéneo e isótropo y con un espesor suficientemente grande, la resistividad aparente permanece constante a lo largo de toda la serie de mediciones.

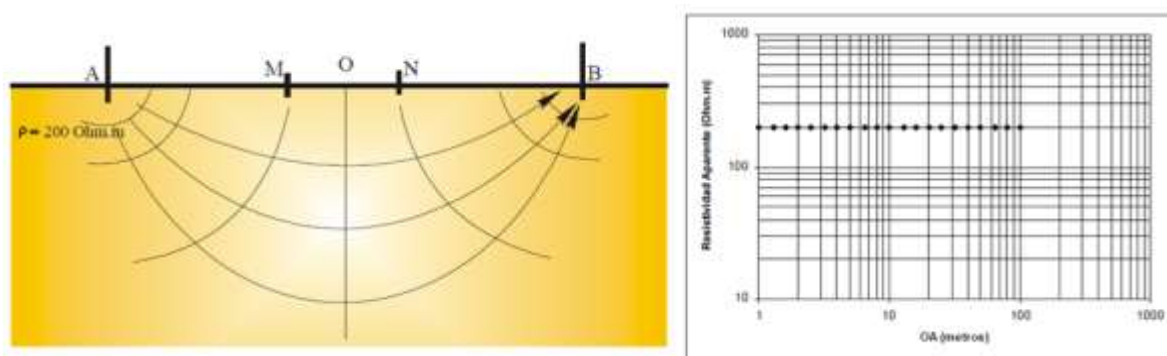


Figura B1. Representación de curva patrón para una capa de espesor.

b) Curva de 2 capas

En este modelo de suelo, existen dos posibles de combinaciones: $\rho_1 < \rho_2$, $\rho_1 > \rho_2$. Cuyas características principales son:

- Tendencia asintótica al comienzo y fin de la curva.
- Un solo punto de inflexión en la gráfica de toda la curva.

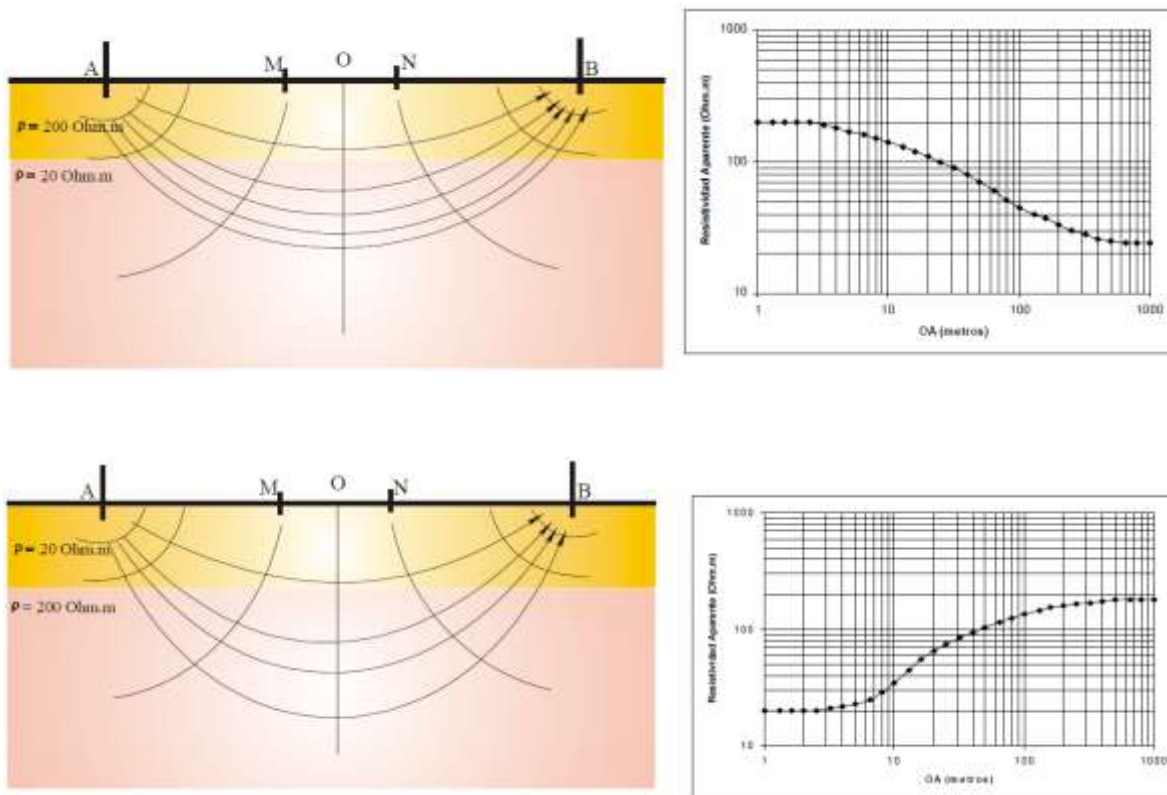


Figura B2. Curva de dos capas.

Cualquier otro corte geoelectrico en que los valores de resistividades estén en los rangos de la representación de curvas de dos capas, nos proporcionará el mismo tipo de curva, simplemente situada más arriba o más abajo del gráfico. Cuando una curva de campo se halla entre dos curvas, los valores correctos pueden ser interpolados. En la siguiente figura, se presentan las posibles curvas patrón de dos capas que se podrían obtener.

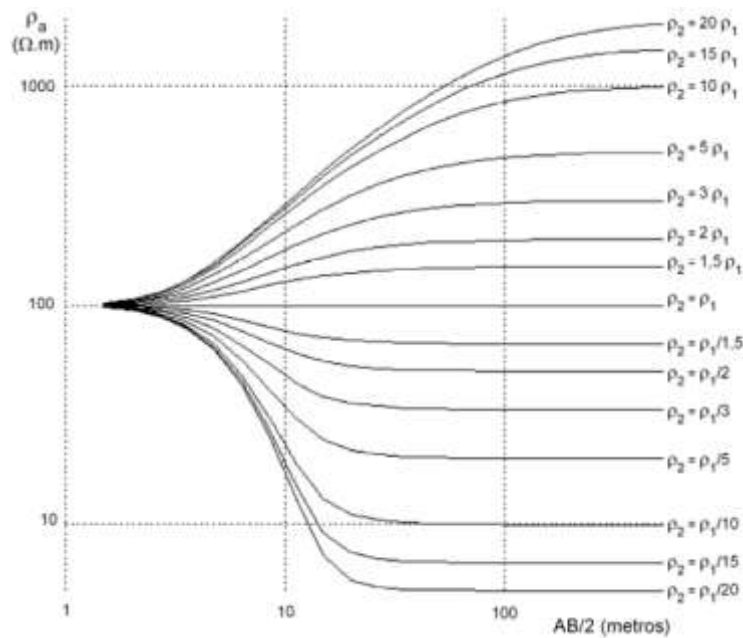


Figura B3. Posibles curvas patrón que se obtendrían sobre dos capas.

Variación de la curva con el espesor de la primera capa

Si se obtiene un resultado en donde $\rho_1 > \rho_2$, la curva generada comenzará desde el valor de resistividad ρ_1 , bajando lentamente hacia el valor de ρ_2 . Si el espesor de la primera capa es mayor, la curva comenzará a bajar más tarde, como se muestra en la siguiente figura.

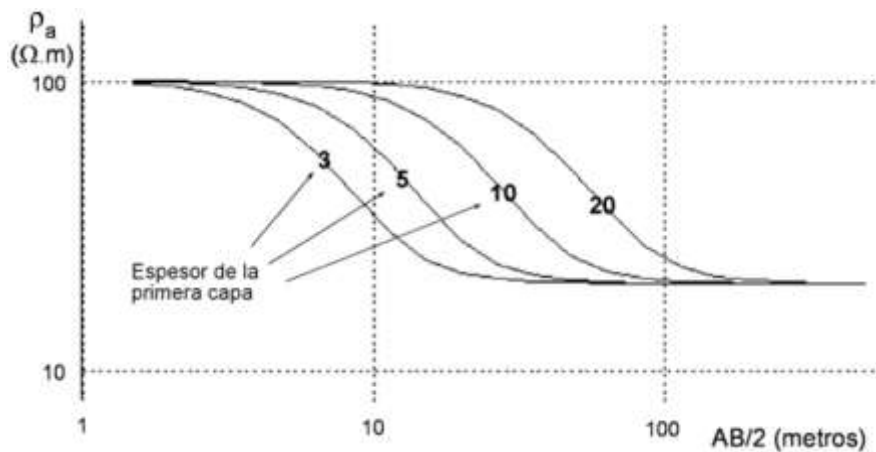


Figura B4. Variación de la curva con respecto al espesor.

c) Corte de 3 capas

En el modelo de tres capas, existen cuatro tipos posibles de combinaciones y se representan letras latinas H, K, Q, A, donde se puede observar que las curvas correspondientes a este modelo poseen puntos de inflexión. En general, una curva de n capas puede tener $2^{(n-1)}$ tipos de combinaciones y (n-1) puntos de inflexión.

1. Tipo H: $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3$
2. Tipo K: $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3$
3. Tipo Q: $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$
4. Tipo A: $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3$

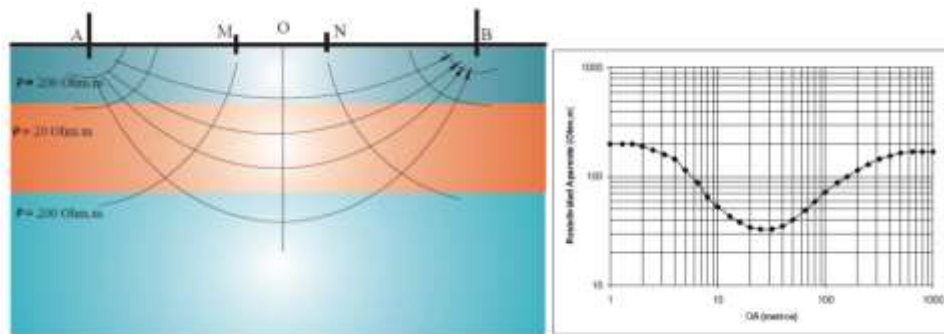


Figura B5. Sondeo eléctrico vertical que muestra la sucesión de tres capas, curva tipo H

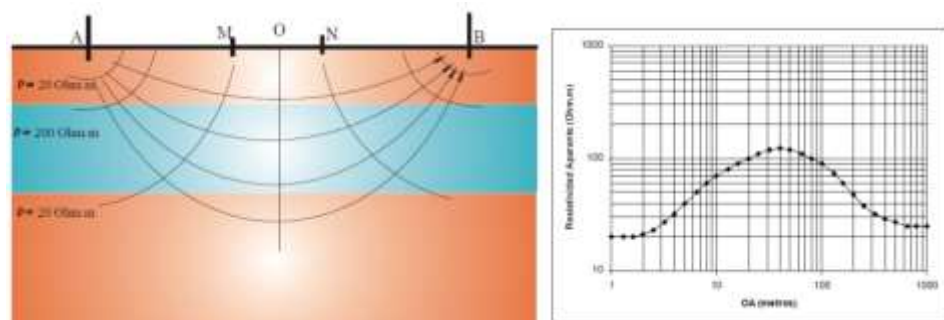


Figura B6. Sondeo eléctrico vertical que muestra la sucesión de tres capas, curva tipo K.

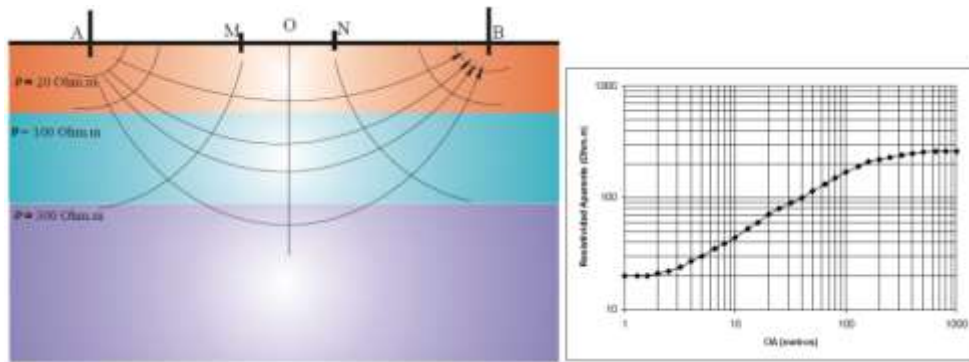


Figura B7. Sondeo Eléctrico Vertical que muestra la sucesión de tres capas, curva tipo A.

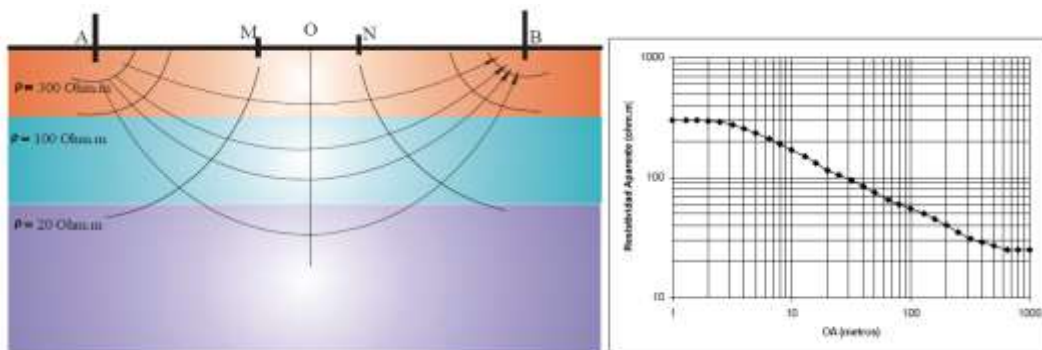


Figura B8. Sondeo Eléctrico Vertical que muestra la sucesión de tres capas, curva tipo Q.

Variación de la curva con el espesor de la segunda capa

Si analizamos la combinación de resistividades $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3$, y suponemos que el espesor de la segunda capa fuera mayor que la primera capa, la curva resultante comienza con un valor de resistividad ρ_1 y comenzaría a bajar hacia el valor de ρ_2 y finalmente para subir a ρ_3 , pero tardaría más en empezar a ascender hacia el valor de resistividad ρ_3 .

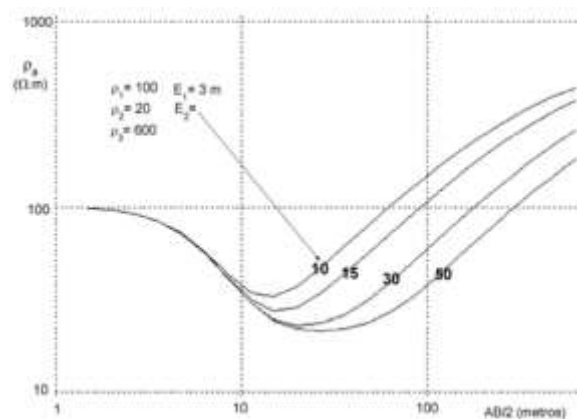


Figura B9. Variación de la curva con el espesor de la segunda capa.

d) Cortes de cuatro y más capas

Los cortes de cuatro capas se distribuyen en 8 grupos, que se designan como combinaciones de lo anteriores, para ello se consideran las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondiente de la lista anterior, luego se hace lo propio con las tres últimas capas. Así, el tipo AA corresponde a la combinación de resistividades $\rho_1 < \rho_2 < \rho_3 < \rho_4$ y el HK a $\rho_1 > \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$. Solo son posibles los tipos siguientes:

HK, HA, KH, KQ, QQ, QH, AK, AA.

Los cortes de cinco o más capas se simbolizan siguiendo el mismo método. Se consideran en primer lugar las tres primeras capas y se les asigna la letra correspondientes al tipo, H, K, Q y A, luego se hace lo mismo con las capas segunda, tercera y cuarta, después con la tercera, cuarta y quinta, etc.

ANEXO C

ALGORITMO UTILIZADO POR IPI2Win

Como mecanismo de llevar a cabo la interpretación cuantitativa en este estudio se empleó el software Ipi2win, desarrollado por la Moscow State University, Geological Faculty, Department Of Geophysics. El cual permite realizar interpretaciones interactivas automatizadas y/o semi-automatizadas de las curvas de datos obtenidas de los Sondeos eléctricos verticales a lo largo de un perfil.

El primer procedimiento del programa es entregar la curva de campo. A partir de esa curva el software propone modelos estratificados horizontalmente, llamadas curvas patrón de Orellna & Mooney (1982), en las que se encuentran almacenadas en una base de datos relacional, diseñando un algoritmo basado en un procedimiento de comparación y validación entre la curva de campo y la curva patrón, generando pruebas y detectando resultados de las comparaciones por medio de la función de error medio cuadrático porcentual.

El software utiliza el método de error de ajuste de calce entre la curva de campo y curva patrón en conjunto con el proceso de la Figura N, para así disminuir el error en la entrega de la curva patrón, facilitando el análisis e identificación de las resistividades y estratos para elegir la curva apropiada. El método de error de ajuste es un cálculo matemático propuesto por Zohdy que consiste en comparar los puntos que componen la curva patrón a analizar con los puntos que componen la curva de campo calculándose el error medio cuadrático porcentual (RMS) mediante la siguiente ecuación:

$$RMS\% = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N \left(\frac{\rho_{oj} - \rho_{cj}}{\rho_{oj}} \right)^2}{N}} * 100$$

Donde:

ρ_{oj} = Resistividad aparente observada

ρ_{cj} = Resistividad aparente calculada

N= Número de puntos de resistividad aparente digitalizada (j = 1 a N).

Cuanto mayor sea el resultado del error medio cuadrático porcentual, mayor es la diferencia entre los puntos de la curva teórica. Según el método propuesto por Zohdy al encontrar un

mínimo determinado menor que 2% respecto a la curva de resistividad aparente o de campo es una curva teórica candidata.

Modelo de Inversión Lineal

El segundo algoritmo que utiliza el software IPI2WIN es un modelo de inversión lineal en el cual consiste en la representación matemática idealizada de una sección del subsuelo donde los parámetros del modelo no son más que cantidades físicas obtenidas de datos observados.

Este problema radica en que varios modelos obtenidos por algún método de inversión coinciden en una misma curva de datos sin representar necesariamente lo que realmente está sucediendo en el proceso físico, es decir para un mismo problema poseemos infinita soluciones, por tal razón que el modelo de inversión desarrollado estará sujeto a restricciones.

El problema de inversión lineal es el siguiente:

$$d = G(m)$$

Donde:

G= operador lineal que describe la relación explícita entre los datos “d” y los parámetros del modelo

m= representación del sistema físico

Un problema inverso lineal que describa a un sistema lineal, d y m son vectores, y G es una matriz. El problema inverso queda descrito como:

$$d = Gm$$

Para encontrar un grupo de soluciones para m, se resuelve integrando numéricamente una ecuación de primer tipo y calculando la solución con menor error estadístico, de la forma:

$$d(x) = \int_a^b g(x, y)m(y)dy$$

El conjunto de parámetros m de solución serán discretos y acotados sólo a los puntos de datos específicos d , lo cual no asegura una representación física real del problema.

Como se ha mencionado anteriormente, la ecuación de resistividad aparente que gobierna el método Schlumberger, está dada por:

$$\rho_a = \frac{\pi L^2}{2l} \left(\frac{\Delta V}{I} \right)$$

Si consideramos la estructura de capas planas a la cual queremos ajustarle un modelo de n capas para un arreglo de tipo Schlumberger, la resistividad aparente, será representada:

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 2L^2 \int_0^\infty \lambda \theta_n(\lambda) J_1(L\lambda) d\lambda \right]$$

Donde:

$$\theta_n(\lambda) = \frac{P_n(u)}{H_n(u) - P_n(u)}$$

$$P_{j+1}(u) = P_j(u) + H_j(u^{-1})k_j u^{D_j}$$

$$H_{j+1}(u) = H_j(u) + P_j(u^{-1})k_j u^{D_j}$$

$$k_j = \frac{(\rho_{j+1} - \rho_j)}{(\rho_{j+1} + \rho_j)}$$

$$H_1 = 1$$

$$P_1 = 0$$

$$u = e^{-2\lambda}$$

$$D_j = t_1 + t_2 + \dots + t_j$$

$J_1(x)$ es una función de Besse de primer orden y t_j es el grosor de la j -ésima capa y n es el número de capas consideradas.

Al reescribir la expresión de resistividad aparente en forma de una serie infinita:

$$Q(N) = P_n(N) + \sum_{i_1}^d [P_n(i) - H_n(i)] Q(N - i)$$

Con $d = \min(D_{n-1}, N - 1)$

Substituyendo lo anterior, finalmente se obtiene:

$$\rho_a = \rho_1 \left[1 + 2 \sum_{N=1}^{\infty} Q(N)(1 + 4N^2/L^2)^{-3/2} \right]$$

Mooney y Orellana (1966) desarrollaron criterios de convergencia para esta y otras expresiones de la resistividad aparente con un error específico. Sin embargo la ecuación (de $Q(N)$) no es completamente convergente por lo que su cálculo resulta engorroso por ello Gosh (1971) propone solucionar el problema mediante la convolución de filtros digitales.

Entonces, podemos escribir la ecuación de resistividad aparente como:

$$\rho_a = L^2 \int_0^{\infty} \lambda \theta(\lambda) J_1(\lambda) d\lambda$$

Y considerando el siguiente cambio de coordenadas:

$$x = \ln(L)$$

$$y = \ln(1/\lambda)$$

La ecuación anterior de resistividad aparente se puede escribir como una convolución de las siguientes funciones:

$$\theta(y)$$

$$b(x) = J_1(\exp(x) * \exp(2x))$$

Tal que:

$$\rho_a(x) = \int_{-\infty}^{\infty} \theta(y) b(x - y) dy$$

La convolución expresada en la ecuación anterior puede escribirse en el dominio de las frecuencias como un simple producto de funciones:

$$F(w) = G(w)H(w)$$

En donde:

$$\rho_a(x) \rightarrow F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} \rho_a(x) e^{-2xi\pi w} dx$$

$$\theta(y) \rightarrow G(w) = \int_{-\infty}^{\infty} \theta(y) e^{-2xi\pi w} dy$$

$$b(x) \rightarrow F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} b(x) e^{-2xi\pi w} dx$$

De tal forma la resistividad aparente para el caso de la configuración Schlumberger está dado por la siguiente expresión:

$$\rho_a = \sum_{j=j_{\min}}^{j=j_{\max}} \theta((i-j)\Delta x) b(j\Delta x)$$

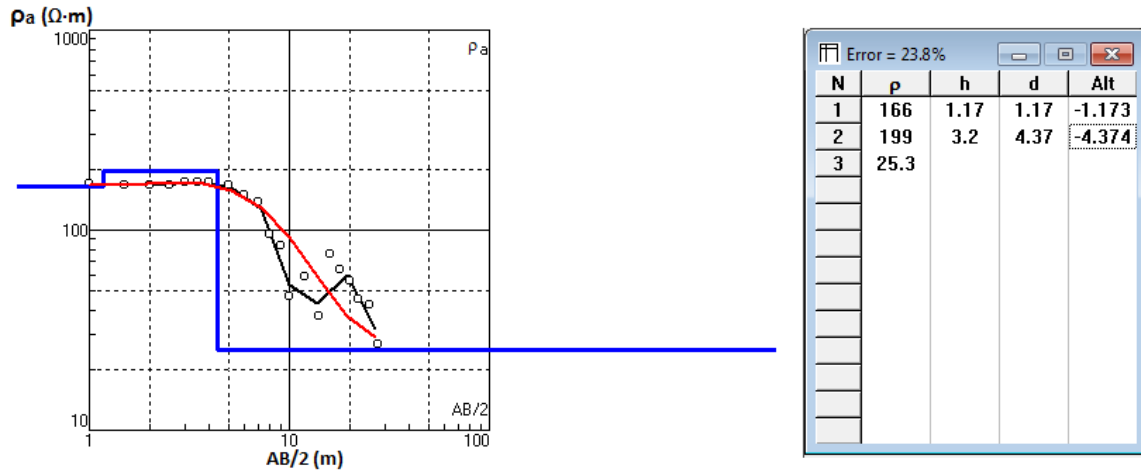
Con j e i representando resistividades y espesores de cada capa.

ANEXO D

INTERPRETACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA

CONCEPCIÓN

SEV 1: Av. Ignacio Collao esq. Calle Tegalda

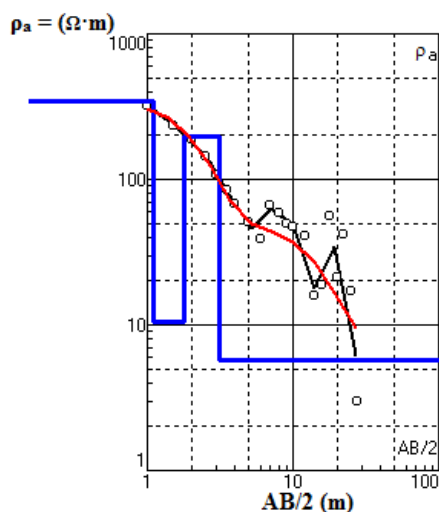


El primer estrato, con un espesor de 1.2 metros y un valor de resistividad de 166 $\Omega \cdot m$, se infiere a un suelo arenoso de grano fino y quizás con predominio de suelo fino ya sea arcilla y/o limo.

El siguiente estrato, entre 1.2 a 4.4 metros de profundidad y una resistividad de 199 $\Omega \cdot m$, muestra un estrato arenoso de grano fino y quizás con predominio de suelo fino en mayor proporción que el anterior estrato.

Finalmente a partir de los 4,4 metros aproximadamente se detecta el último por el SEV, donde se aprecia una resistividad baja, lo que indica que los materiales presentes se encuentran con un porcentaje de humedad media a alta, interpretándose a la predominancia de materiales limosos o arcillosos. En este estrato se podría atribuir el comienzo de la napa freática.

SEV 2: Av. Arturo Prat N°199



Error = 31.6%

N	ρ	h	d	Alt
1	344	1.1	1.1	-1.104
2	10.6	0.682	1.79	-1.786
3	197	1.34	3.12	-3.124
4	5.73			

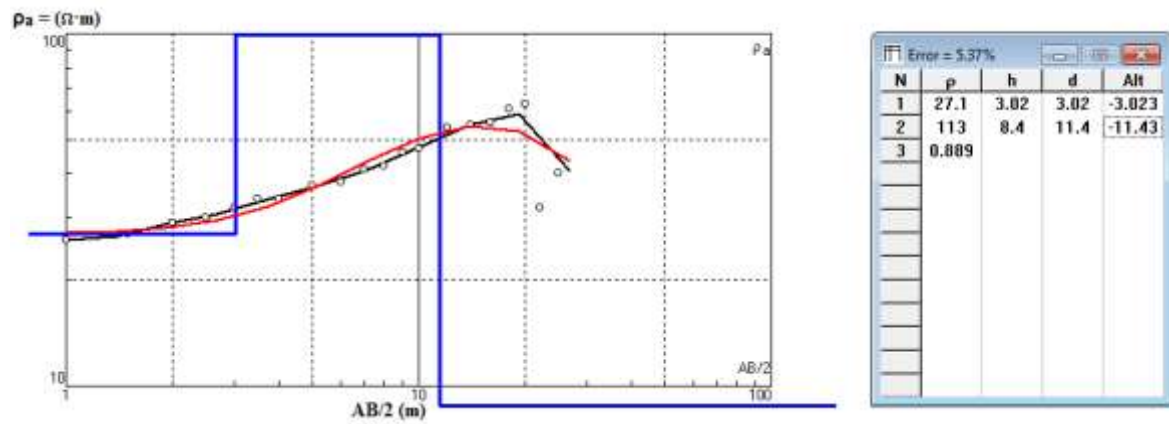
El SEV muestra el primer estrato de aproximadamente unos 1.1 metros de espesor y con resistividad de 344 $\Omega \cdot m$, respuesta que puede estar relacionado a un suelo constituido por arenas de grano medio.

El segundo estrato, de 1.1 a 1.8 metros de profundidad y con resistividad de 11 $\Omega \cdot m$, correspondería a un suelo limoso y/o arcillo, probablemente contenidos en un porcentaje de humedad media.

El tercer estrato con un espesor de 197 $\Omega \cdot m$ correspondería a un suelo arenoso con probabilidad de presentar un porcentaje menor de suelo fino.

Finalmente el último estrato medido, de una resistividad de 6 $\Omega \cdot m$, existe una tendencia conductiva mayor, se infiere que el valor de resistividad calculado está afectado por un porcentaje de humedad alta, por lo que se puede confundir con la presencia de limos y/o arcillas o la posibilidad de arenas de compacidad suelta, facilitando el movimiento del fluido de agua entre los intersticios. En este estrato a partir de los 3.1 metros de profundidad se podría interpretar la presencia del nivel freático.

SEV 3: Hospital regional de Concepción



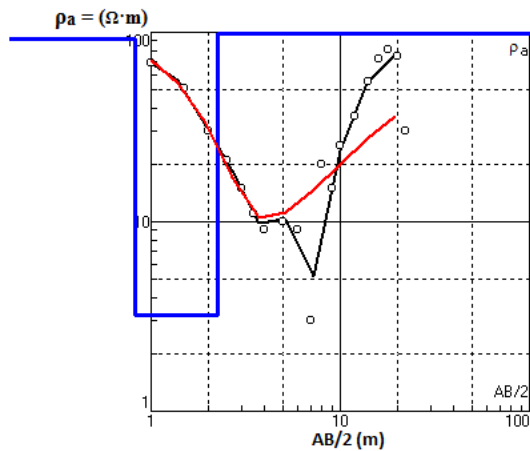
El primer estrato del SEV de 3 metros de profundidad y con una resistividad de $27 \Omega \cdot m$, permite inferir que está conformado por un suelo fino ya sea limoso y/o arcilloso.

Para el segundo estrato, entre 3 a 11 metros de profundidad, correspondería a un suelo arenoso de grano fino y quizás con predominancia de suelo fino.

Finalmente, el último estrato medido por el SEV, se podría inferir que está compuesto de un suelo limoso y/o arcilloso en estado saturado.

Se presencia un posible nivel freático a partir de los 11 metros de profundidad.

SEV 4: Ruta 150- Camino a Penco N°450



Error = 46.7%				
N	p	h	d	Alt
1	92.4	0.823	0.823	-0.8232
2	3.19	1.44	2.26	-2.259
3	237			

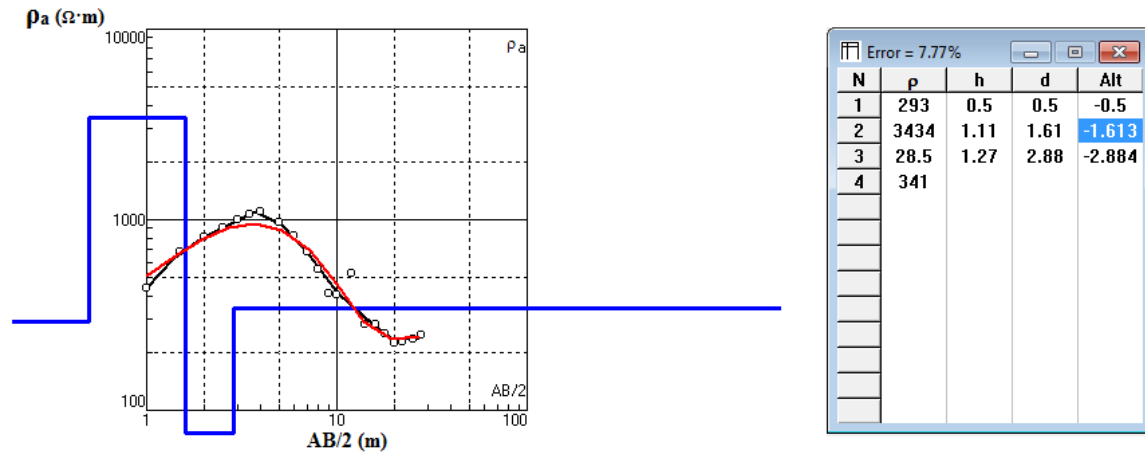
El primer estrato, con resistividad de $92 \Omega \cdot m$ y espesor de 0.8 metros aproximadamente, se interpreta un suelo limoso.

Desde los 0.8 a los 2.3 metros de profundidad, se localiza el segundo estrato con resistividad de $3.2 \Omega \cdot m$, interpretándose a la presencia de suelo arcilloso o arenosos de compacidad suelta, donde el responsable de la conductividad es la saturación presente en el estrato.

Para el tercer estrato que alcanzó a medir el SEV, registró una resistividad de $237 \Omega \cdot m$, infiriéndose a un suelo arenoso de grano fino a medio.

Se podría interpretar la presencia de la napa freática a los 0.8 metros de profundidad, ya que el SEV detectó una mayor conductividad.

SEV 5: Calle Miraflores N°820



Se tiene un primer estrato de aproximadamente unos de 0.5 metros de espesor y con una resistividad de $293 \Omega \cdot m$, interpretándose a un suelo arenoso de grano medio.

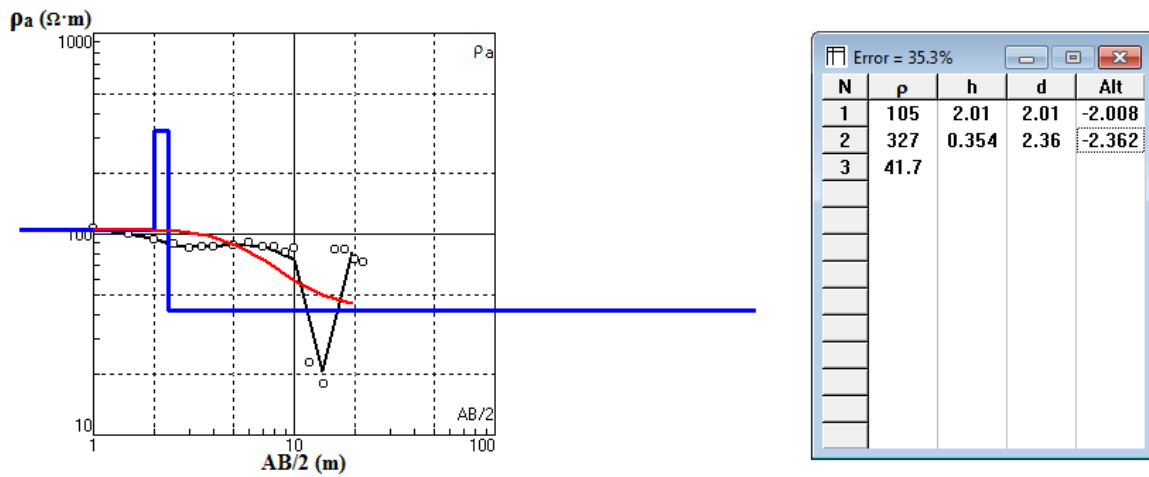
El segundo estrato entre 0.5 a 1.6 metros de profundidad y con un valor alto de resistividad de $3434 \Omega \cdot m$, se interpretaría principalmente a mezclas de gravas y arenas de grano grueso y probablemente de compacidad densa.

El tercer estrato que alcanzó a medir el SEV, con una resistividad de $29 \Omega \cdot m$, se interpretaría a un suelo limoso y/o arcilloso con un contenido de humedad media.

Finalmente el último estrato, con un valor de resistividad de $341 \Omega \cdot m$ se interpreta a suelo arenoso de grano medio.

No se observa un estrato altamente conductivo, como para deducir la presencia de la napa freática.

SEV 6: Av. 7 Lagunas N°1073 – Lomas de San Sebastián



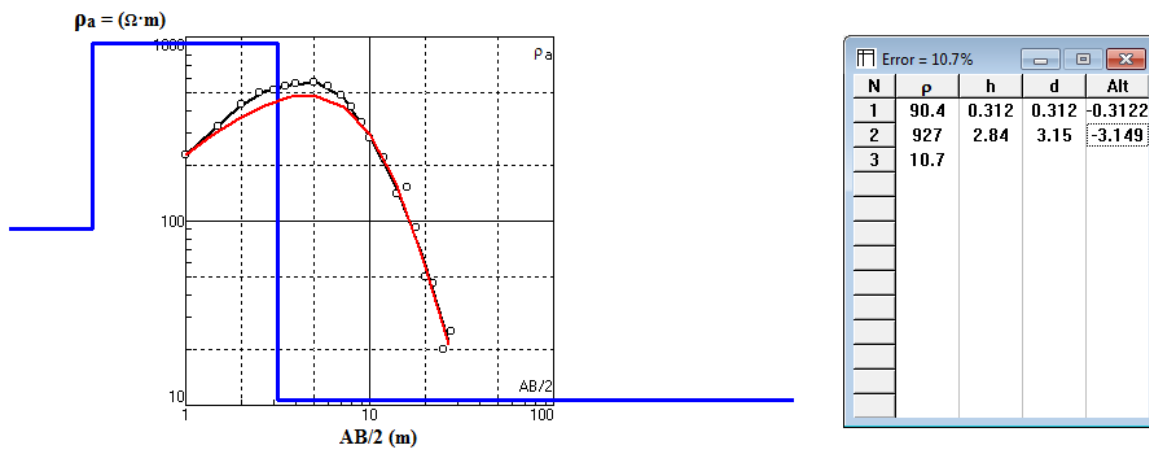
El SEV muestra una primera capa de aproximadamente 2 metros de espesor y con una resistividad de $105 \Omega \cdot m$, compuesto de arena fina con presencia de suelo fino.

Desde los 2 a 2.4 metros se localiza el segundo estrato, resultando un valor de resistividad de $327 \Omega \cdot m$, valor asociado a un suelo arenoso de grano fino a medio.

Finalmente para el último estrato con un valor de resistividad de $42 \Omega \cdot m$ se podría inferir a la existencia de arcillas y/o limos.

No se deduce presencia de nivel freático ya que no existe un estrato altamente conductivo.

SEV 7: Calle Hernando de Santillán N°153- Lomas de San Andrés



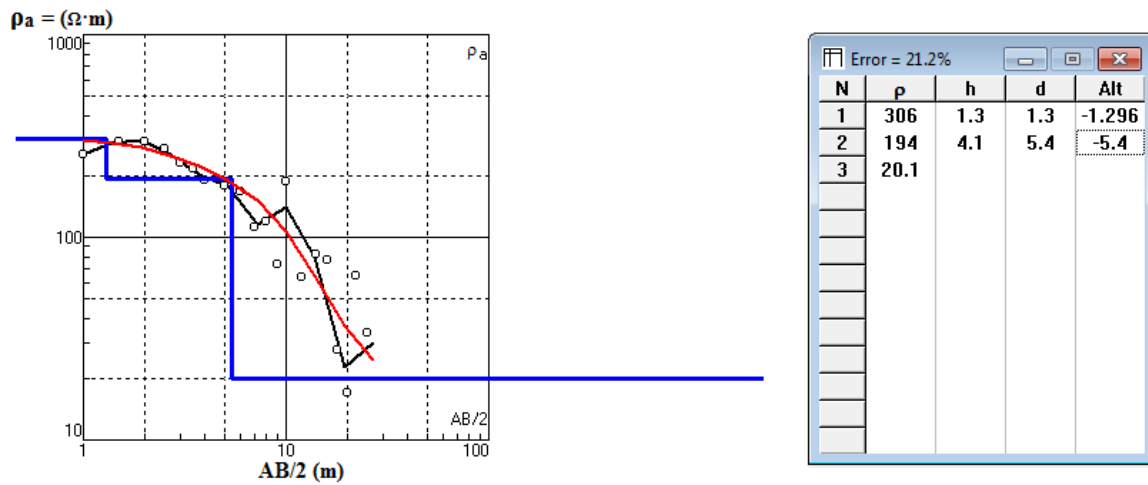
Para el primer estrato, de 0.3 metros de profundidad y con una resistividad de 90 $\Omega \cdot m$, se infiere a un suelo limoso.

Desde 0.3 a 3.2 metros de profundidad corresponde al segundo estrato, con valor de resistividad de 927 $\Omega \cdot m$, el cual se infiere a mezclas de gravas y arenas.

Finalmente, el último estrato medido por el SEV, muestra una resistividad del orden de 11 $\Omega \cdot m$, cuya interpretación podría corresponder a un suelo limoso y/o arcilloso con un porcentaje de humedad media.

Se interpreta que la napa freática podría estar presentada desde los 3.1 metros de profundidad aproximadamente.

SEV 8: Calle Binimelis esq. O'higgins



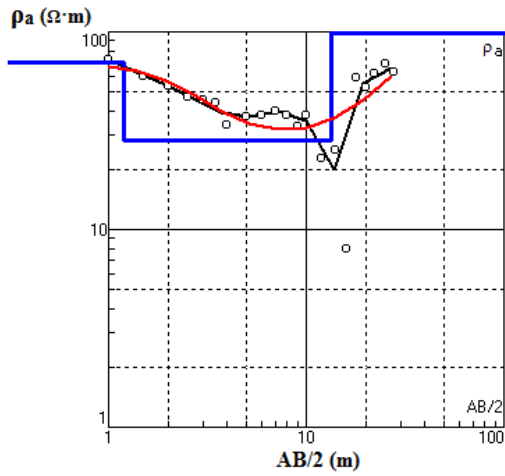
El primer estrato del SEV, con un valor de resistividad de 306 $\Omega \cdot m$ y un espesor de 1.3 metros de profundidad, se infiere a arena de grano fino a medio.

Desde 1.3 a 5.4 metros de profundidad se localiza el segundo estrato, con resistividad de 194 $\Omega \cdot m$, interpretándose a un suelo arenoso de grano fino.

Finalmente, el último estrato con resistividad de 20 $\Omega \cdot m$ aproximadamente, se podría interpretar un suelo fino ya sea limoso y/o arcilloso.

Se interpreta que el nivel freático podría estar presentado desde los 5.4 metros de profundidad aproximadamente.

SEV 9: Los Terreones, calle 3



Error = 20.9%

N	p	h	d	Alt
1	70.1	1.2	1.2	-1.2
2	28.4	12.2	13.4	-13.43
3	4360			

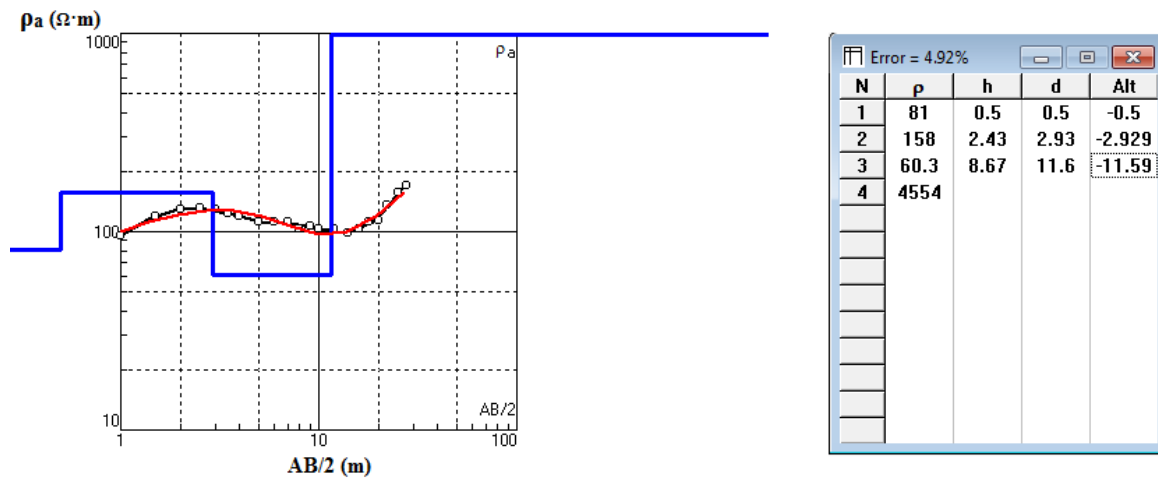
El primer estrato, con un espesor de 1.2 metros de profundidad y una resistividad de 70 $\Omega \cdot m$, se infiere un suelo limoso.

El segundo estrato, con una resistividad de 28 $\Omega \cdot m$ y un espesor de 12 metros aproximadamente, se puede interpretar a la predominancia de materiales limosos y/o arcillosos o de un suelo arenoso de compacidad suelta, presentándose con un porcentaje de humedad media a alta.

Finalmente para el último estrato que logró medir el SEV, presenta un valor de resistividad alto de 4360 $\Omega \cdot m$, que puede indicar la presencia de roca.

Se interpreta que la napa freática podría estar presentada a los 1.2 metros aproximadamente.

SEV 10: Sector Santa Sabina, Barrio Norte



El SEV muestra un primer estrato de 0.5 metros y con resistividad de $81 \Omega \cdot m$, que podría estar compuesto de limos.

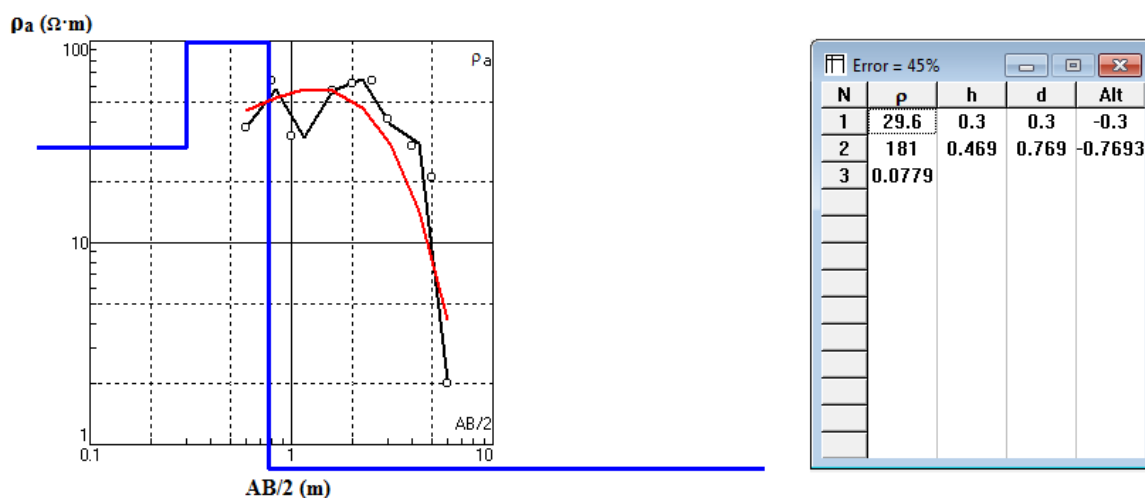
El segundo estrato con una resistividad de $158 \Omega \cdot m$ y un espesor de 2.4 metros, se interpretaría a un suelo arenoso de grano fino.

Desde los 2.9 a 12 metros de profundidad y con una resistividad de $60 \Omega \cdot m$ aproximadamente, se encuentra el tercer estrato, lo que permite inferir que este estrato está conformado por suelo limoso.

Finalmente, el último estrato, con un alto valor de resistividad de $4554 \Omega \cdot m$, se infiere la presencia de la roca.

Ya que el SEV no detectó un estrato mayormente conductivo, se infiere que no se presencia napa freática.

SEV 11: Las Heras N° 1464



El primer estrato de 0.3 metros de espesor y con una resistividad de $30 \Omega \cdot m$, se infiere a un suelo limoso y/o arcilloso.

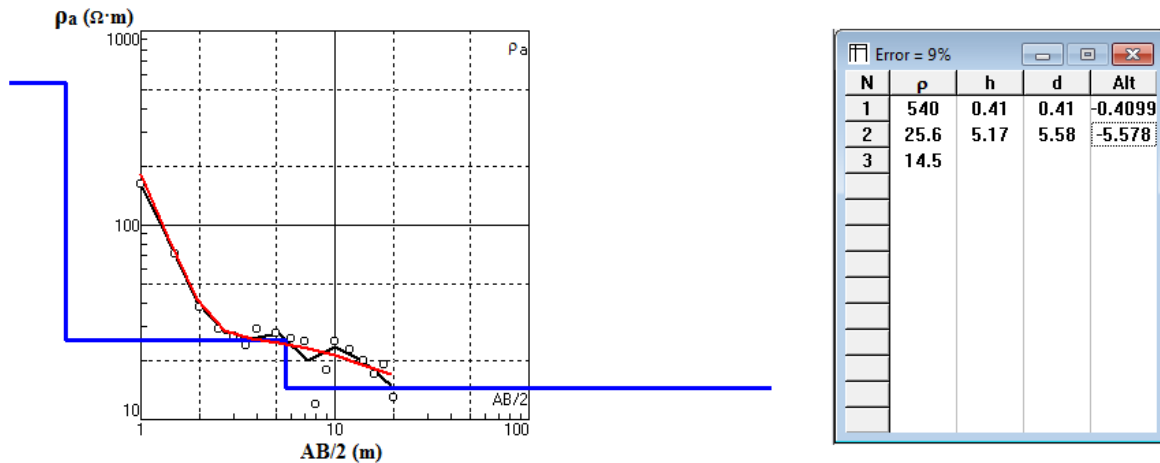
El segundo estrato de 0.5 metros de espesor y una resistividad de $181 \Omega \cdot m$, correspondería a un suelo arenoso de grano fino.

Finalmente, desde los 0.8 metros se encuentra el tercer estrato, con una resistividad de $0.1 \Omega \cdot m$, en este estrato existe una tendencia conductiva mayor, afectado por una mayor concentración de sales, por lo que se podría pensar que se trataría de materiales permeables, saturados con agua o en su defecto a la predominancia de materiales limosos y/o arcillosos saturados.

Se interpreta la presencia de la napa freática desde los 0.8 metros de profundidad, ya que el SEV detectó una mayor conductividad.

TALCAHUANO

SEV 1: Av. Colon N° 1165

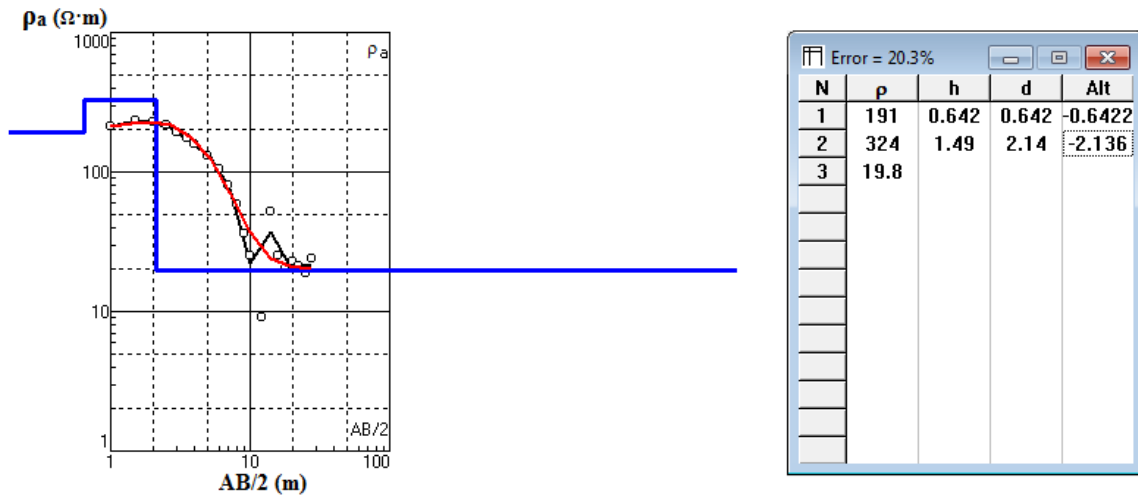


El primer estrato con una resistividad de 540 $\Omega \cdot m$ y de 0.4 metros de profundidad aproximadamente, se interpreta a materiales constituidos por grava y arena de grano grueso.

Para el segundo y tercer estrato, con resistividades de 26 $\Omega \cdot m$ y 15 $\Omega \cdot m$ respectivamente, se interpretaría a un suelo limoso y/o arcilloso, en ambos estratos se aprecia un valor de resistividad menor, posiblemente con un porcentaje de humedad media a alta.

Se podría interpretar la presencia de la napa freática a los 5.6 metros de profundidad, ya que el SEV detectó una mayor conductividad.

SEV 2: Calle I N° 990, Brisas del Sol

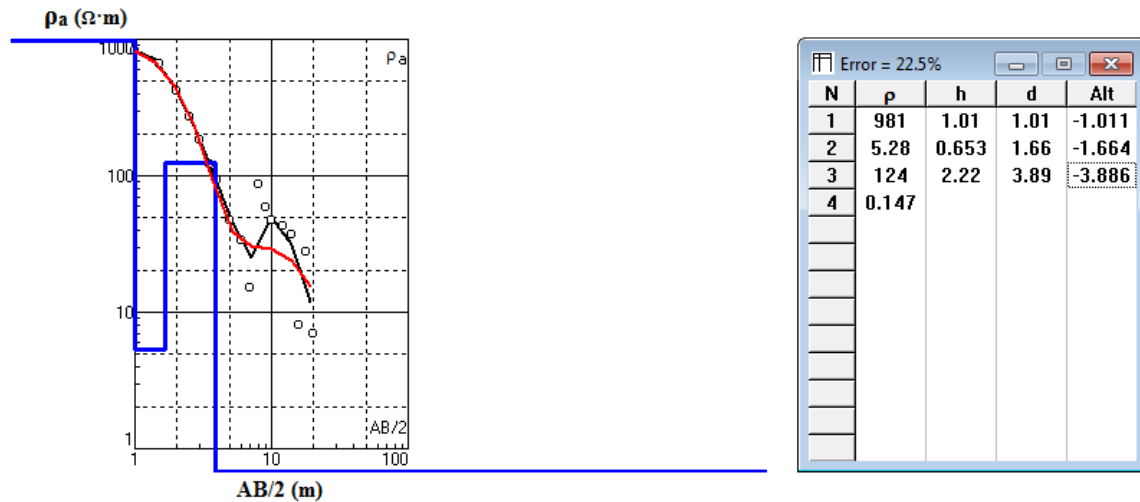


La primera capa del SEV con resistividad de $191 \Omega \cdot m$ y un espesor de 0.6 metros, se infiere un suelo arenoso de grano fino.

El segundo estrato, de 0.6 metros hasta 2 metros de profundidad, con una resistividad de $324 \Omega \cdot m$, se interpretaría a un suelo arenoso probablemente indicando un aumento considerable en el tamaño de grano.

El tercer estrato medido por el SEV de resistividad de $20 \Omega \cdot m$, corresponde a un suelo limoso y/o arcilloso, para este estrato se aprecia una resistividad baja, lo que indica que estos materiales podrían estar influenciados por un porcentaje de humedad alta. En este estrato a partir de los 2 metros de profundidad aproximadamente se podría interpretar la presencia del nivel freático.

SEV 3: Calle J N° 889, sector Brisa del Sol



El primer estrato de 1 metro de espesor aproximadamente, se deduce a una mezcla de gravas y arena de grano grueso y posiblemente de compacidad densa.

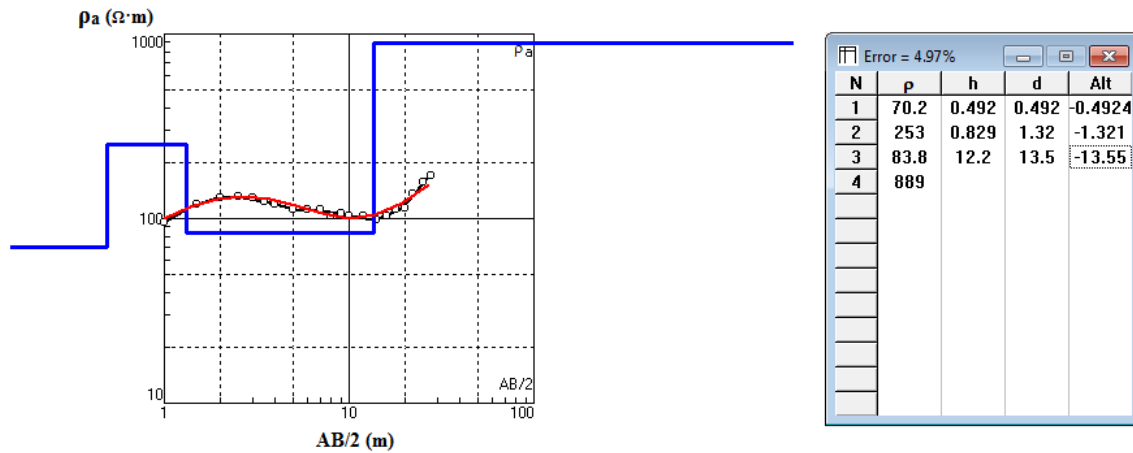
El siguiente estrato, que aparece desde 1 metro, con un espesor de 0.7 metros y una resistividad de $5 \Omega \cdot m$, se interpretaría a suelo arcillosos y/o limosos y posiblemente contenidos en un porcentaje de humedad media a alta.

El tercer estrato con una resistividad de $124 \Omega \cdot m$ correspondería a un suelo arenoso de grano fino y probablemente contenidos en un porcentaje de humedad.

Finalmente el último estrato con una resistividad de $0.15 \Omega \cdot m$ correspondería a un suelo fino ya sea arcilloso y/o limoso o en su defecto a materiales permeable como arenas provocando que el fluido de agua fluya por sus intersticios.

Se podría deducir que el nivel freático se presenta a una profundidad aproximadamente de 1 metro.

SEV 4: Calle LL N° 1201, Sector Brisas del Sol



El primer estrato mostrado por el SEV de un espesor de 0.5 metros de profundidad y con un valor de $70 \Omega \cdot m$ de resistividad, se infiere a un suelo limoso.

Con un espesor de 0.8 metros y un valor de resistividad de $253 \Omega \cdot m$ se presenta el segundo estrato, interpretándose a un suelo arenoso fino o la posibilidad de poseer algún tipo de suelo fino ya sea arcilla o limo o ambos.

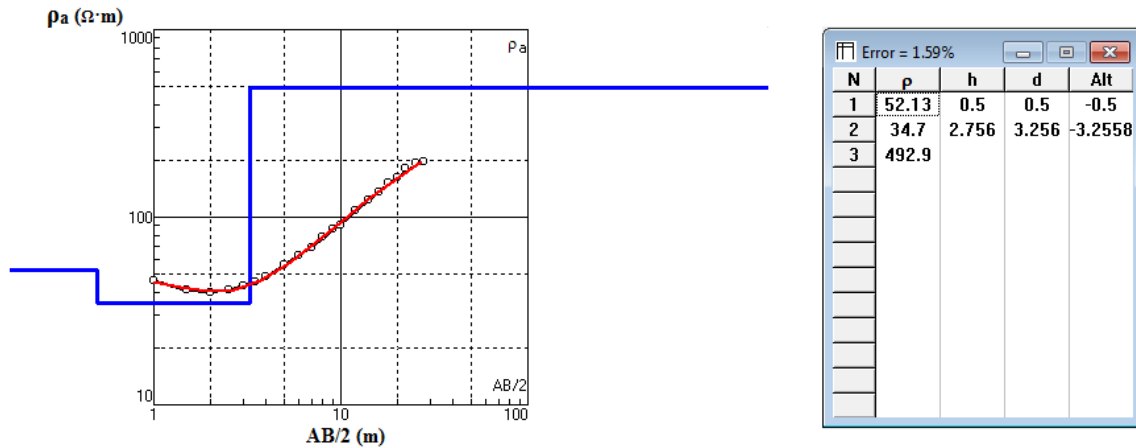
El tercer estrato que detectó el SEV se infiere a un suelo limoso.

Finalmente, el último estrato con un valor de resistividad de $889 \Omega \cdot m$ se infiere un suelo constituidos por mezcla de arena y gravas, y posiblemente con un grado de compactación alta.

No se infiere presencia de nivel freático.

SAN PEDRO DE LA PAZ

SEV 1: Av. Jhon Macnab N° 3650, Sector fundo El Venado



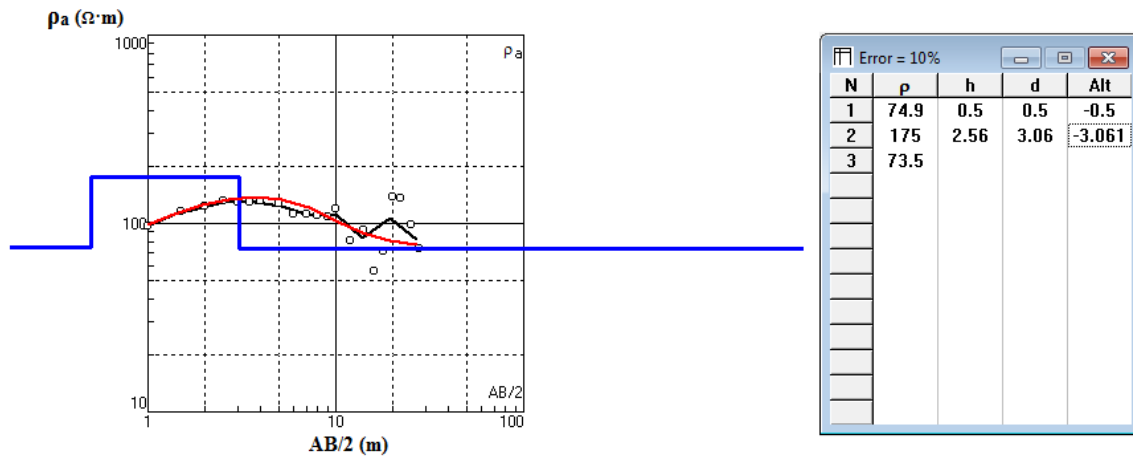
El primer estrato de 0.5 metros de espesor y una resistividad de $52 \Omega \cdot m$, se infiere un suelo limoso y/o arcilloso.

El segundo estrato, con una resistividad de $35 \Omega \cdot m$ y un espesor de 2.8 metros de profundidad, correspondería a un suelo limoso y/o arcilloso con un porcentaje de humedad media.

Finalmente, el último estrato con una resistividad de $493 \Omega \cdot m$, se deduce a un suelo compuesto de mezcla de gravas y arena de grano medio a grueso.

Se interpreta que la napa freática podría estar presentada a partir de los 0.5 metros de profundidad.

SEV 2: Av. Jhon Macnab N° 3250, sector fundo El Venado



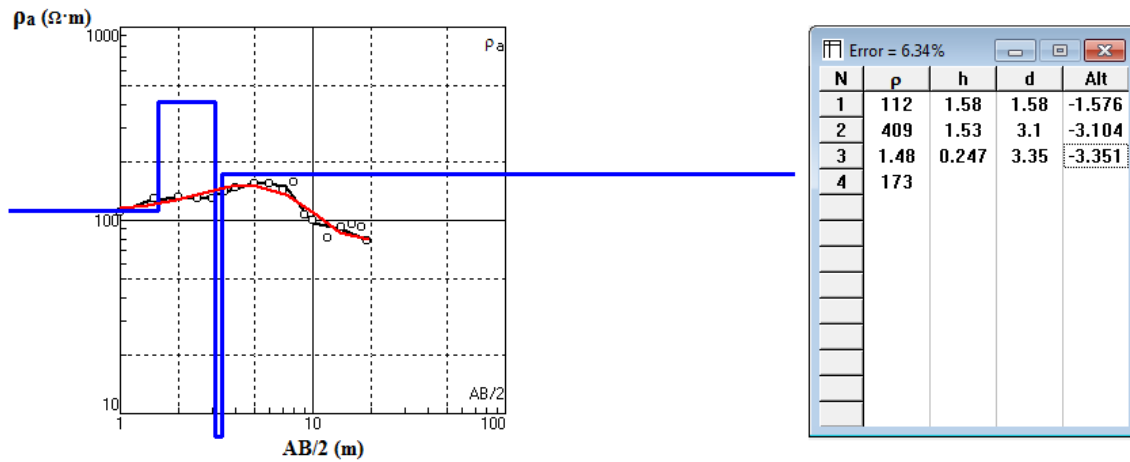
El primer estrato que muestra el SEV, de una resistividad de $75 \Omega \cdot m$ y un espesor de 0.5 metros de profundidad, se infiere la presencia de suelo limoso.

Desde los 0.5 a 3.1 metros de profundidad y una resistividad de $175 \Omega \cdot m$, corresponde a un suelo arenoso de grano fino.

El tercer estrato, con un valor de resistividad de $74 \Omega \cdot m$, se infiere la presencia de suelo limoso.

El SEV no detectó un estrato altamente conductivo para la interpretación de una posible napa freática.

SEV 3: Av. Andalue N° 2350



El primer estrato con un espesor de 1.6 metros de profundidad y una resistividad de 112 $\Omega \cdot m$ se infiere un suelo arenoso de grano fino.

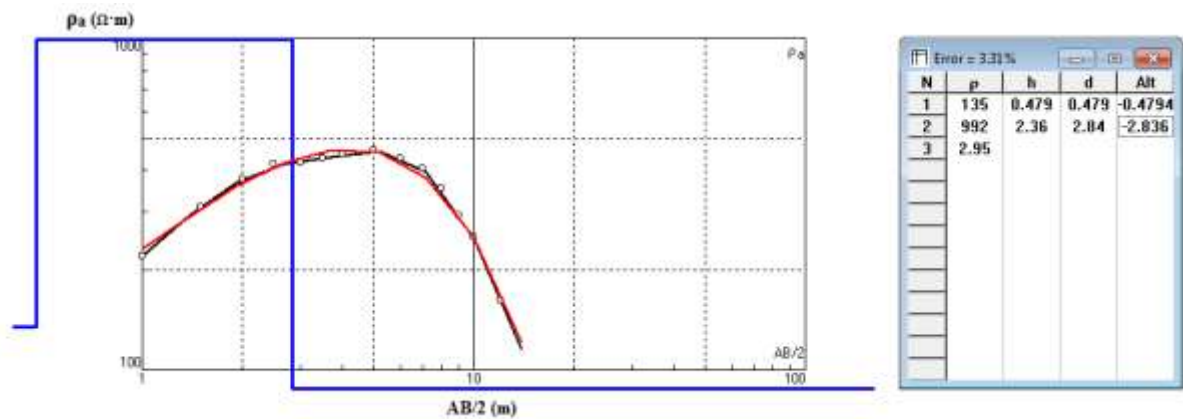
Desde una profundidad de 1.6 metros hasta 3.1 metros, se encuentra el segundo estrato con un valor de resistividad de 409 $\Omega \cdot m$ infiriéndose a un suelo arenoso de grano fino a medio.

El tercer estrato con un valor de resistividad de 1.5 $\Omega \cdot m$, se interpreta un suelo fino, ya sea limoso o arcillo o mezcla de ambas y probablemente encontrándose en un estado saturado.

Finalmente, el último estrato con una resistividad de 173 $\Omega \cdot m$ se interpreta un suelo arenoso de grano fino y posiblemente presentando suelo fino ya sea limo y/o arcilla.

Se infiere que la presencia de nivel freático podría estar a una profundidad de 3.1 metros.

SEV 4: Antuco N° 350, sector Cumbres de Andalue



El primer estrato mostrado por el SEV, con un valor de resistividad de 135 $\Omega \cdot m$ y un espesor de 0.5 metros, se infiere un suelo arenoso fino.

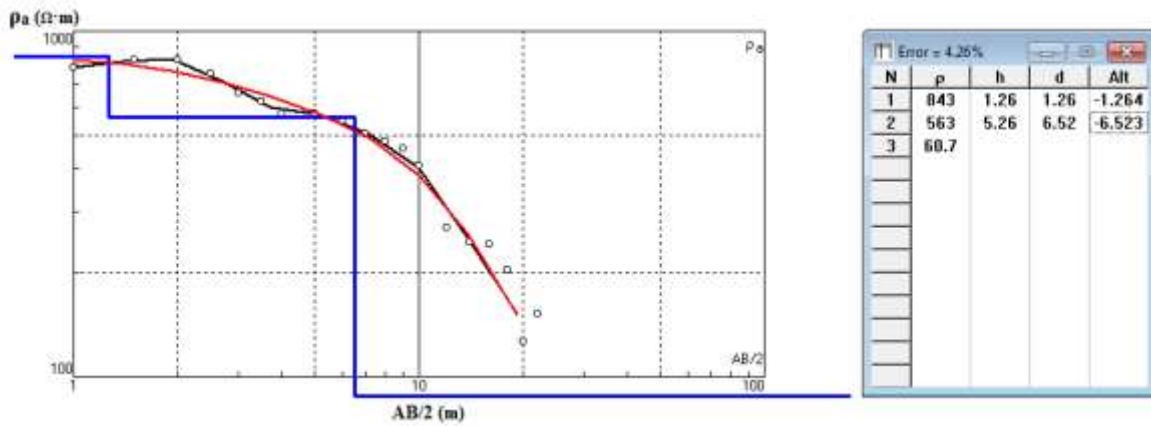
Desde los 0.5 hasta los 2.8 metros se encuentra el segundo estrato, con un valor de resistividad de 992 $\Omega \cdot m$ interpretándose a mezclas de suelo arenoso de grano grueso con gravas y probablemente de compacidad densa.

El último estrato que detectó el SEV presenta un valor de resistividad bastante bajo atribuyéndolo a una posible saturación, conformado por suelo fino ya sea limo y/o arcilla.

Se interpreta que el nivel freático comenzaría desde una profundidad de 3 metros aproximadamente.

CHIGUAYANTE

SEV 1: Los Aromos N° 121



El SEV muestra el primer estrato de 1.3 metros, infiriéndose a mezcla de gravas y arena de grano grueso.

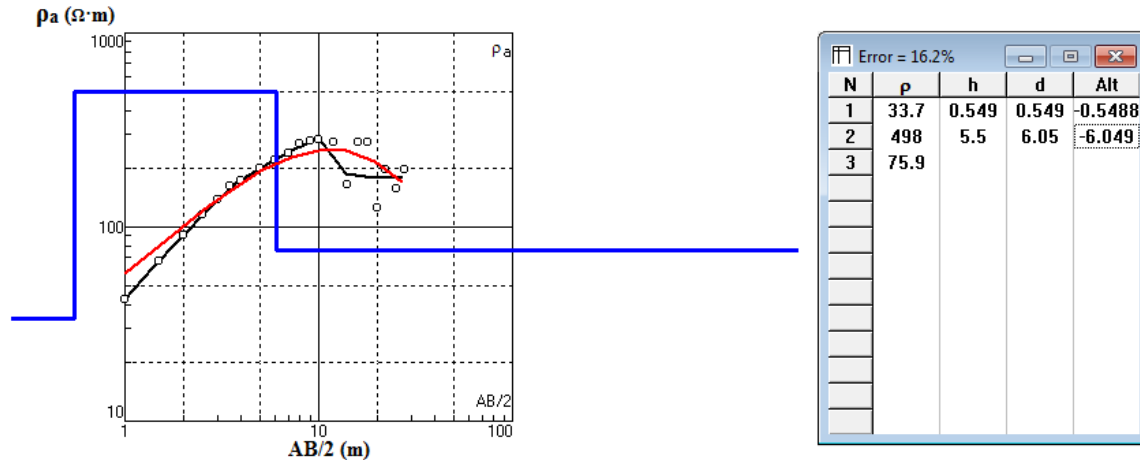
Con una resistividad de 563 $\Omega \cdot m$ y un espesor de 5.3 metros, se localiza el segundo estrato, interpretándose a materiales constituidos de grava y arena de grano medio a grueso.

Finalmente, el último estrato con una resistividad de 61 $\Omega \cdot m$, se podría interpretar que está constituido por materiales limosos.

El SEV no detectó un estrato altamente conductivo por lo que no se interpreta una posible napa freática.

CORONEL

SEV 1: Parque Escuadrón II – Km. 17,5



El primer estrato de 0.5 metros de espesor y con resistividad de $34 \Omega \cdot m$, se interpreta a un suelo limoso y/o arcilloso.

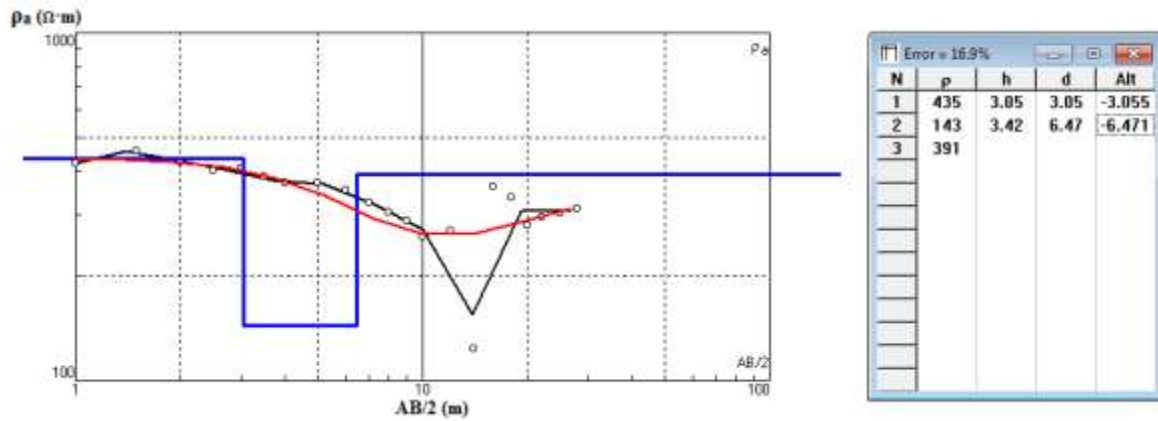
Desde 0.5 a 6.1 metros de profundidad y con una resistividad de $498 \Omega \cdot m$, correspondería a un suelo arenoso de grano medio a grueso.

El ultimo estrato medido, con un valor de resistividad de $76 \Omega \cdot m$, se podría inferir a un suelo limoso.

No se presencia napa freática, debido a que no existe un estrato altamente conductivo.

TOMÉ

SEV 1: Río Pingueral s/n, localidad Dichato

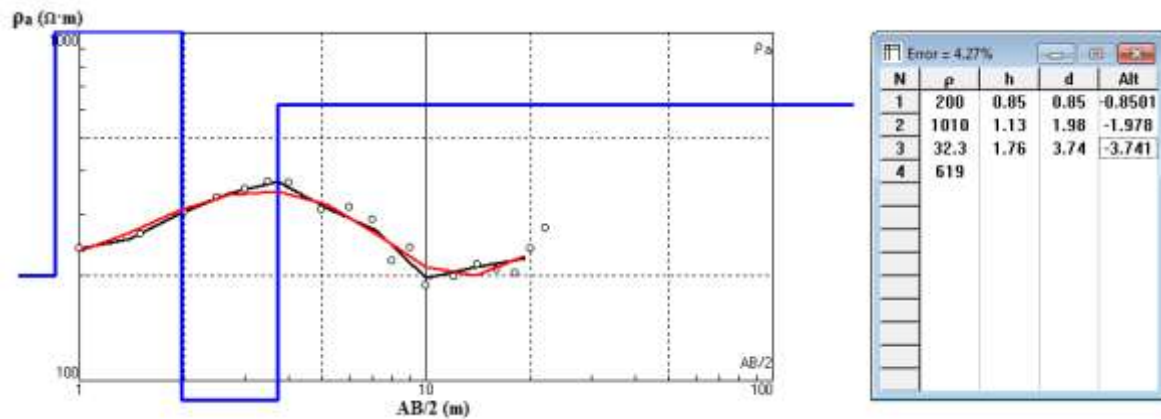


El primer estrato registró un valor de resistividad de 435 $\Omega \cdot m$ y con un espesor de 3 metros, deduciéndose a arenas de grano medio a grueso.

Se tiene el segundo estrato de aproximadamente unos 3.4 metros de espesor y con una resistividad de 143 $\Omega \cdot m$, respuesta que puede estar relacionada a un suelo arenoso de grano fino.

El tercer estrato con una resistividad de 391 $\Omega \cdot m$, correspondería a un suelo arenoso de grano medio. No se presencia napa freática ya que el SEV no detectó un estrato altamente conductivo.

SEV 2: Bellavista s/n, sector Punta Parra



Se tiene el primer estrato con un espesor de 0.9 metros y con un valor de resistividad de $200 \Omega \cdot m$, en el cual se deduce un suelo arenoso de grano fino a medio.

Desde los 0.9 a 2 metros de profundidad se localiza el segundo estrato con un valor de resistividad de $1010 \Omega \cdot m$, interpretándose a una mezcla de suelo arenoso de grano grueso y gravas.

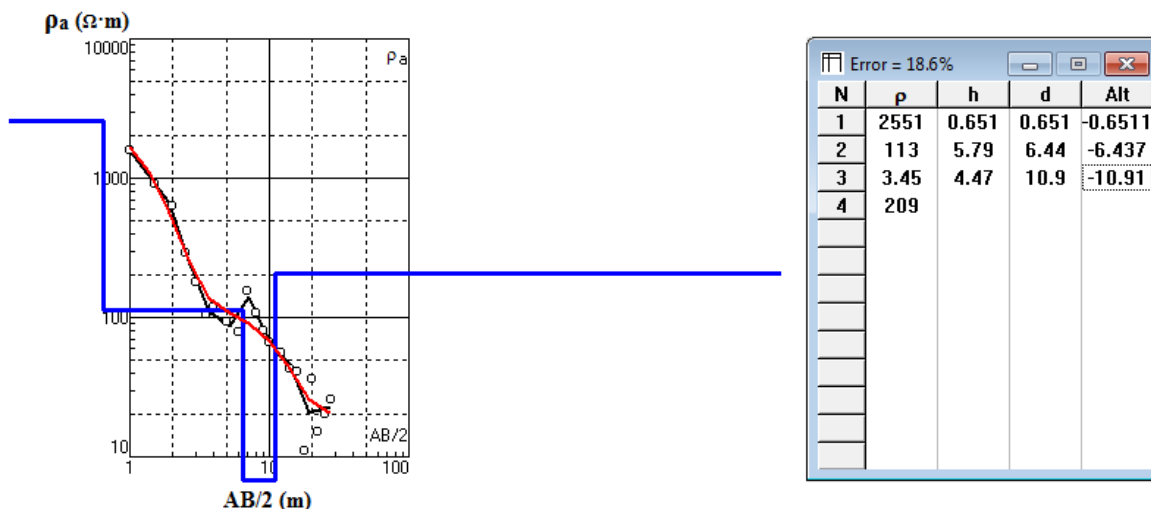
El tercer estrato con una resistividad de $32 \Omega \cdot m$ y un espesor de 1.8 metros, se infiere un suelo limoso y/o arcilloso.

Finalmente, el último estrato con un valor de resistividad de $619 \Omega \cdot m$ se interpreta un suelo arenoso de grano grueso con presencia de gravas.

Se podría inferir que a partir de los 2 metros de profundidad se presencia el nivel freático.

HUALPÉN

SEV 1: Calle Vasco Núñez de Balboa N° 9155



Se tiene el primer estrato de aproximadamente 0.7 metros de espesor y con una resistividad de 2551 $\Omega \cdot m$, respuesta que puede estar relacionada a materiales de menor conductividad, por lo que se podría inferir a la presencia de un relleno artificial.

El segundo estrato detectado con un espesor de 5.8 metros y una resistividad de 113 $\Omega \cdot m$, permite inferir que este estrato está conformado por suelo arenoso con presencia de suelo fino.

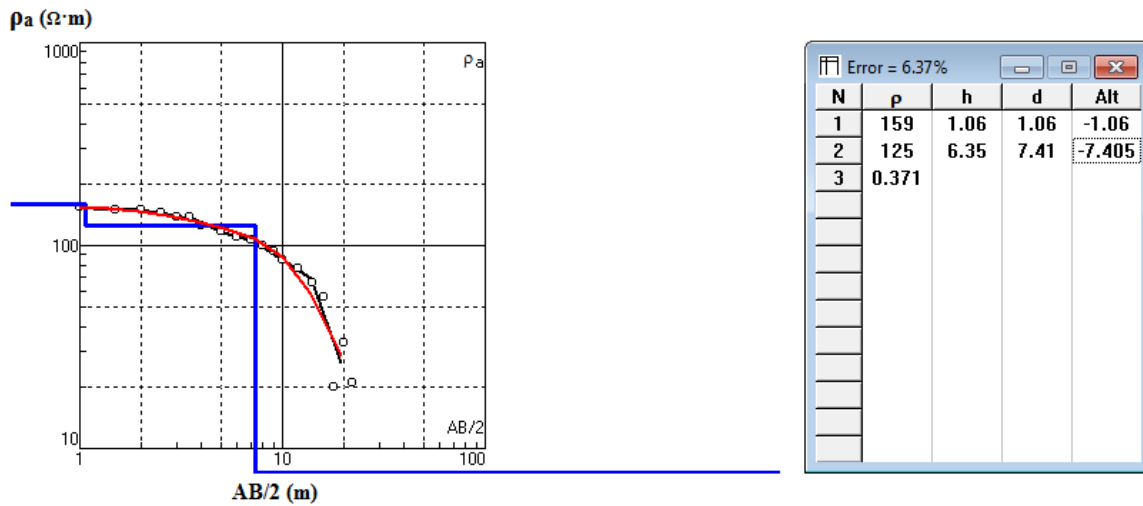
Desde los 6.4 metros de profundidad y con un valor de resistividad de 3.5 $\Omega \cdot m$, corresponde al tercer estrato donde existe una tendencia conductiva mayor, posiblemente por la saturación presente, por lo que se podría pensar que se trataría de materiales permeables o en su defecto a la predominancia de materiales limoso y/o arcilloso.

Finalmente, el último estrato presenta una resistividad de 209 $\Omega \cdot m$, resultado que se le puede atribuir a la presencia de suelo arenoso con un porcentaje de humedad.

Se podría interpretar una posible napa freática a partir de los 6.4 metros de profundidad.

LOTA

SEV 1: Curva Loyola s/n, sector Lota Alto



El primer estrato del SEV, de un espesor de 1.1 metros de profundidad y con una resistividad de $159 \Omega \cdot m$, se infiere un suelo arenoso de grano fino.

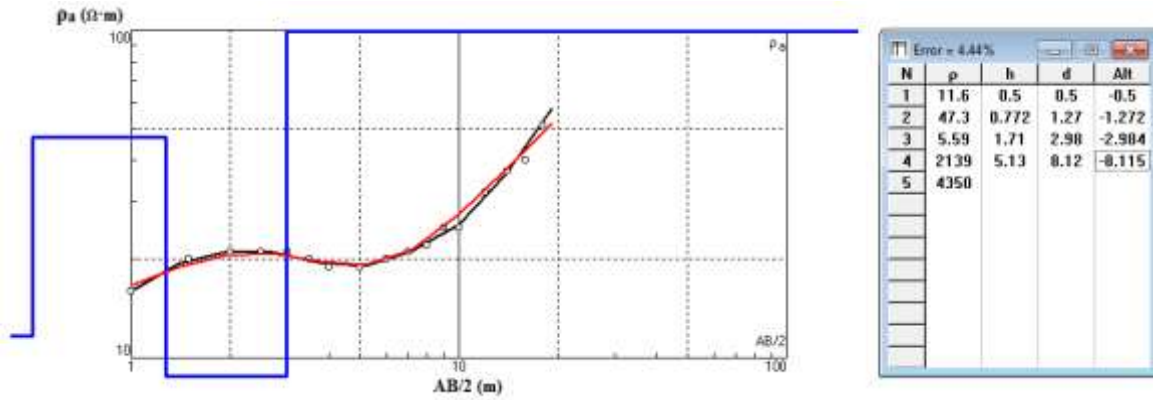
Desde 1.1 a 7.4 metros de profundidad, se encuentra el segundo estrato con una resistividad de $125 \Omega \cdot m$, interpretándose a la presencia de suelo arenoso de grano fino y posiblemente un porcentaje menor de suelo fino.

El tercer estrato que alcanzó a medir el SEV, existe una tendencia conductiva mayor, se infiere que el valor de resistividad calculado está afectado por una mayor concentración de sales provocado por la saturación, por lo que se puede confundir con la presencia de suelo limoso y/o arcilloso o la posibilidad de arenas altamente permeable, facilitando el movimiento de agua entre los intersticios.

Se infiere que la napa freática podría estar presentada desde los 7.4 metros de profundidad aproximadamente, ya que el SEV detectó una mayor conductividad.

PENCO

SEV 1: Recinto portuario Lirquen s/n, localidad de Lirquen



El primer estrato, con una resistividad de $11 \Omega \cdot m$ y un espesor de 0.5 metros aproximadamente, se infiere posiblemente a un suelo limoso y/o arcilloso y probablemente con un grado de humedad medio.

Desde 0.5 a 1.3 metros de profundidad y con una resistividad de $47 \Omega \cdot m$, se infiere a un suelo limoso y/o arcilloso, con un grado de humedad menor que el anterior estrato.

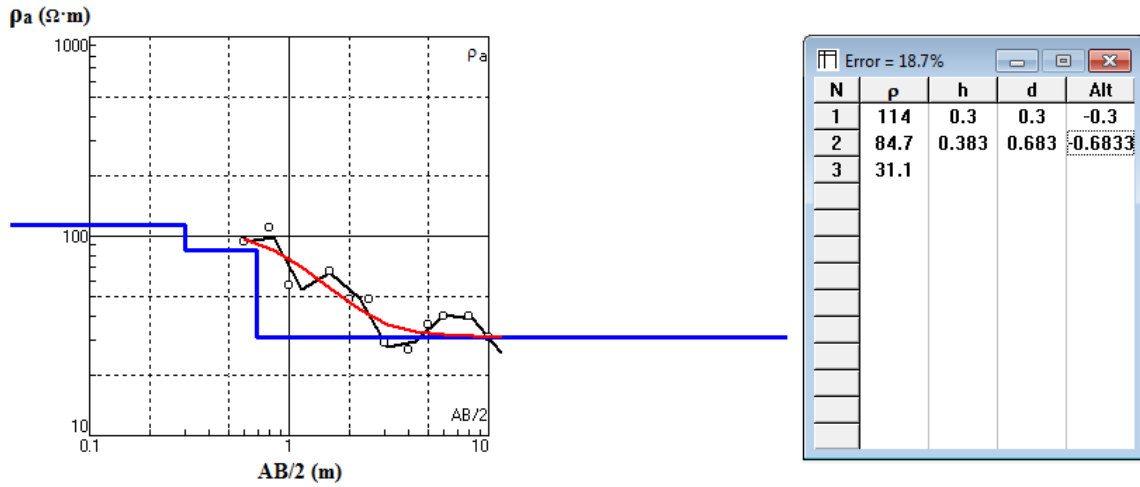
El tercer estrato de espesor 1.7 metros y con valor de resistividad $5.6 \Omega \cdot m$, se interpretaría un suelo fino ya sea limoso o arcilloso o mezcla de ambas, donde el mayor responsable de la conductividad que presenta este estrato es la saturación.

El cuarto estrato con un valor alto de resistividad de $2139 \Omega \cdot m$ se interpretaría a gravas mezcladas con un porcentaje menor de arena de grano grueso y probablemente presentando una compacidad densa.

Finalmente, el último estrato medido por el SEV, con una resistividad de $4350 \Omega \cdot m$, se interpreta a una posible roca.

Se presencia una posible napa a partir de los 1.3 metros de profundidad.

SEV 2: Los Lirios N° 11, villa Cosmito



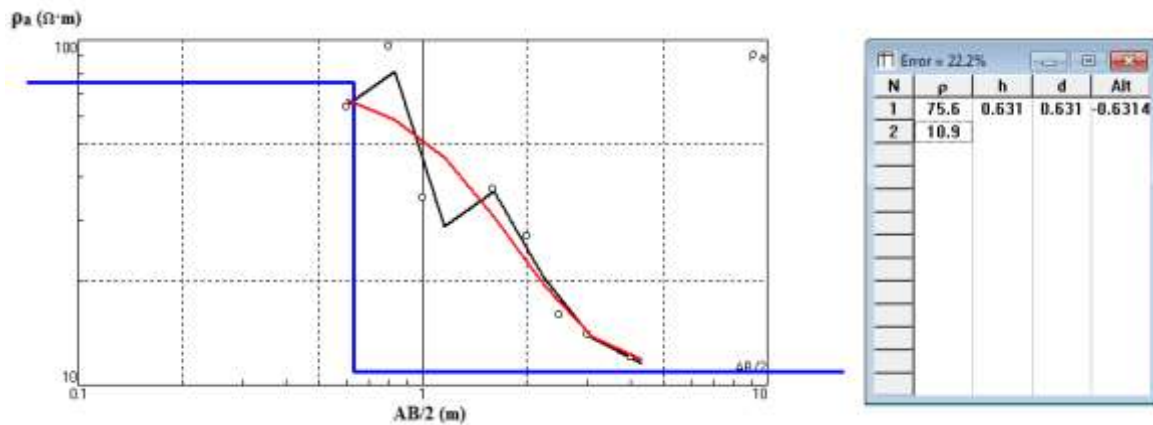
El SEV muestra el primer estrato con una resistividad de $114 \Omega \cdot m$ y un espesor de 0.3 metros, correspondiente a un suelo arenoso de grano fino.

El segundo estrato muestra un valor de resistividad de $85 \Omega \cdot m$ y un espesor de 0.4 metros, infiriéndose a un suelo limoso.

Finalmente, el último estrato con una resistividad de $31 \Omega \cdot m$, se podría inferir un suelo limoso y/o arcilloso, con un porcentaje de humedad menor presente.

Se infiere que a partir de los 0.7 metros se presenta el nivel freático.

SEV 3: Las Heras N° 485



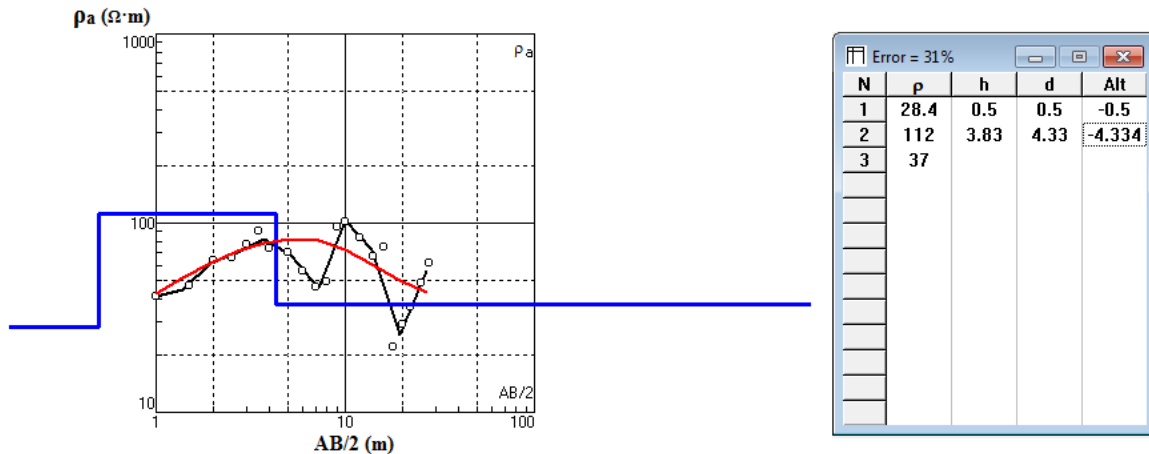
El primer estrato mostrado por el SEV, de un espesor de 0.6 metros y una resistividad de 76 $\Omega \cdot m$, se infiere a un suelo limoso.

Finalmente desde los 0.6 metros se encuentra el tercer estrato con un valor de resistividad de 11 $\Omega \cdot m$, presentando una tendencia conductiva mayor debido a una posible saturación en que se encuentra este estrato, interpretándose a la presencia de materiales limosos y/o arcillosos.

Se interpreta que la napa freática podría estar presentada desde los 0.6 metros de profundidad aproximadamente.

ARAUCO

SEV 1: Camino publico s/n, población El Pinar – localidad de Laraquete



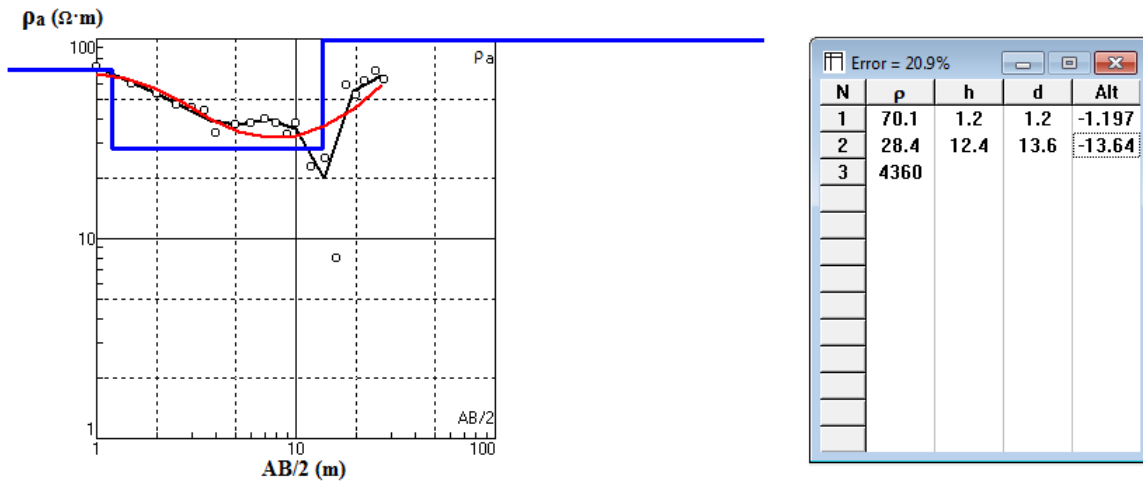
El SEV muestra el primer estrato de 0.5 metros de espesor y con una resistividad de 28 $\Omega \cdot m$, donde permite inferir la presencia de suelo limoso y/o arcilloso.

Desde los 0.5 a 4.3 metros de profundidad, con una resistividad de 112 $\Omega \cdot m$, corresponde a un suelo arenoso de grano fino y probablemente con presencia de suelo fino.

Desde los 4.3 metros de profundidad, con una resistividad de 37 $\Omega \cdot m$, corresponde a un suelo limoso y/o arcilloso.

No se infiere presencia de nivel freático.

SEV 2: Intersecciones calles Esmeralda y Lautaro



Con un valor de resistividad de $70 \Omega \cdot m$ y un espesor de 1.2 metros, se encuentra el primer estrato determinado por el SEV, interpretándose un suelo limoso.

Desde los 1.2 a 13 metros, con una resistividad de $28 \Omega \cdot m$, se presenta el segundo estrato, en donde se infiere un suelo limoso y/o arcilloso.

Finalmente, el tercer estrato con un valor alto de resistividad de $4360 \Omega \cdot m$, se infiere la presencia de roca meteorizada.

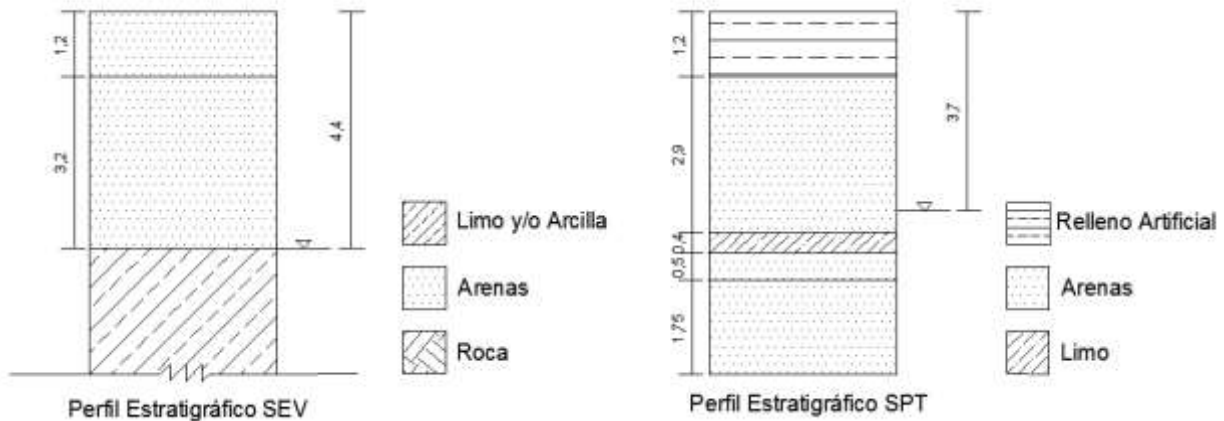
Se deduce la presencia del nivel freático a partir de los 1.2 metros de profundidad, ya que el SEV detectó un estrato altamente conductivo.

ANEXO E

COMPARACION DE ESTRATIGRAFIAS OBTENIDAS POR SEV Y SPT

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN CONCEPCIÓN

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		6.03
07-11-2014	23.8%	676280.00 m E	5923600.00 m S	10-09-2010	676276.00 m E	5923605.00 m S	

El resultado del ensayo SPT para el primer estrato, muestra ser relleno conformado de maicillo, arena y arcillas. Comparando con la interpretación del SEV, se infirió un suelo arenoso fino con predominio de limo y/o arcillas, sin embargo se muestra un inusual valor más bajo de lo común de resistividad para la interpretación de un relleno artificial, esto se le atribuye a la presencia de arcilla y humedad media del estrato, aminorando el valor de resistividad. Con respecto al espesor, ambos métodos coincidieron con un espesor de 1.2 metros de profundidad.

Para el segundo estrato, se interpretó un suelo arenoso de grano fino con un porcentaje menor de suelo fino que podría ser limo y/o arcilla, concordando con los resultados del sondaje y afirmando que el suelo fino se trata de limos. El método resistivo muestra un espesor 3.2 metros, mientras que el sondaje muestra un espesor de 2.9 metros.

Finalmente para el último estrato, predomina un suelo fino tal como se le interpretó al SEV, pero tratándose de un suelo limoso.

El ensayo SPT indica que la napa freática se presenta a los 3,7 metros de profundidad, sin embargo se interpretó para el SEV que a los 4,4 metros aproximadamente se presenciaba la napa freática.

SEV 2



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		3.3
06-07-2013	31.6%	673281.67 m E	5921860.75 m S	12-02-2014	673279.94 m E	5921857.81 m S	

El primer estrato se interpretó a la presencia de arenas de grano medio, sin embargo el sondaje indica que se trata de relleno artificial, conformado por arena fina, trozos de ladrillo y raíces finas. Cabe señalar, que la interpretación de un posible relleno es complicado, debido a que está conformado de un conjunto de materiales. Con respecto al espesor del primer estrato, el SEV muestra un espesor de 1.1 metros, valor cercano al que indica el sondaje de 1 metro.

El segundo estrato detectado por el SEV se interpretó a un suelo limoso y/o arcilloso, con probabilidades de un porcentaje de humedad media, mientras que el SPT resultó un suelo limoso con arenas. Sin embargo se registró un menor valor de resistividad para la posible interpretación de limo con arena y esto debido a que en este estrato presenta un porcentaje

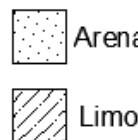
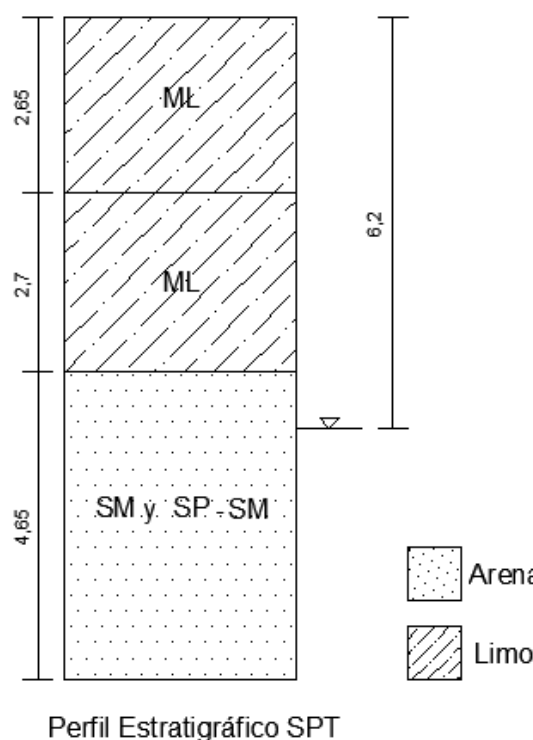
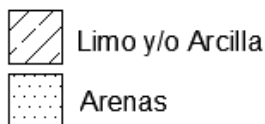
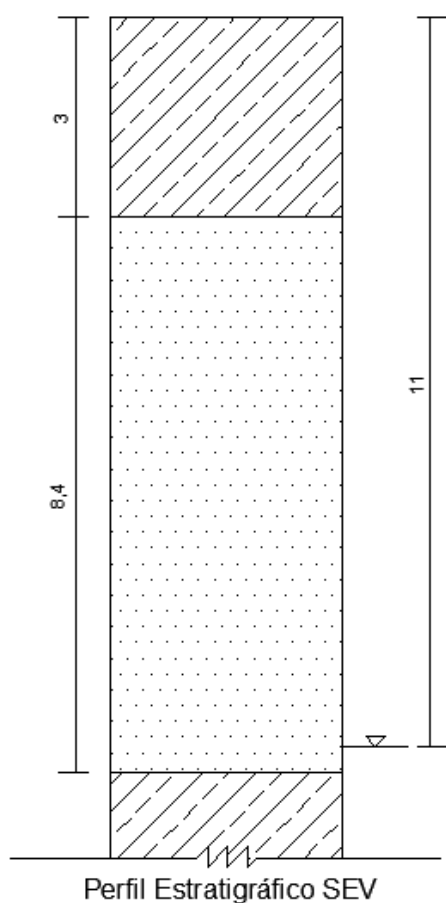
de humedad media y de compacidad suelta, aminorando el valor de resistividad. El método de resistividad eléctrica presenta un espesor igual al indicado por el ensayo SPT.

El tercer estrato resultante por el SPT muestra la correspondencia de un suelo limoso arenoso, comparando con los resultados del SEV, se interpretó un suelo arenoso con probabilidad de un porcentaje de suelo fino, este estrato al poseer una compacidad media provoca un aumento en el valor de resistividad. Con respecto al espesor el SEV registró un valor más alto en comparación al ensayo SPT.

Finalmente el último estrato que logró medir el SEV, se podría confundir con la presencia de limos y/o arcillas o arenas de compacidad suelta, donde la presencia de agua en este estrato provoca una mayor conductividad.

El resultado del sondeo indica la presencia del nivel freático a los 2.3 metros de profundidad, sin embargo la interpretación de la napa freática del SEV se estimó a una profundidad de 3.1 metros.

SEV 3



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		167.48
12-05-2016	5.37%	674985.15 m E	5922747.02 m S	10-11-2016	674925.00 m E	5922592.00 m S	

El primer estrato mostrado por el sondaje indica la presencia de limo y la interpretación resultante se infirió un suelo limoso o arcilloso o mezcla de ambos, sin embargo discriminar un suelo fino es complicado debido a que el valor de resistividad es bajo para ambos tipo de suelo. Resultó un espesor de 3 metros para el SEV y para el SPT de 2.7 metros, espesores muy cercanos en ambos ensayos.

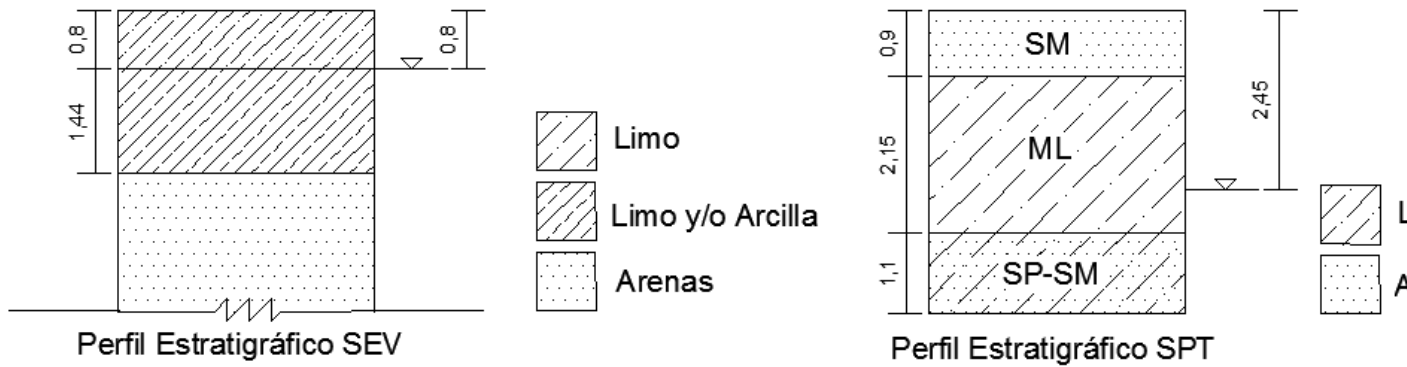
El segundo estrato se interpretó un suelo arenoso de grano fino y quizás predominancia de suelo fino, mientras que el SPT indica que el segundo estrato está conformado por limo

arenoso. En cuanto al espesor de este estrato, resultó ser de 2.7 metros para el sondeo y para el SEV de 8.4 metros.

El tercer estrato se infirió un suelo conformado por suelo fino que podría tratarse de limo o arcilla o mezcla de ambos, contenidos en un estado saturado.

Se infirió que el nivel freático se presenta a partir de los 11 metros de profundidad, y el sondeo indica que se presente desde los 6.2 metros.

SEV 4



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		104.32
12-05-2016	46.7%	676424.51 m E	5927046.17 m S	08-09-2016	676505.45 m E	5927112.78 m S	

Para el primer estrato, el sondaje indica que se trata de arena limosa de grano fino, mientras que para el SEV se infirió un suelo limoso, ya que el valor de resistividad es medianamente bajo para una supuesta interpretación de suelo arenoso, esto se debe que este estrato se trata de arena fina presentando un mayor porcentaje de suelo fino, aminorando así la resistividad. Con respecto al espesor, se registró para el método resistivo un valor cercano al indicado por el sondaje, diferenciándose en 0.1 metros.

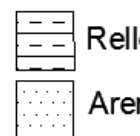
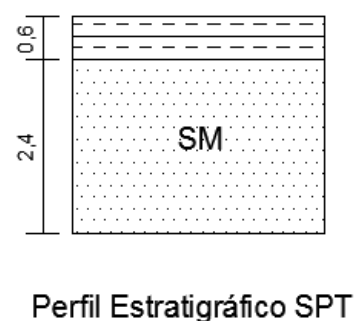
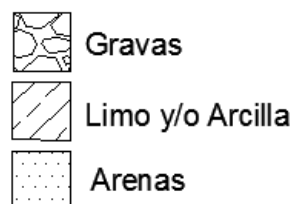
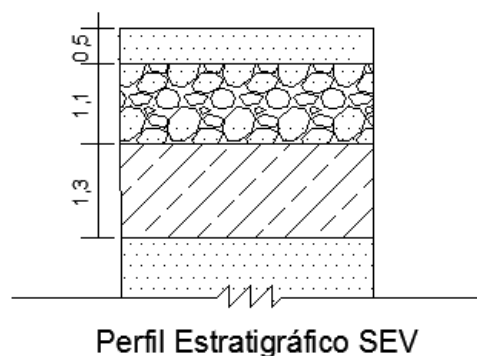
El segundo estrato del SEV, es altamente conductivo, por lo que tiende a confundir la interpretación debido a la existencia de humedad alta, el cual se infirió a dos posibles tipos de suelos, un suelo arcilloso y/o limoso o suelo arenoso de compacidad suelta. Sin embargo, el resultado del sondaje para este estrato indica un suelo limoso de humedad alta. Con respecto al espesor, se registró para el método resistivo un valor de 1.44 metros mientras que para el SPT de 2.15 metros

El resultado del sondeo para el tercer estrato indica que se trata de arena con limo. La interpretación para el SEV, se infirió que se podría tratar de un suelo arenoso de grano fino a medio.

El control de la napa realizada por el sondeo indica que se encuentra a una profundidad de 2.45 metros, mientras para el SEV se interpretó a los 0.8 metros.

Hay que señalar que el porcentaje de error de ajuste de ambas curvas tanto teórica como de campo fue de un 47%, por lo que la curva obtenida no es un buen modelo para las posibles interpretaciones.

SEV 5



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		5.06
16-03-2017	7.77%	671260.80 m E	5923690.34 m S	01-08-2016	671256.40 m E	5923694.96 m S	

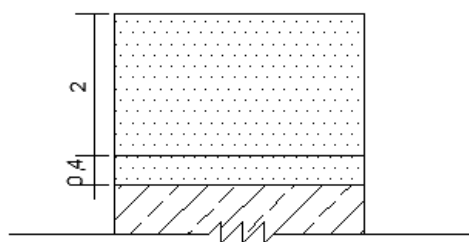
El primer estrato del SEV, se interpretó a un suelo arenoso de grano medio. Comparando con el resultado del ensayo SPT, este indica que se trata de un relleno no controlado conformado de arena de grano medio y escombros. Es difícil acertar la interpretación para un relleno artificial, puesto que posee una mezcla de materiales. El espesor del SEV, muestra un valor cercano al que indica el sondeo, donde existe una diferencia de 0.1 metros.

Como resultado de la interpretación para el segundo estrato del SEV, se infirió a mezclas de gravas y arenas de grano grueso y probablemente indicando mayor grado de compactación. Sin embargo la interpretación no está tan alejada al resultado del SPT, ya que este indica que se trata de un suelo arenoso de grano grueso de compacidad densa. El espesor del SEV es de 1.1 metros mientras que para el sondaje fue de 2.4 metros.

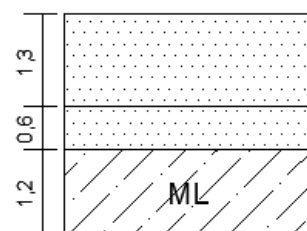
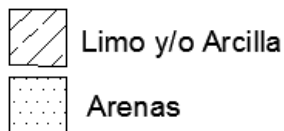
El tercer estrato, se dedujo a la presencia de suelo limoso y/o arcilloso con un porcentaje medio de humedad y el último estrato medido por el SEV se infiere a un suelo arenoso de grano medio. Estos resultados no se pudieron comparar, ya que el SPT sólo entregó resultados hasta el segundo estrato.

En ambos métodos no se presencia napa freática.

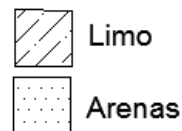
SEV 6



Perfil Estratigráfico SEV



Perfil Estratigráfico SPT



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		16.15
16-03-2017	35.3%	674440.00 m E	5927285.00 m S	01-08-2016	674442.00 m E	5927301.00 m S	

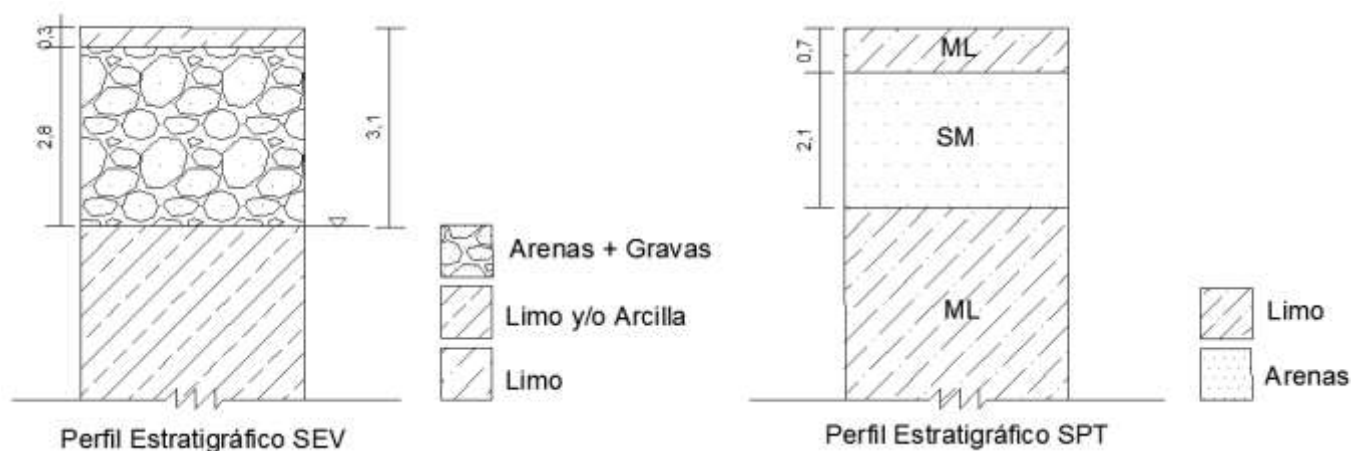
El SEV muestra una primera capa, compuesto de arena fina con presencia de suelos finos, interpretación acertada con respecto al resultado del ensayo SPT, donde el primer estrato señala que está compuesto de arena fina limosa. Con respecto al espesor, el SEV indica que existe 0.7 metros más que el espesor resultante del sondaje para el primer estrato.

El SEV muestra el segundo estrato, donde se interpretó a un suelo arenoso de grano fino a medio. Comparando con la información del ensayo SPT, este nos indica que se trata de arena de grano medio, sin embargo la interpretación no estuvo tan alejada a los resultados del SPT. En relación al espesor obtenido por el SEV, muestra un valor de 0.4 metros, mientras que el sondaje indica un espesor de 0.6 metros.

El tercer estrato se interpretó a un suelo arcilloso y/o limoso, comparando esta interpretación con el resultado del sondaje, este indica que se trata de un suelo limoso arenoso, sin embargo el valor de la resistividad para este estrato se vio afectado por la presencia de suelo fino y humedad media, aminorando el valor de resistividad.

Ambos métodos no se presenció el nivel freático.

SEV 7



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		5.5
24-10-2013	10.7%	673063.01 m E	5926260.20 m S	02-05-2016	673059.00 m E	5926256.00 m S	

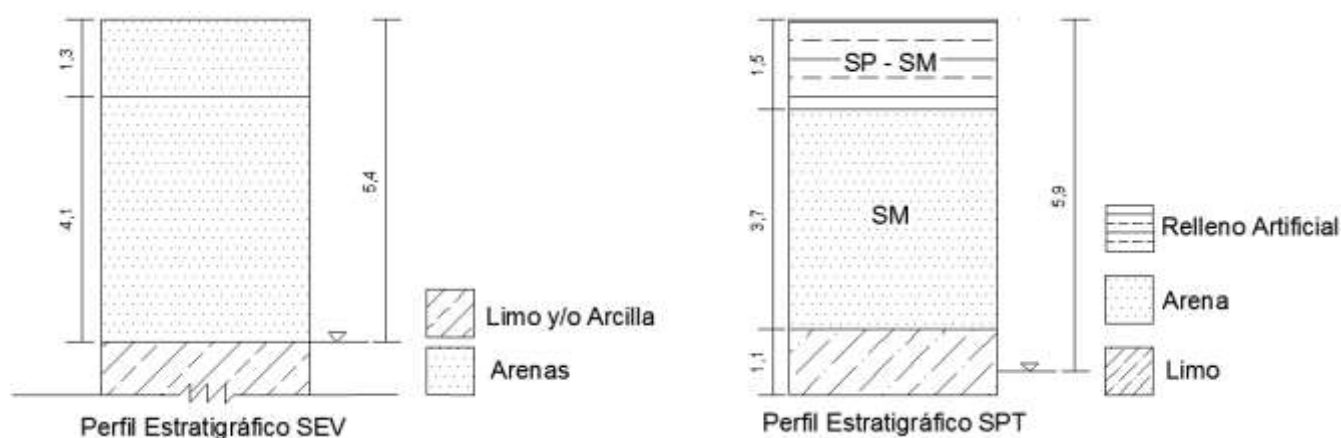
El primer estrato del SEV, se infirió un suelo limoso, interpretación acertada con respecto al resultado del sondaje. En cuanto al espesor mostrado por el SEV fue de 0.3 metros, mientras que el sondaje indica un espesor de 0.7 metros.

El resultado del sondaje para el segundo estrato, corresponde a arena gruesa, limosa, con presencia de gravas, sin embargo la interpretación del SEV se acerca a estos resultados, infiriéndose a mezclas de gravas y arenas. En tanto al espesor señalado por el SEV, resultó ser de 2.8 metros mientras que el ensayo SPT de 2.1 metros.

El tercer estrato del SEV, se interpretó a dos posibles suelos, limoso y/o arcilloso, comparando con el resultado del sondaje, este indica que se trata de un suelo limoso.

Se infirió presencia de la napa freática a partir de los 3.1 metros, sin embargo el ensayo SPT no se detecta su presencia.

SEV 8



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		11.06
14-12-2016	21.2%	674571.00 m E	5923495.00 m S	12-05-2017	674563.00 m E	5923487.00 m S	

El resultado del ensayo SPT indica que el primer estrato se trata de un relleno artificial no controlado, conformado por arena con limo, de grano grueso a medio fino, trozos de vidrios y de nylon, comparando con la interpretación del SEV, se infirió un suelo arenoso de grano fino a medio, sin embargo la interpretación para un relleno es difícil, puesto que posee

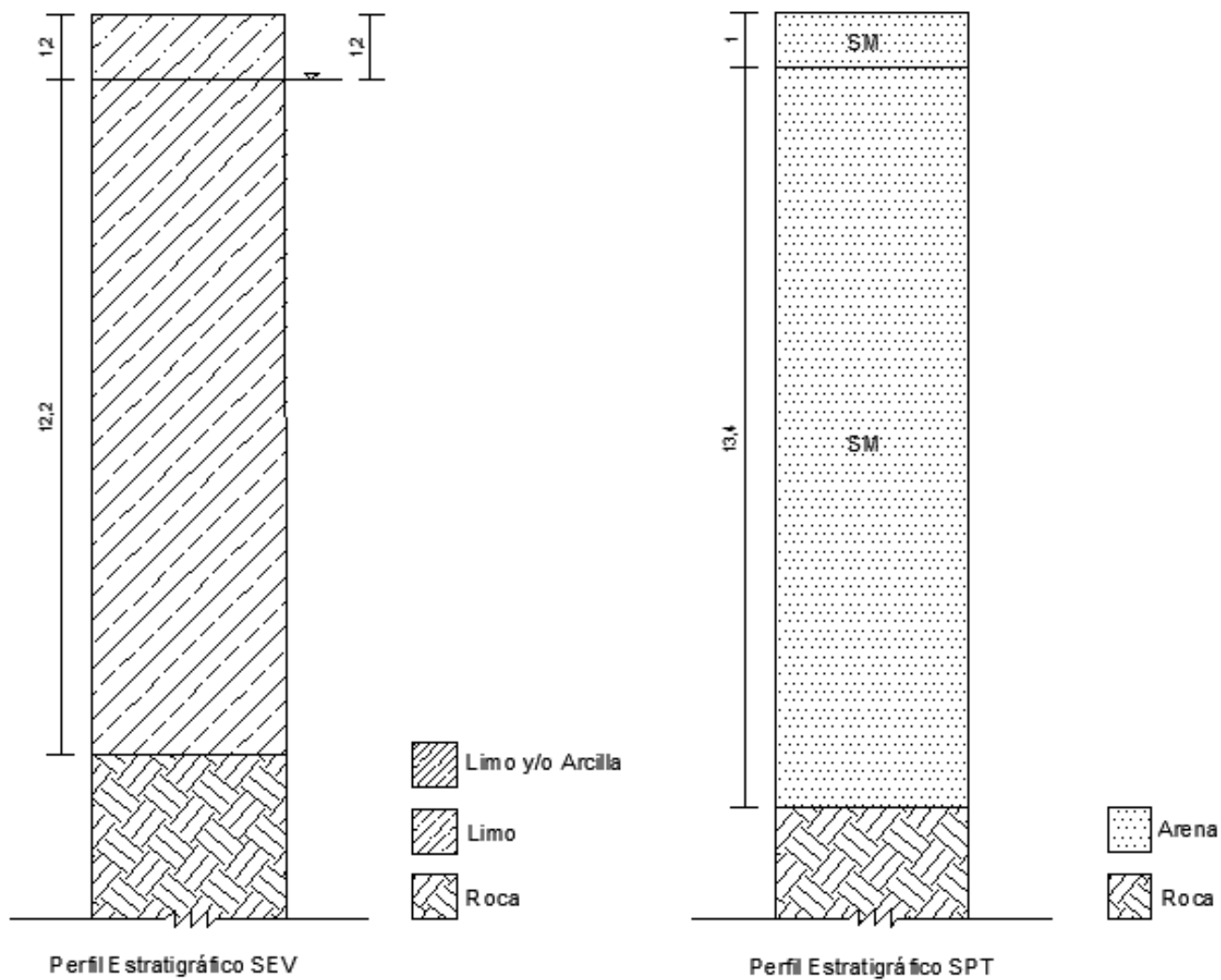
mezclas de materiales. Con respecto al espesor mostrado por el SEV, resultó ser de 1.3 metros, espesor cercano a lo que indica el sondaje de 1.5 metros.

Se interpretó en el segundo estrato del SEV, un suelo arenoso de grano fino, interpretación no tan alejada a los resultados del SPT, tratándose de arena limosa de grano medio a fino. El SEV detectó un espesor de 4.1 metros mientras que el sondaje muestra un espesor de 3.7 metros.

Finalmente, el último estrato mostrado por SEV, se interpretó a un estrato saturado conformado por suelo limoso y/o arcilloso o un suelo arenoso de compacidad suelta, sin embargo el resultado del SPT indica un suelo limoso.

Se interpretó que la napa freática podría estar presentada desde los 5.4 metros de profundidad aproximadamente, sin embargo el sondaje indica que la presencia de la napa está a una profundidad de 5.9 metros.

SEV 9



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		9.95
18-02-2017	20.9%	675090.00 m E	5927135.00 m S	12-06-2013	675083.00 m E	5927142.00 m S	

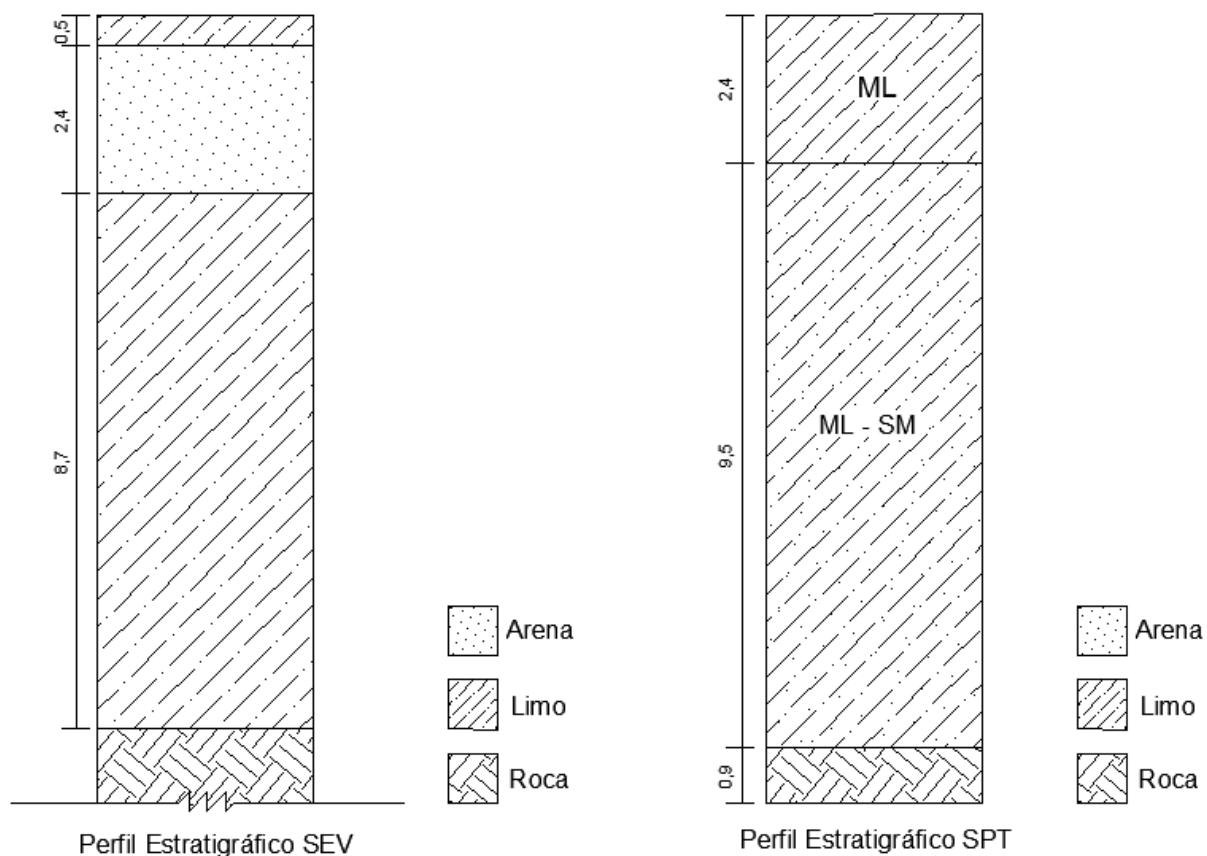
El primer estrato del SEV, se interpretó a un suelo limoso, comprando con el resultado de SPT, este indica que se trata de arena limosa, no obstante el valor de resistividad es relativamente bajo para la interpretación de un suelo arenoso, esto se debe a la presencia de suelo fino y de humedad, reduciendo el valor de resistividad. El SEV detectó un espesor de 1.2 metros, mientras que el sondeo indica que el primer estrato corresponde a un espesor de 1 metro.

La interpretación para el segundo estrato, se infirió a un estrato saturado conformado por suelo limoso y/o arcilloso o de un suelo arenoso de compacidad suelta, sin embargo el resultado del ensayo SPT indica que se trata de arena limosa de compacidad baja principalmente saturadas de agua, por lo que al presentar compacidad baja y saturación, el agua fluye por los intersticios provocando que el valor de la resistividad se aminore. En cuanto al espesor, el SEV registró un espesor de 12 metros aproximado, mientras que el SPT indica un espesor de 13 metros.

Para el último estrato del SEV, se interpretó la presencia de la roca meteorizada. Interpretación que concuerda con el resultado del sondeo para el tercer estrato.

Se interpretó que la napa freática podría estar presentada a una profundidad de 1.2 metros, sin embargo los resultados del sondeo indica que no se observa napa freática

SEV 10



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		7.33
14-06-2013	4.92%	672735.00 m E	5922292.00 m S	02-05-2012	672728.00 m E	5922288.00 m S	

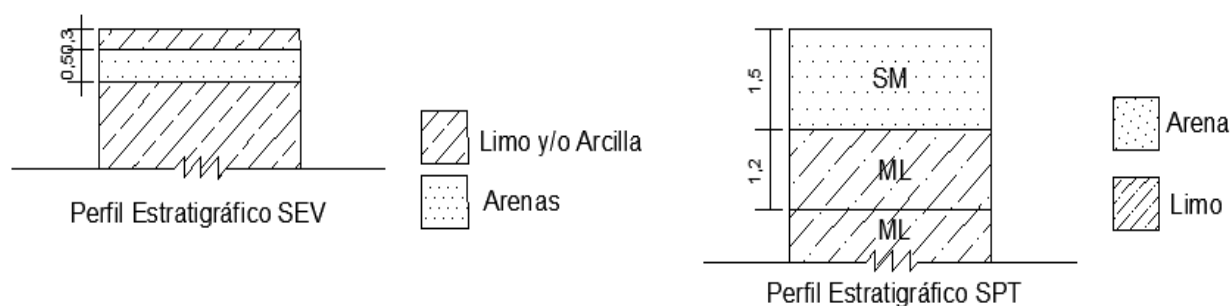
El primer estrato mostrado por el SEV, se interpretó un suelo limoso, interpretación que concuerda con el resultado del sondaje. Aunque el resultado del espesor del SEV es bajo con respecto al resultante por el sondaje, diferenciándose en 1.9 metros.

El segundo estrato resultante por el sondaje muestra un espesor de 9.5 metros de profundidad, correspondiente a estratificaciones de limo y de arena limosa, comparando con la interpretación del SEV, este identificó dos estratos contenidos en el espesor resultante por el sondaje, interpretándose a suelo arenoso de grano fino.

Finalmente, el último estrato indicado por el método resistivo concuerda con el resultado del sondaje, tratándose de la presencia del manto rocoso, el cual ambos métodos afirman que comienza desde una profundidad de 12 metros.

Se interpretó que no existe presencia de nivel freático hasta la profundidad analizada, interpretación que concuerda con el resultado del SPT.

SEV 11



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		5.06
14-06-2013	45%	673819.00 m E	5924766.00 m S	23-07-2013	673824.00 m E	5924767.00 m S	

El sondaje muestra para el primer estrato un suelo conformado de arena limosa, mientras que para el SEV se infirió un suelo limoso y/o arcilloso. En relación al espesor obtenido por el SEV, muestra un valor de 0.3 metros, mientras que el sondaje indica un espesor de 1.5 metros.

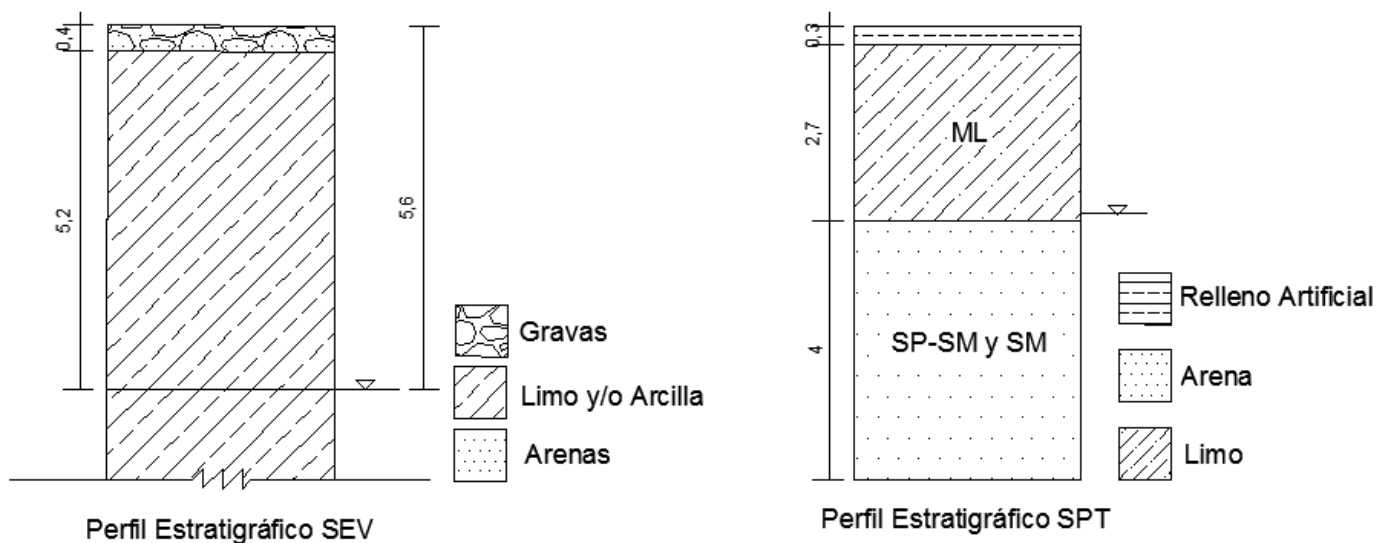
Para el segundo estrato se interpretó un suelo arenoso de grano fino, comparando con los resultados del sondaje, este indica que el segundo estrato está conformado por suelo limoso. En cuanto al espesor, el sondaje indica un espesor de 1.2 metros y el SEV de 0.5 metros.

Finalmente el último estrato interpretado se interpretó a un estrato saturado, conformado por materiales permeables o a la predominancia de materiales limosos y/ arcillosos, mientras que el sondaje indica que está conformado por suelo limoso de humedad alta, por tal razón el valor de resistividad fue aminorado.

Se interpretó posible nivel freático a partir de los 0.8 metros, mientras que el sondaje indica que se presenta desde los 2.2 metros.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN TALCAHUANO

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		4.6
03-03-2015	9%	668816.41 m E	5934464.02 m S	07-09-2012	668821.31 m E	5934463.89 m S	

Los resultados obtenidos mediante el ensayo SPT, muestra que el primer estrato corresponde a relleno artificial conformado por arena, trozos de ladrillo y escombros, comparando con la interpretación para el primer estrato del SEV, se infirió la presencia de gravas y arenas de grano grueso. Como se ha mencionado anteriormente, la interpretación para un relleno artificial es difícil, puesto que corresponde a mezclas de materiales difícil de identificarlos mediante el método resistivo. En cuanto al espesor, el SEV coincide con el espesor resultante por el sondaje.

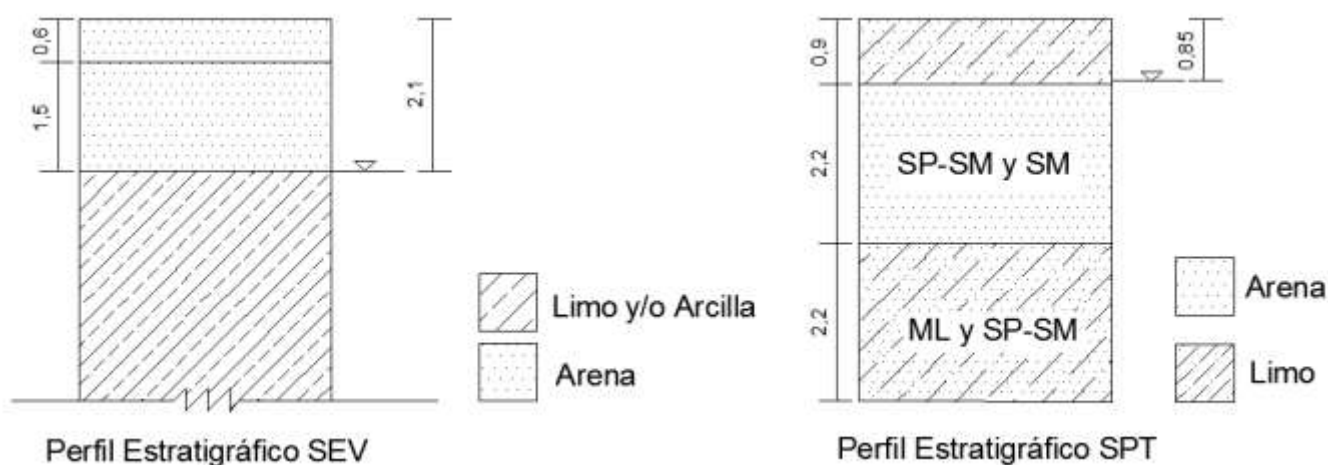
Para el segundo estrato mostrado por el SEV, se interpretó un suelo limoso y/o arcilloso con un porcentaje de humedad media a alta, mientras que el sondaje indica un suelo limoso

arenoso, sin embargo la humedad alta y la compacidad presente en este estrato provocó una disminución en la resistividad. En cuanto al espesor del SEV fue de 5.2 metros, mientras que el sondaje indica un espesor de 2.7 metros.

El resultado del SPT para el tercer estrato, corresponde a arena fina, con limo y limosa, comparando con la interpretación del SEV, se infirió la presencia de suelo limoso y/o arcilloso de humedad media a alta.

Se interpretó que la napa freática se presenta a los 5.6 metros, mientras que el sondaje indica que se presencia a los 2.9 metros de profundidad.

SEV 2



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		7.87
07-06-2016	20.3%	672169.60 m E	5928830.05 m S	10-12-2015	672173.18 m E	5928823.93 m S	

Los resultados del ensayo SPT muestra que el primer estrato corresponde a una capa de estabilizado con arena y limo de grano fino, sin embargo la interpretación coincide con este

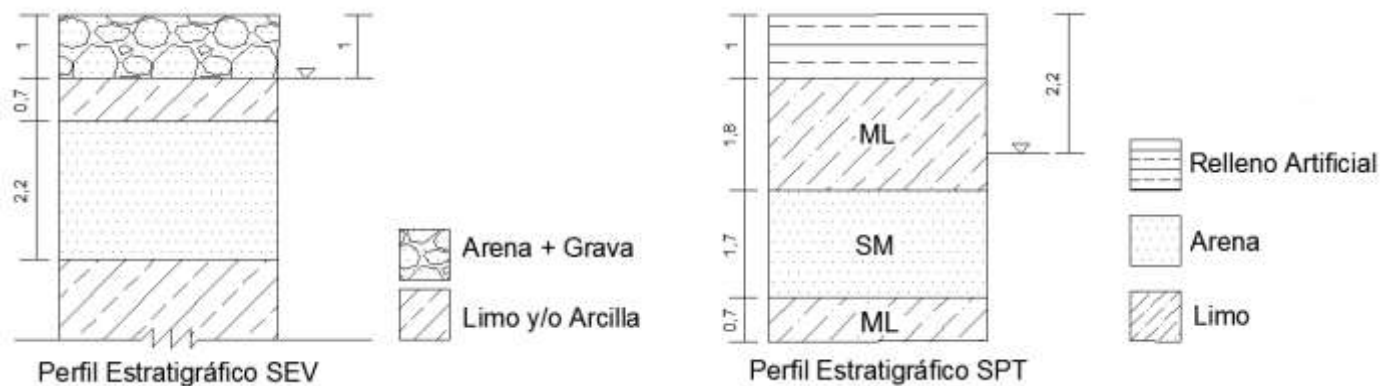
resultado, deduciéndose a un suelo arenoso de grano fino. Con respecto al espesor del método resistivo resultó ser de 0.6 metros, mientras que para el sondaje resultó ser de 0.9 metros.

El segundo estrato del SEV, se deduce un estrato de suelo arenoso probablemente indicando un aumento considerable en el tamaño de grano, mientras que el resultado del SPT indica un suelo arenoso de grano medio, interpretación no tan alejada a los resultados del sondaje. En cuanto al espesor arrojado por el SEV resultó ser de 1.5 metros, mientras que el sondaje muestra un espesor de 2.2 metros.

Finalmente para el último estrato medido por el SEV, se interpretó un estrato con un porcentaje de humedad alta, conformado por limo y/o arcilla. Comparando con el resultado del ensayo SPT, este indica un suelo limoso y suelo arenoso con limo de grano fino. En este estrato el valor de resistividad se vio afectado considerablemente por factores como el contenido de humedad alta y la compacidad suelta, aminorando el valor de resistividad.

Se interpretó una posible presencia de la napa freática a los 2 metros de profundidad, en tanto para el sondaje se presenció a los 0.85 metros.

SEV 3



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		4.4
16-04-2015	22.5%	672072.83 m E	5929104.41 m S	11-02-2014	672076.00 m E	5929102.00 m S	

El sondaje indica la presencia de relleno artificial para el primer estrato, conformado por arena, gravas y raíces finas, sin embargo al no existe un intervalo de valores de resistividad de relleno es complicado deducirlo, para la interpretación del SEV se dedujo una mezcla de gravas y arena de grano grueso, resultados no tan alejados a los materiales que conforman este relleno. En cuanto al espesor, el SEV alcanzó a distinguir el primer estrato con un espesor de 1 metro, valor que coincide con el espesor del sondaje.

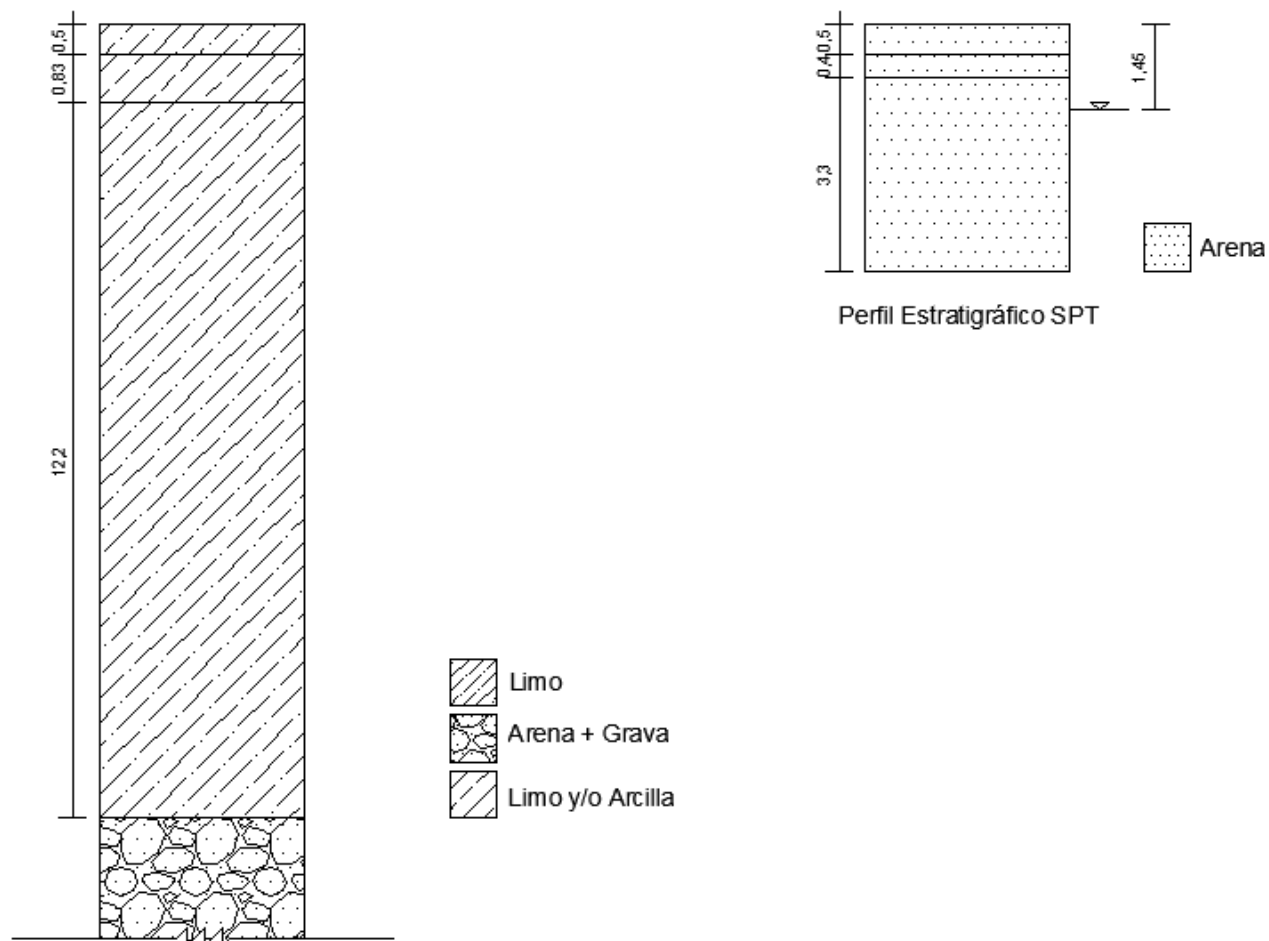
Para el segundo estrato, se interpretó suelo fino, ya sea arcilla o limo o mezcla de ambos materiales, mientras que el sondaje indica la presencia de limo. En cuanto al espesor que presenta el SEV es mucho más pequeño tratándose de 0.7 metros mientras que el sondaje indica un espesor de 1.8 metros.

El tercer estrato, se interpretó un suelo arenoso de grano fino, interpretación que concuerda con el resultado del ensayo SPT. El SEV determinó un espesor de 2.2 metros para el tercer estrato, mientras que el sondaje un espesor de 1.7 metros.

El último estrato medido por el SEV, se interpretó un suelo limoso y/o arcilloso que probablemente posee un porcentaje de humedad alto, sin embargo el ensayo SPT indica limo arenoso. Donde el valor de resistividad pudo ser afectada por la compacidad suelta y la humedad alta que se presenta en este estrato.

Se dedujo que el nivel freático se presenta a una profundidad de 1 metro, mientras que para el sondaje a los 2.2 metros.

SEV 4



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		25.1
16-04-2015	4.97%	672478.00 m E	5928936.00 m S	29-02-2015	672500.00 m E	5928924.00 m S	

El primer estrato resultante por el ensayo SPT, resultó ser un suelo arenoso fino con presencia de raíces finas, mientras que la interpretación para el SEV, se infirió a un suelo limoso, el valor bajo de resistividad se podría atribuir a que en este estrato se presencia humedad alta y es de compacidad suelta, aminorando el valor de resistividad. En cuanto al espesor, ambos métodos concuerdan.

El segundo estrato se interpretó un suelo arenoso de grano fino o la posibilidad de poseer algún tipo de suelo fino ya sea arcilla o limo o ambos, sin embargo el resultado por el sondaje para este estrato indica un suelo conformado por arena media. Con respecto al espesor, el SEV detectó un espesor de 0.8 metros, mientras que el SPT muestra un espesor de 0.4 metros.

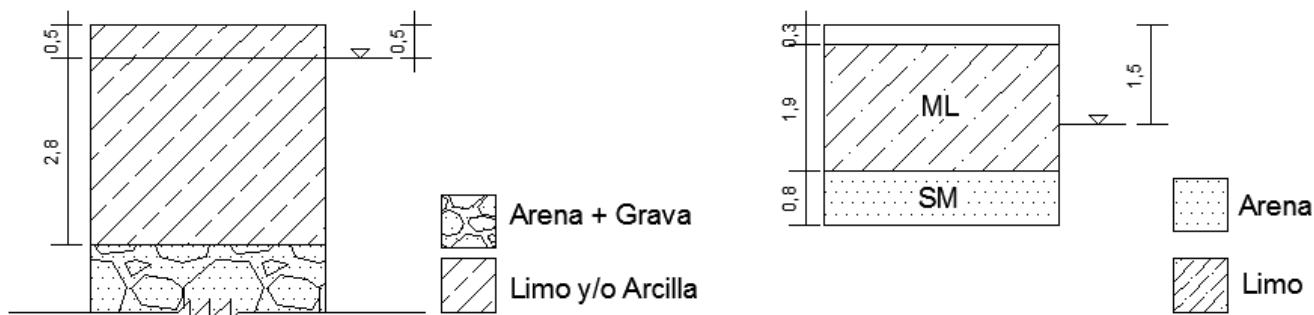
El tercer estrato resultante del ensayo SPT muestra un suelo constituido de arena media, limosa, y para el SEV se le infirió a la presencia de limos. El espesor mostrado por el SEV es bastante grande en comparación con el mostrado por SPT, resultando un valor de 12 de espesor aproximadamente, mientras que para el SPT muestra un espesor de 3.3 metros.

El último estrato mostrado por el SEV, se interpretó un suelo constituido por mezcla de arena y grava, y probablemente con un grado de compactación, en este estrato no se realizó una comparación con los resultados del SPT ya que este muestra resultados hasta el tercer estrato.

Para el SEV no se presencia nivel freático, mientras que el SPT muestra que el nivel freático se encuentra a partir de una profundidad de 1.45 metros.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN SAN PEDRO DE LA PAZ

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		6.19
15-04-2011	1.59%	669393.00 m E	5918929.00 m S	21-03-2017	669386.00 m E	5918928.00 m S	

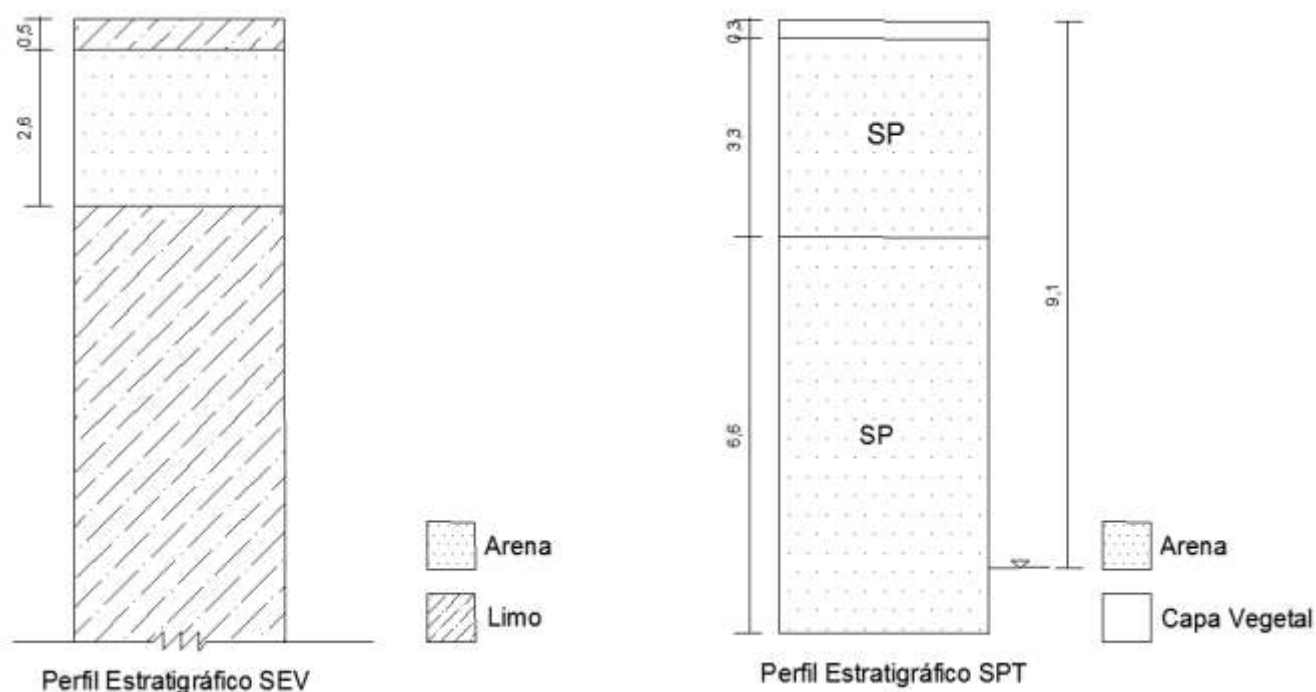
Para el primer estrato mostrado por el SEV, se interpretó un suelo limoso y/o arcilloso, mientras que el resultado del sondaje indica capa vegetal, interpretación alejada al resultado del SPT debido que no existe un rango de resistividad determinado para una posible interpretación de capa vegetal. El método resistivo muestra un espesor de 0.5 metros, mientras que el sondaje muestra un espesor de 0.3 metros.

Se determinó por el sondaje, que el segundo estrato corresponde a limo, con granos de cuarzo y raíces finas, mientras que la interpretación del SEV se infirió un suelo limoso y/o arcillo. El espesor que mostrado por el SEV es de 2.8 metros mientras que del sondaje de 1.9 metros.

El tercer estrato corresponde a un suelo arenoso limoso, con gravas y lentes de arcilla, mientras que para la interpretación, se infirió a una mezcla de gravas y arena, obteniendo una interpretación no tan alejada a los resultados del ensayo SPT.

Se interpretó que la napa freática podría estar presentada desde los 0.5 metros de profundidad aproximadamente, sin embargo el sondaje indica que la presencia de la napa freática se encuentra a una profundidad de 1.5 metros.

SEV 2



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		17.72
15-04-2011	10%	669391.00 m E	5918945.00 m S	25-04-2012	669386.00 m E	5918928.00 m S	

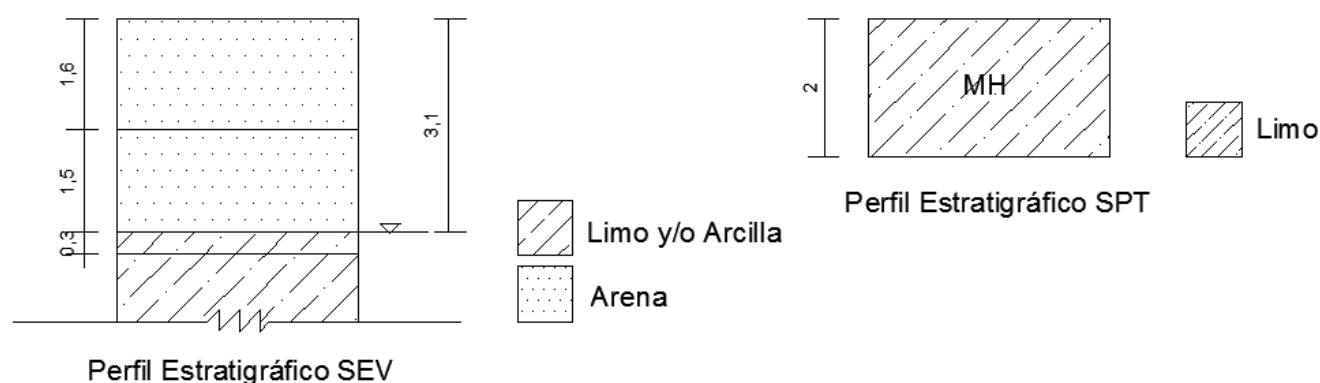
El resultado del ensayo SPT indica que el primer estrato está conformado de capa vegetal, comparando con la interpretación del SEV, se infirió a limos, sin embargo la interpretación de capa vegetal es complicado inferir, debido que no existe un rango de resistividad. En cuanto al espesor determinado por el SEV resultó ser un valor de 0.5 metros, mientras que el sondaje muestra un espesor de 0.3 metros.

Se interpretó para el segundo estrato un suelo arenoso de grano fino, mientras que el sondaje indica un estrato conformado por arena de grano medio. El espesor del SEV corresponde a 2.6 metros, mientras que el sondaje de 3.3 metros.

Finalmente, el último estrato que detectó el SEV, se interpretó un suelo limoso, mientras que el sondaje indica un suelo arenoso de grano medio. Para este estrato se obtuvo un valor de resistividad menor para una posible interpretación de arena, debido a que en este estrato presenta humedad alta por lo que el valor de la resistividad fue aminorada debido a este factor.

Se dedujo que no existe presencia de napa freática, mientras que el sondaje indica que a partir los 9.1 metros se presencia la napa freática.

SEV 3



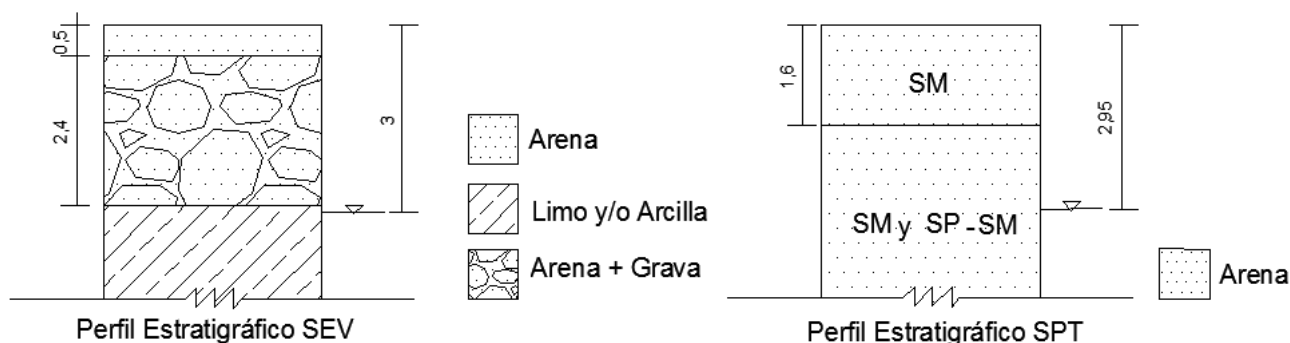
SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		24.73
17-10-2013	6.34%	669616.00 m E	5919353.00 m S	28-12-2012	669638.00 m E	5919364.00 m S	

Para el primer estrato se interpretó un suelo arenoso de grano fino, mientras que para el SPT resultó ser un suelo limoso. Con respecto al espesor, el SEV muestra un valor de 1.6 metros y el ensayo SPT un espesor de 2 metros de profundidad.

La estratigrafía resultante del ensayo SPT muestra hasta los 2 metros de profundidad, por lo que las siguientes interpretaciones no se pudieron realizar una comparación de resultados.

Se infirió que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 3.1 metros, sin embargo para el ensayo SPT no se presenció.

SEV 4



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		14.53
17-10-2013	3.31%	669283.00 m E	5919244.00 m S	28-12-2012	669298.00 m E	5919240.00 m S	

El tipo de suelo presente para el primer estrato según los resultados del SPT, indica un suelo arenoso limoso de grano fino, sin embargo para el SEV se interpretó un suelo arenoso fino. En cuanto al espesor hubieron diferencias, donde el SEV muestra un espesor de 0.5 metros y el SPT de 1.6 metros.

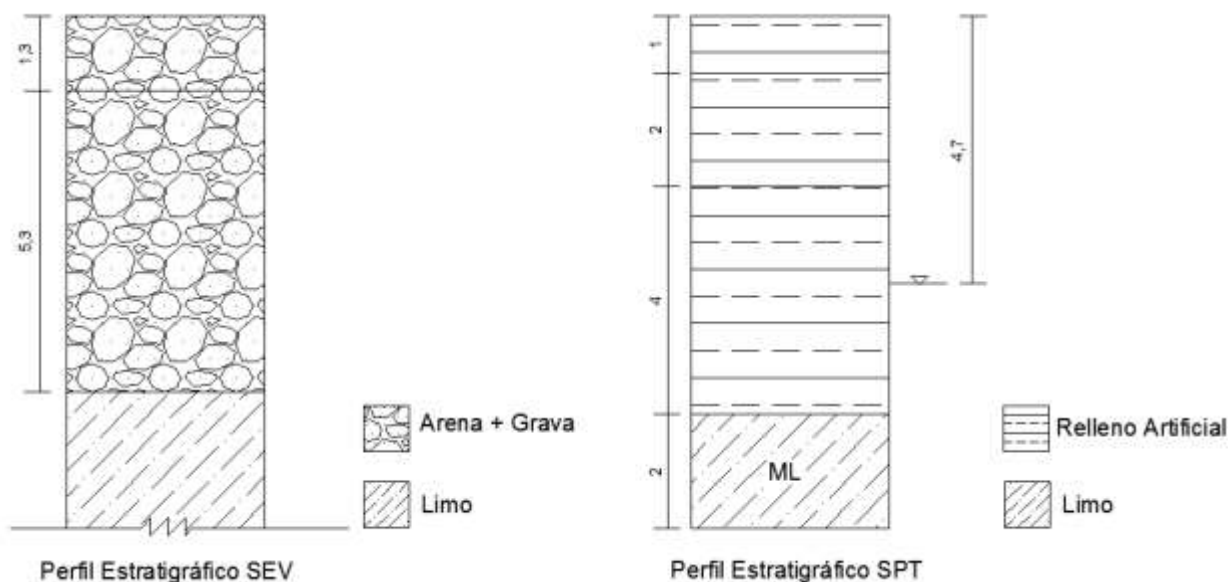
El segundo estrato se interpretó a mezcla de arena grano grueso y gravas y posiblemente de compacidad densa, mientras el SPT muestra que se trata de arena media, limosa presentando compacidad densa. El espesor resultante del sondaje es de 28 metros y para el SEV sólo de 2.4 metros.

Se interpretó para el último estrato a suelos conformado por arcilla y/o limo, sin embargo el SPT indica que se trata de arena grano media.

Se infirió la presencia del nivel freático a partir de los 3 metros, mientras el sondaje indica que a partir de los 2.95 metros se presenta el nivel freático.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN CHIGUAYANTE

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		7.34
17-10-2013	4.26%	676379.00 m E	5909616.00 m S	15-05-2014	676386.00 m E	5909613.00 m S	

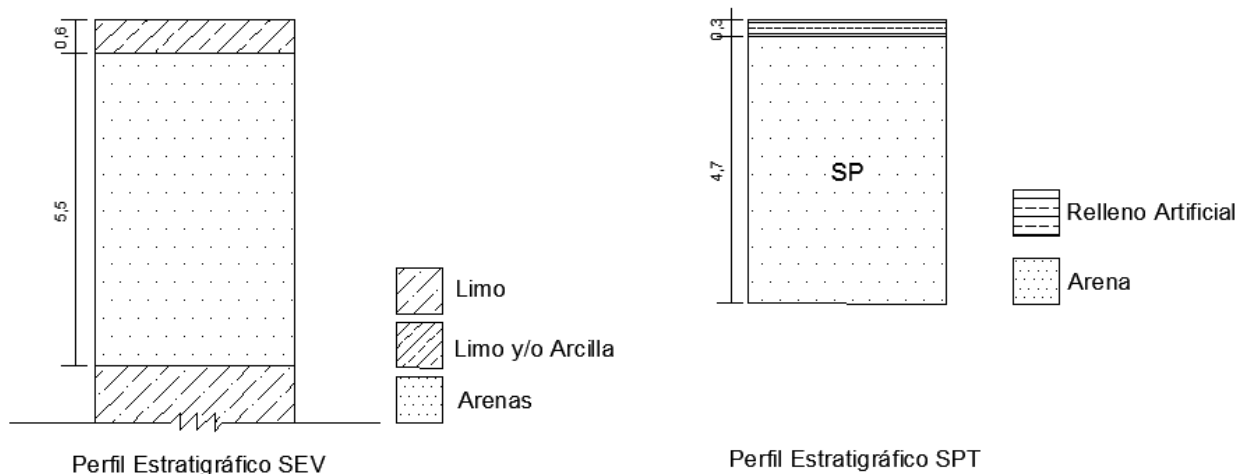
El resultado del sondaje indica que los tres primeros estratos, de espesores de 1, 2 y 4 metros respectivamente, se tratan de relleno artificial, conformado por ladrillos, gravas, trozos de ladrillos y hormigón. Como antes ya mencionado, la interpretación es complicada para un relleno artificial, ya que presenta mezcla de materiales. Ahora bien, el SEV determinó dos estratos con un alto valor de resistividad, interpretándose a gravas y arena de grano grueso, sin embargo complementando con la información entregada por el SPT se asume que esos valores de resistividades corresponderían a un relleno artificial.

El tercer estrato del SEV, se interpretó un suelo limoso, interpretación que concuerda con el resultado del ensayo SPT.

El sondaje indica que a los 4.7 metros se encuentra el nivel freático, sin embargo para el SEV se interpretó que no existe presencia de la napa freática.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN CORONEL

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		18.24
12-04-2014	16.2%	664146.63 m E	5910761.97 m S	25-10-2013	664160.55 m E	5910773.28 m S	

Como resultado del sondaje para el primer estrato, indica que se trata de un relleno artificial no controlado, conformado por arena, arcilla, capa vegetal y raíces finas, comparándolo con la interpretación del SEV, se infirió un suelo limoso y/o arcilloso, para este estrato la interpretación no fue muy acertada, esto podría deberse a que las mediciones de ambos métodos se realizaron alejados uno a otro y en años desfasados. En relación al espesor, el método resistivo determinó un espesor de 0.5 metros, mientras el sondaje indica un espesor de 0.3 metros.

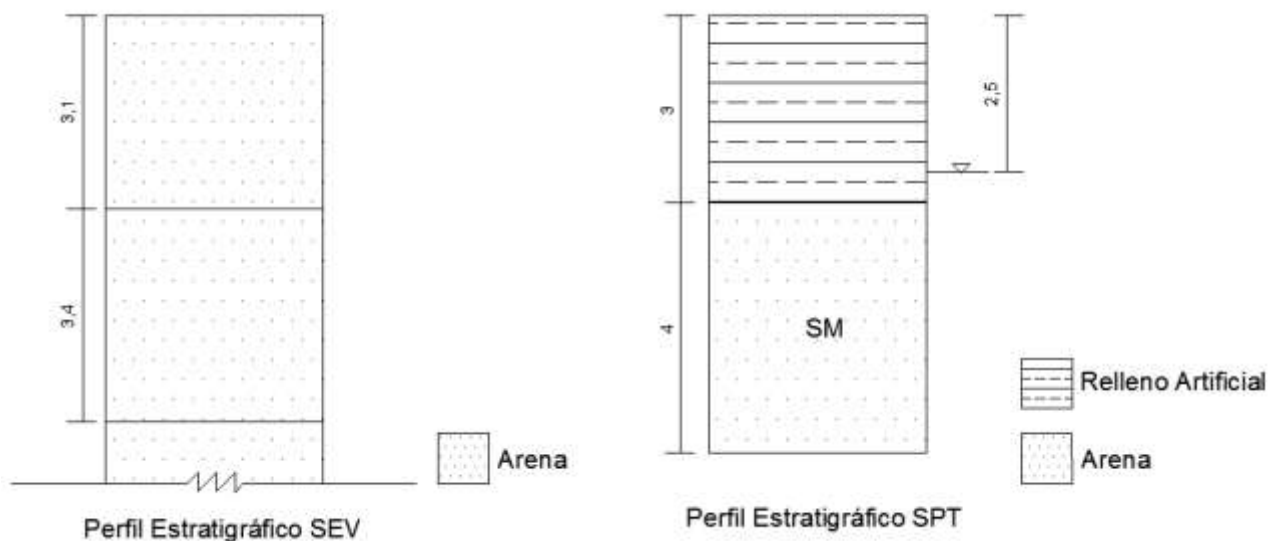
El segundo estrato del sonduje, corresponde a arena de grano medio, resultado que concuerda con la interpretación del segundo estrato del SEV. El método resistivo determinó para este estrato un espesor de 5.5 metros, mientras que el sonduje indica un espesor de 4.7 metros, obteniendo una diferencia de 0.8 metros.

El tercer estrato del SEV, se interpretó un suelo limoso, sin embargo para este estrato no se pudo hacer una comparación con respecto al resultado del sonduje, ya que la exploración se realizó hasta los 5 metros de profundidad.

El sonduje indica que no se observa nivel freático, mientras que para el SEV tampoco se presenció.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN TOMÉ

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		5.61
18-06-2016	16.9%	632655.00 m E	526542.00 m S	27-01-2014	689455.87 m E	579842.65 m E	

El resultado del sondaje para el primer estrato, corresponde a relleno artificial, conformados por arenas de grano fino limosas y arcillosas, trozos de carbón y restos de ladrillos, mientras que el resultado de la interpretación del SEV, se dedujo la ocurrencia de grava y arena de grano medio a grueso. Sin embargo la interpretación para un relleno es difícil de interpretar, puesto que posee mezclas de materiales. El espesor mostrado por el método resistivo corresponde al señalado por el sondaje tratándose de 3 metros de profundidad.

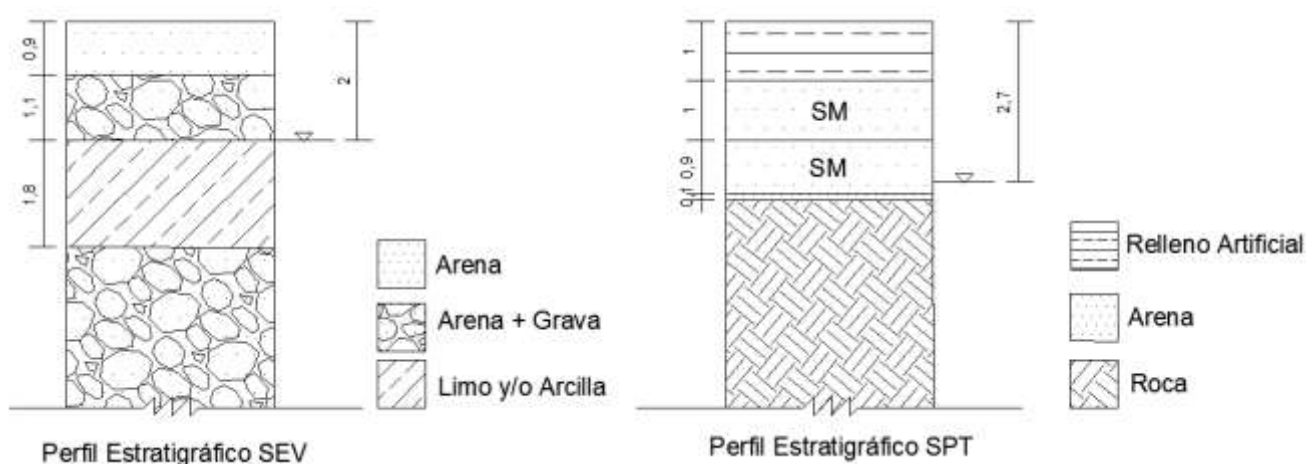
El segundo estrato del SEV, se interpretó un suelo arenoso de grano fino, comparándolo con el resultado del sondaje, este indica estratificaciones de arenas de grano medio,

limosas, por lo que la interpretación no estuvo tan alejada a los resultados por el SPT. Con respecto al espesor, el SEV muestra un valor cercano al indicado por el sondaje, diferenciándolo en 0.6 metros menos.

El último estrato medido por el SEV, se interpretó un suelo arenoso de grano medio, interpretación que no se pudo comparar, ya que el perfil estratigráfico del sondaje solo muestra hasta los 7 metros de profundidad.

Se dedujo que no hay presencia del nivel freático, sin embargo el sondaje muestra la presencia de la napa desde los 2.5 metros de profundidad.

SEV 2



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		7.68
18-06-2016	4.27%	636587.15 m E	524697.18 m S	31-03-2015	648595.11 m E	547816.43 m E	

El resultado para el primer estrato del sondaje, indica que se trata de relleno artificial conformado por arena y restos de madera, sin embargo la interpretación que se le dio al SEV para el primer estrato fue de un suelo arenoso de grano fino a medio, interpretación no

muy lejana a los materiales que conforman este relleno artificial. Con respecto al espesor, el SEV presenció un espesor de 0.9 metros, valor cercano al resultante por el sondaje de 1 metro.

El segundo estrato mostrado por el sondaje, indica que se trata de un suelo de arena media, limosa, con presencia de limos y gravas, comparando con la interpretación del SEV, se interpretó a mezcla de grava y arena de grano medio a grueso. En relación al espesor mostrado por el SEV, resultó ser de 1.1 metros mientras que el sondaje muestra un espesor de 1 metro.

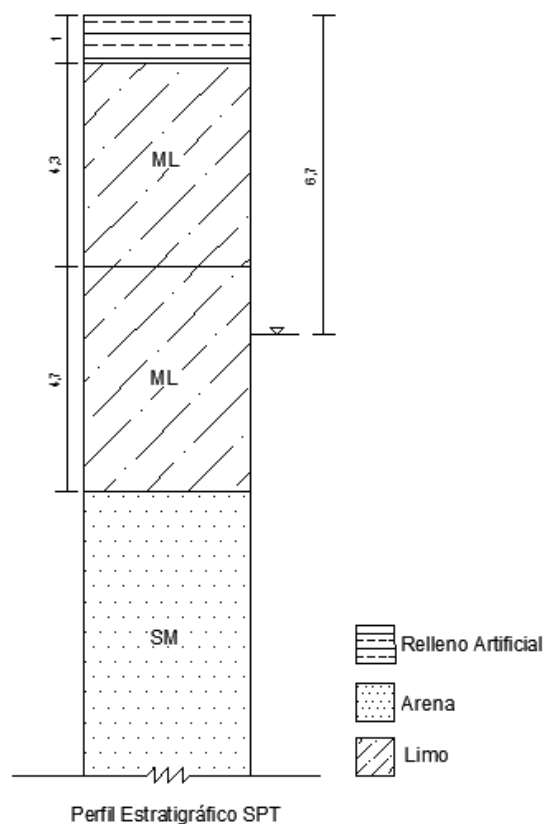
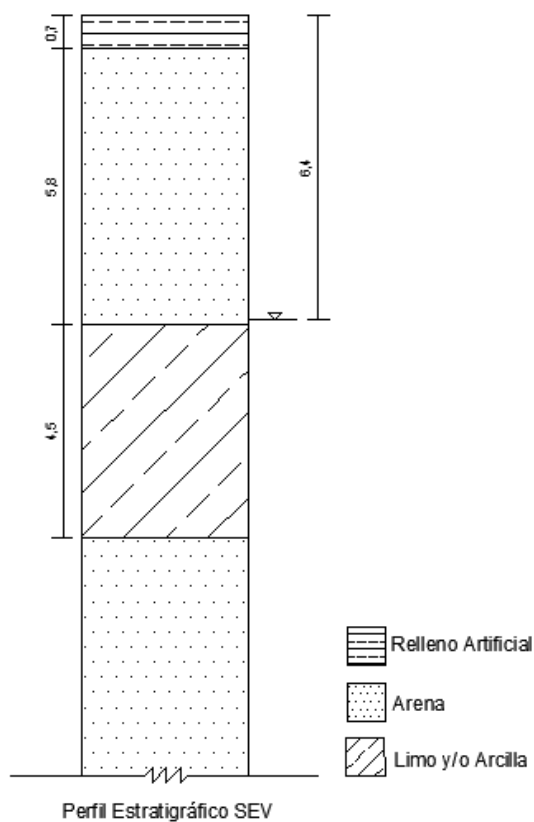
El tercer estrato resultante del sondaje corresponde a suelo arenoso de grano fino mientras que para el SEV se interpretó un suelo fino ya sea limoso o arcilloso o mezcla de ambos. El valor bajo de resistividad se puede atribuir a la humedad alta que posee este estrato y a su compacidad. En cuanto al espesor para el SEV se registró de 1.8 metros y para el ensayo SPT resultó ser de 0.9 metros.

El último estrato mostrado por el SEV, se interpretó un suelo arenoso de grano grueso con presencia de gravas, mientras que el sondaje indica la presencia de roca filita.

Se dedujo que la napa freática se encuentra a una profundidad de 2 metros, mientras que el SPT indica que se encuentra a una profundidad de 2.7 metros.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN HUALPÉN

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		11.12
18-08-2015	18.6%	671718.00 m E	5928233.00 m S	10-04-2014	671710.00 m E	5928225.00 m S	

El resultado del sondaje para el primer estrato corresponde a relleno artificial, conformado por arena, escombros y trozos de ladrillos. Mencionado anteriormente, la interpretación para un relleno artificial es complicada, esto debido a que presenta mezcla de distintos

materiales, sin embargo el valor alto de resistividad presente en el primer estrato mostrado por el SEV, se pudo inferir a que probablemente correspondía a relleno artificial, el espesor resultó ser de 0.7 metros, valor cercano al indicado por el sondaje de 1 metro.

El segundo estrato mostrado por el SEV, se infirió un suelo arenoso con presencia de suelo fino, mientras que el ensayo SPT resultó ser un suelo limoso arenoso, sin embargo el valor de resistividad resultante se encuentra cerca del rango para una interpretación de suelo limoso. En comparación al espesor de este estrato, el SEV detectó un espesor de 5.8 metros mientras que el sondaje de 4.3 metros.

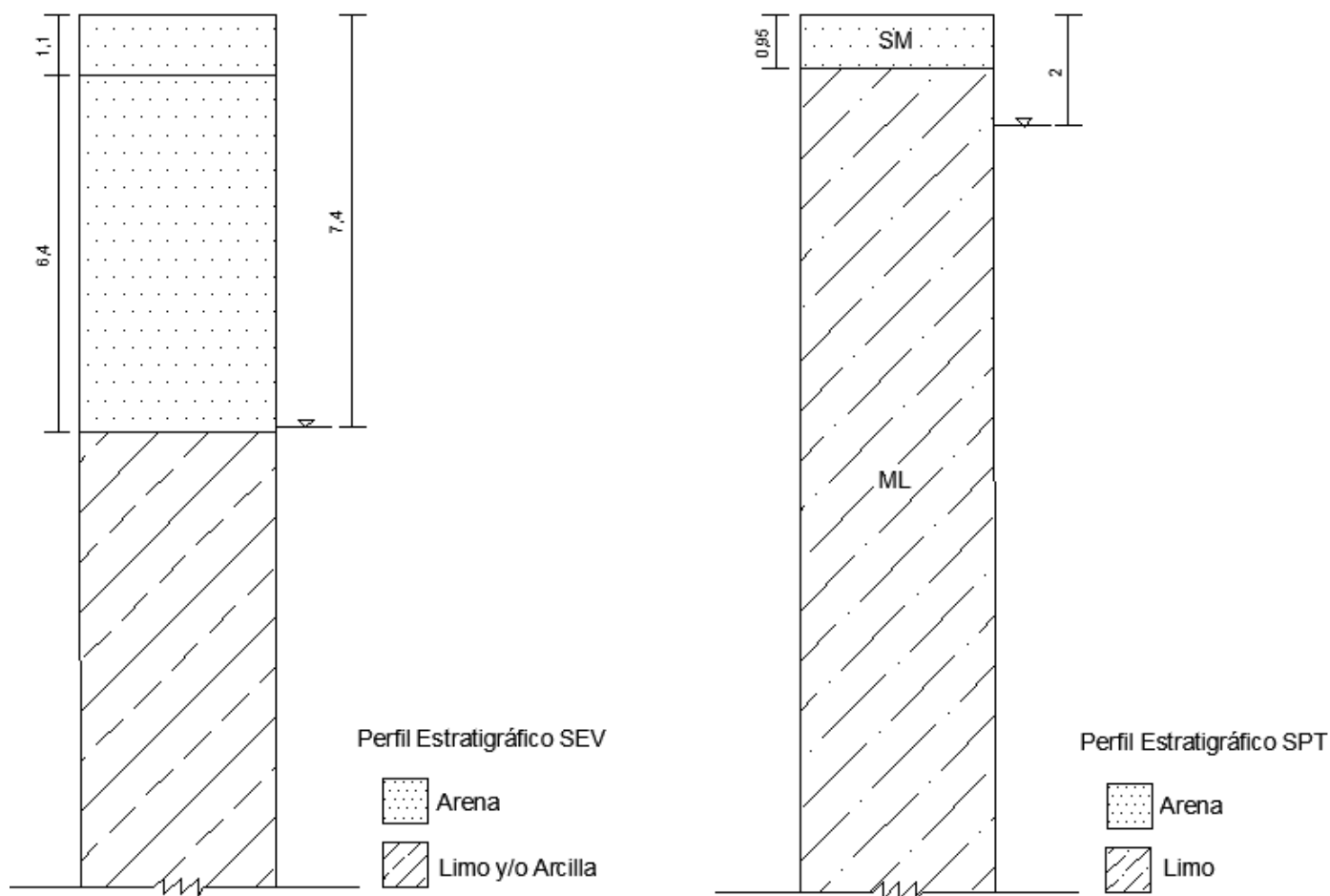
Se infirió para el tercer estrato a posibles materiales permeables como arena o a materiales finos ya sea limo o arcilla o mezcla de ambas, donde la saturación presente en este estrato es el principal responsable de la conductividad. Con respecto al espesor, el SEV resultó ser de 4.5 metros mientras que el SPT indica ser de 4.7 metros.

El cuarto estrato que muestra el ensayo SPT, corresponde a arena fina, limosa, comparando con la interpretación del SEV, se infirió a la presencia de suelo arenoso con un porcentaje de humedad.

Se infirió que la napa freática estaría presentada desde los 6.4 metros de profundidad, mientras que el sondaje indica que se presencia a los 6.7 metros.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN LOTA

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		249.45
22-02-2014	6.37%	663533.85 m E	5893723.39 m S	17-06-2015	663530.55 m E	5893967.72 m S	

La interpretación para el primer estrato, se infirió un suelo arenoso de grano fino, comparando con el resultado del sondaje, este indica la presencia de arena arcillosa, sin embargo es complicado inferir con tal precisión que se podría tratar de arena arcillosa. En cuanto al espesor no hubo mayor diferencia.

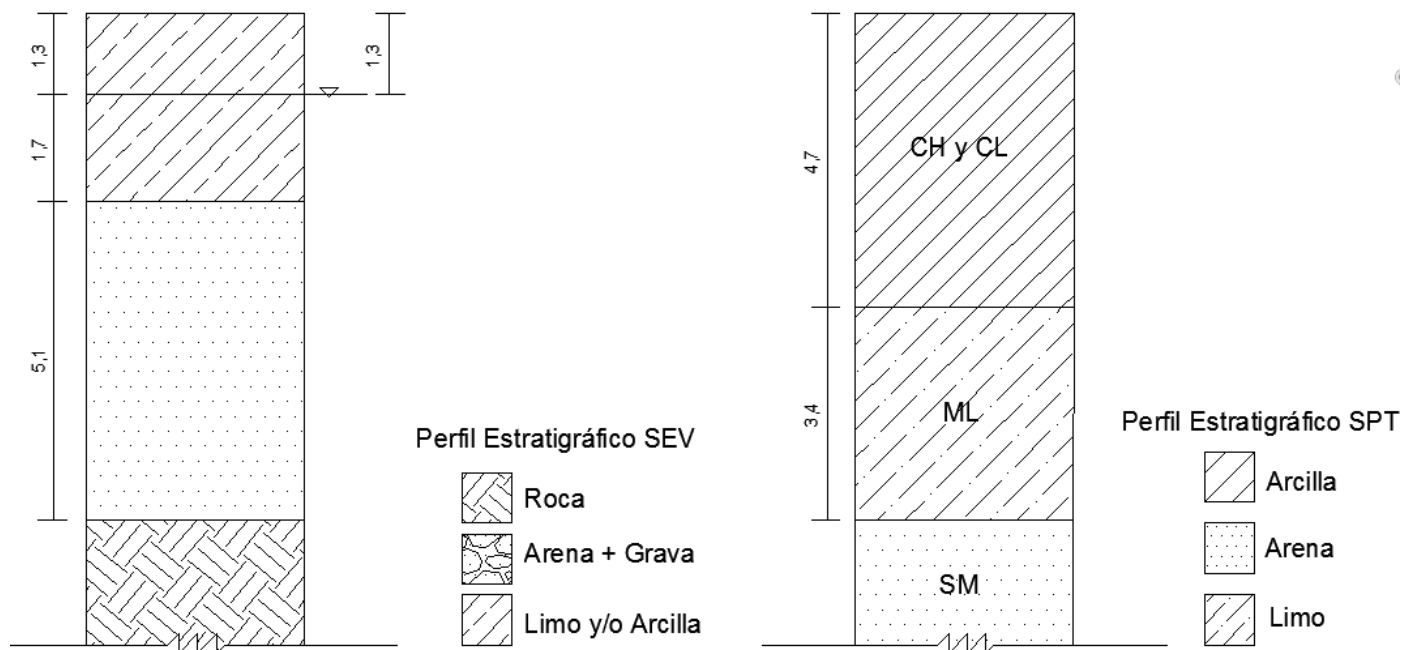
El segundo y último estrato mostrado por el sondaje, con un espesor bastante amplio de 19.1 metros, corresponde a un suelo limoso en estado saturado, y en cuanto a la interpretación del SEV, se infirió un suelo arenoso fino y posiblemente un porcentaje menor de suelo fino presentando un espesor de 6.4 metros, sin embargo la interpretación se encuentra muy alejada a los resultados verdaderos, esto podría deberse en gran parte, a que las mediciones de ambos métodos no se realizaron exactamente en el mismo lugar y año.

El SEV identificó un tercer estrato posiblemente saturado, infiriéndose a un suelo arenoso altamente permeable o un suelo limoso y/o arcilloso, mientras que el resultado del SPT indica la presencia de limo inorgánico en estado saturado.

Se detectó una posible napa freática presentada a los 7.4 metros de profundidad, en tanto el SPT indica que la napa freática se encuentra a los 2 metros.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN PENCO

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		11.78
02-02-2017	4.44%	680312.53 m E	5934773.82 m S	06-10-2016	680325.00 m E	5934773.00 m S	

El resultado del ensayo SPT para el primer estrato, muestra ser arcilla limosa de humedad natural alta y consistencia media a dura. Comparando con la interpretación del SEV, se infirió un suelo fino ya sea limo y/o arcillas y probablemente de humedad media, sin embargo los resultados no estaban tan alejados a la realidad. En cuanto al espesor del SEV fue de 0.5 metros mientras el ensayo SPT indica de 4.7 metros.

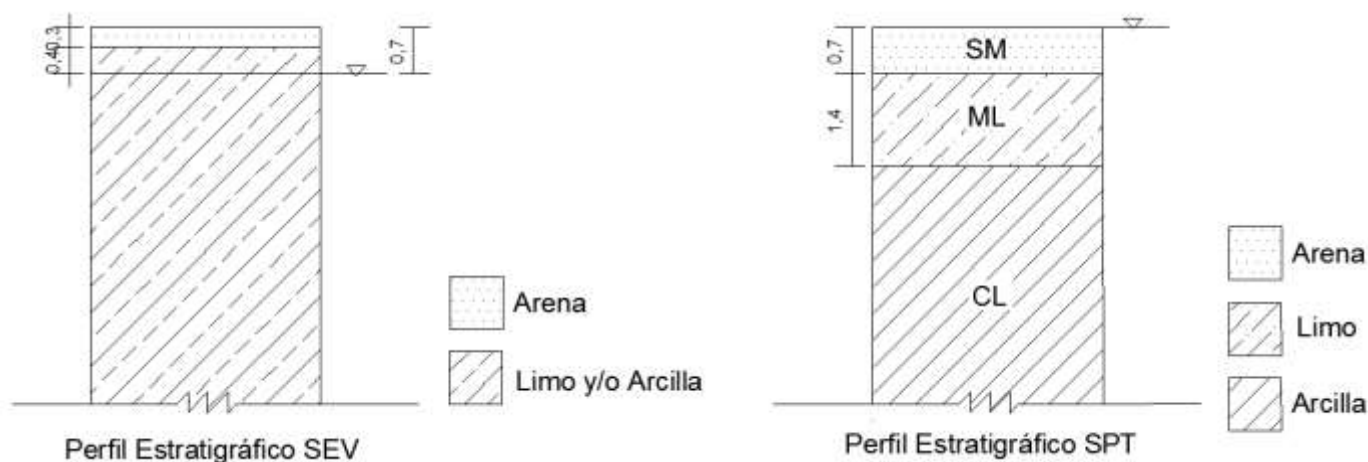
Para el segundo estrato, se interpretó un suelo fino comprendido por limo y/o arcilla, con un grado de humedad menor que el anterior estrato, mientras que el SPT indica un estrato de limo arcilloso con una humedad natural media y consistencia dura, observándose presencia de gravas, es por eso que el valor de resistividad fue mayor que el anterior estrato. Con respecto al espesor, el SEV detectó un espesor de 1.3 metros, mientras que el resultados del ensayo SPT muestra un espesor de 3.4 metros.

El tercer estrato se infirió un estrato saturado conformado por un suelo fino ya sea limoso o arcilloso o mezcla de ambas, comparándolo con los resultados del SPT, este indica que se trata de areniscas y limo cementado.

El cuarto estrato se interpretó a gravas mezcladas con suelo arenoso de grano grueso y el quinto estrato se interpretó a posible manto rocoso, para estos dos últimos estratos no se pudo hacer una comparación debido que el ensayo SPT tuvo una profundidad de investigación menor a la obtenida por SEV.

El SEV detecto una posible napa freática a partir de los 1.3 metros de profundidad, mientras que el resultados del ensayo SPT no se detectó posible napa freática.

SEV 2



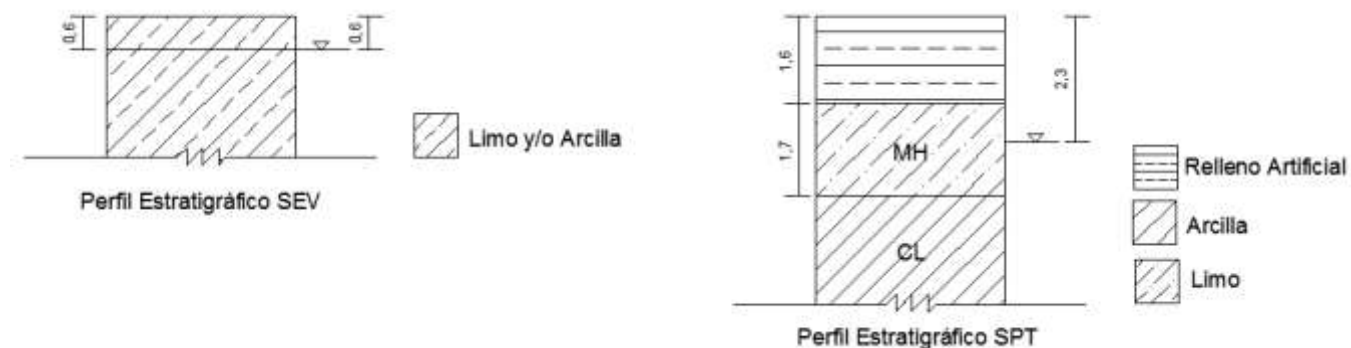
SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		6.63
02-02-2017	18.7%	679775.28 m E	5933838.99 m S	06-10-2016	679778.00 m E	5933832.00 m S	

El primer estrato del sondaje corresponde a arena fina a media, limosa, mientras que la interpretación que se le dio al SEV no estuvo tan alejada a los resultados del sondaje, infiriéndose a un suelo arenoso de grano fino. En cuanto al espesor, el SEV presenció un espesor de 0.3 metros, mientras que el sondaje de 0.7 metros.

El segundo estrato mostrado por el sondaje, corresponde a un suelo limoso, mientras que la interpretación del SEV se infirió a la presencia de suelo fino pero sin distinguir si se trata de un suelo limoso o arcilloso o a la mezcla de ambas.

Se infirió que a los 0.7 metros se presencia napa freática, mientras que para el sondaje se presenta desde los 0.0 metros.

SEV 3



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		14.66
02-02-2017	22.2%	679132.00 m E	5932312.00 m S	06-10-2016	679146.00 m E	5932317.00 m S	

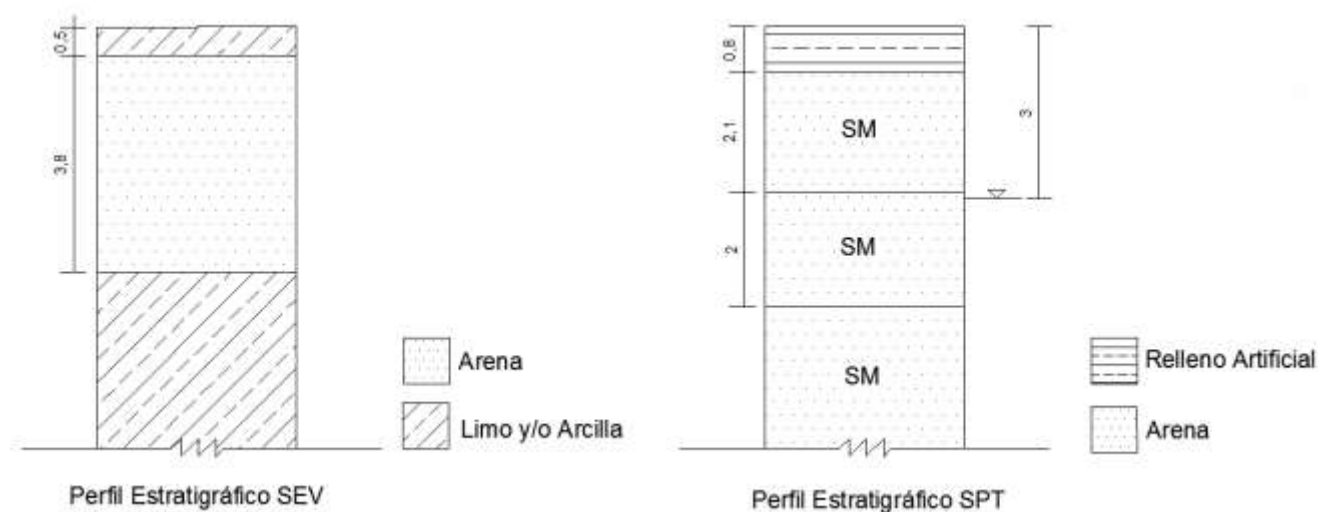
Para el primer estrato se infirió un suelo limoso, mientras que el SPT indica relleno artificial no controlado, conformado por limo, escombros y basura. Con respecto al espesor, el SEV detectó un espesor de 0.6 metros y el SPT de 1.6 metros.

El segundo estrato, el resultado del ensayo SPT indica la presencia de limo con una humedad natural media y consistencia dura, sin embargo para el SEV se infirió un suelo fino ya sea limoso y/o arcilloso. El espesor mostrado por el SEV indica ser infinito, esto debido que teóricamente no se conoce, mientras que del SPT resultó ser de 1.7 metros.

Para el SEV se infirió una posible napa freática a partir de los 0.6 metros, mientras que el SPT se detectó a los 2.3 metros de profundidad.

COMPARACIÓN DE ESTRATIGRAFÍAS EN ARAUCO

SEV 1



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		5.6
24-02-2016	31%	660590.00 m E	5883381.00 m S	03-01-2013	660584.00 m E	5883380.00 m S	

El primer estrato mostrado por el sondaje corresponde a relleno artificial, conformado por material estabilizado y escombros, comparando con la interpretación del SEV, se infirió la presencia de suelo limoso y/o arcilloso. Para este caso, el SEV muestra un inusual valor de resistividad más bajo de lo común para deducir la presencia de materiales que poseen un alto valor de resistividad, esto debido a que las mediciones de ambos métodos se realizaron en años diferentes. El SEV muestra un espesor de 0.5 metros, cercano al resultante por el sondaje de 0.8 metros.

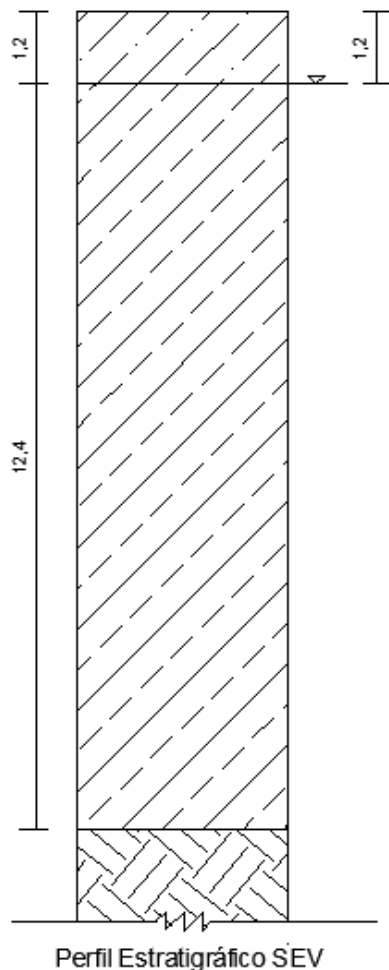
La interpretación para el segundo estrato del SEV, se deduce un suelo arenoso de grano fino, interpretación que coincide con el resultado del sondaje. El método resistivo

determinó un espesor de 3.8 metros, mientras que el espesor mostrado por el sondaje resultó ser de 2.1 metros.

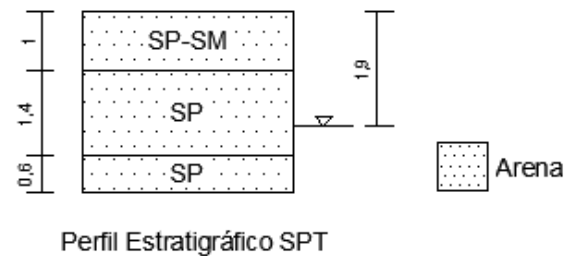
Para el tercer estrato se interpretó un suelo limoso y/o arcilloso, mientras que el sondaje para este estrato indica un suelo de arena fina, limosa, sin embargo se presenció un valor de resistividad menor para la interpretación de arena, esto debido que este estrato presenta porcentaje de suelo fino, humedad alta y compacidad suelta, afectando el valor de resistividad.

No se dedujo napa freática, mientras que para el sondaje se determinó a los 3 metros de profundidad.

SEV 2



-  Limo y/o Arcilla
-  Limo
-  Roca



SEV				SPT			DISTANCIA (m)
Fecha	% de error	Coordenadas UTM		Fecha	Coordenadas UTM		23.08
22-05-2017	20.9%	679286.00 m E	5937523.00 m S	07-07-2016	657814.00 m E	5936158.00 m S	

La interpretación para el primer estrato no concuerda con el indicado por el sondaje, ya que se interpretó un suelo limoso, mientras que el resultado del ensayo SPT señala que se trata de relleno no controlado conformado por arena con limo de grano fino y escombros, sin embargo el SEV muestra un valor de resistividad menor para una posible interpretación de relleno artificial, esto podría deberse a que ambos métodos realizaron sus mediciones en años desfasados provocando que hayan eliminado el relleno artificial y posterior se realizaron las mediciones de resistividad.

El segundo estrato del sondaje corresponde a arena de grano medio, mientras que para la interpretación del SEV, se infirió un suelo limoso y/o arcilloso, para este estrato se muestra un valor de resistividad menor para una posible interpretación de suelo areno, esto podría deberse a que en este estrato se presencia humedad alta y compacidad media, permitiendo que el fluido del agua se transporte con facilidad por los intersticios de este suelo, provocando mayor conductividad.

El tercer y último estrato, que identificó el SEV, se infirió a la roca. Para este estrato no se pudo hacer una comparación con los resultados del ensayo SPT ya que la profundidad de investigación fue hasta los 3 metros.

Se interpretó que el nivel freático podría estar presentado desde los 1.2 metros de profundidad, mientras que el sondaje indica que a los 1.9 metros se presenta la napa freática.

ANEXO F
COMPARACIÓN DE RESISTENCIA DE SUELOS OBTENIDOS POR SEV Y SPT

CONCEPCIÓN

SEV 1				Tipo de suelos								
				General			Arenas					
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Relleno	0,55-1	15	166	316	181	50	66	22	274	-	-	-
Relleno	1,05 - 1,5	11	166	316	181	50	66	22	274	-	-	-
Arena	1,55 - 2	16	166	316	181	50	66	22	274	-	-	-
Arena	2,05 - 2,5	8	170	324	186	50	64	22	274	-	-	-
Arena	2,55 - 3	18	170	324	186	50	64	22	274	-	-	-
Arena	3,05 - 3,5	16	180	344	200	52	59	22	274	-	-	-
Arena	3,55 - 4	14	180	344	200	52	59	22	274	-	-	-
Limo	4,05 - 4,5	9	180	344	200	52	-	-	-	13	99	30

SEV 2				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Ramanujam	Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Relleno	0,0 - 0,45	16	344	664	430	82	-	-	-	-	-	-
Limo con arena	1 - 1,45	9	280	539	340	70	-	-	-	9	162	42
Limo con arena	2 - 2,45	11	170	324	186	50	64	22	273	13	93	28
Limo con arena	3 - 3,45	23	90	168	74	36	148	22	277	21	43	14
Limo con arena	4 - 4,45	21	60	109	32	30	254	22	279	28	25	8

SEV 3				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Relleno	0,0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limo	1 - 1,45	16	27	45	14	24	-	-	-	48	4	0
Limo	1,5 - 1,9	7	29	49	11	25	-	-	-	46	5	1
Limo arenoso	2,2 - 2,65	7	30	51	10	25	-	-	-	45	6	1
Limo arenoso	2,9 - 3,35	15	33	57	6	26	-	-	-	42	8	2
Limo arenoso	3,5 - 3,95	20	35	61	3	26	-	-	-	40	9	2
Limo arenoso	4,3 - 4,75	28	37	64	0	26	-	-	-	39	10	3

SEV 4				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Arena	0,0 - 0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	0,6 - 1,15	10	70	129	46	32	207	22	278	-	-	-
Limo	1,7 - 2,15	17	23	37	20	24	-	-	-	54	2	1
Limo	2,7 - 3,15	11	13	18	34	22	-	-	-	80	5	3

SEV 5				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Relleno	0,0 - 0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	0,4 - 0,85	19	420	812	537	95	19	22	262	-	-	-
Arena	1,05 - 1,5	31	700	1359	929	146	10	23	248	-	-	-
Arena	1,55 - 2	32	800	1555	1069	164	8	23	243	-	-	-
Arena	2,05 - 2,5	34	900	1750	1209	182	7	23	239	-	-	-
Arena	2,55 - 3	42	1000	1945	1349	200	6	23	234	-	-	-

SEV 6				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Arena	0,0 - 0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	0,4 - 0,85	35	105	197	95	39	121	22	277	-	-	-
Arena	1,15 - 1,6	26	100	188	88	38	129	22	277	-	-	-
Limo	1,9 - 2,35	27	90	168	74	36	-	-	-	21	43	14
Limo	2,65 - 3,1	10	80	148	60	34	-	-	-	23	37	12

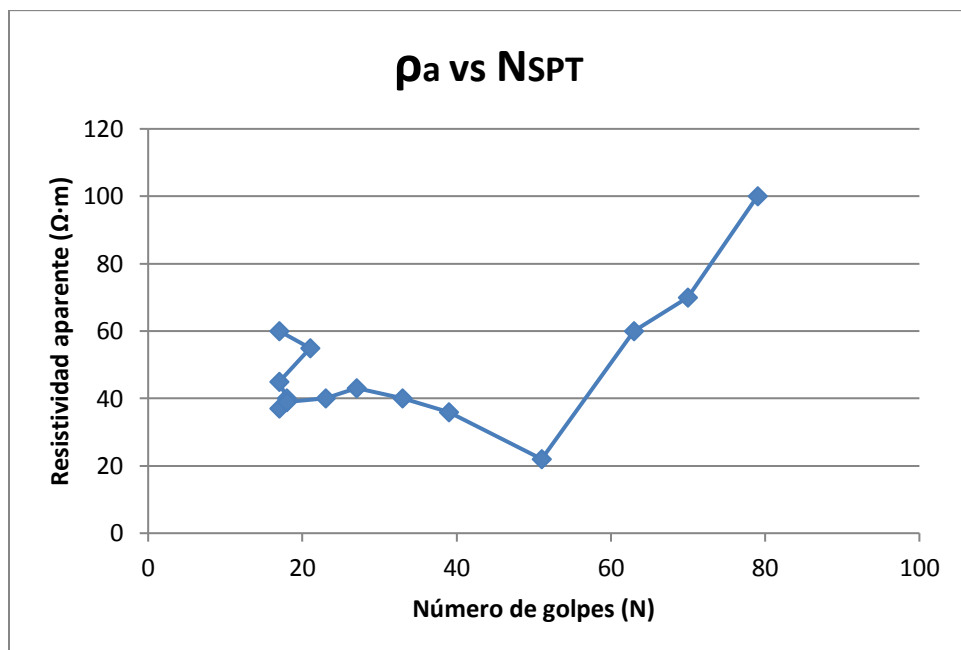
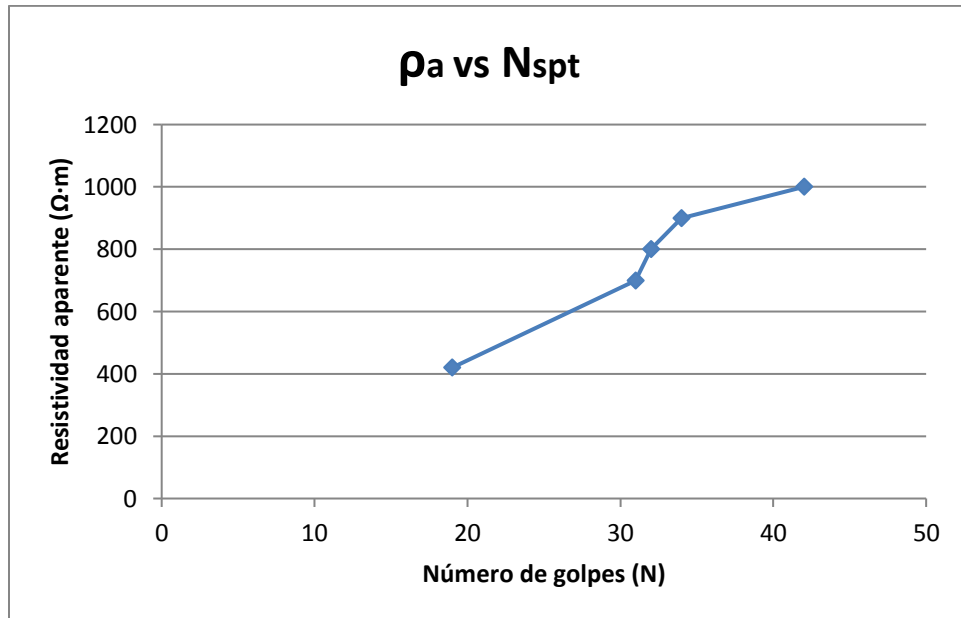
SEV 7				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Limo	0,0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	1 - 1,5	16	300	578	368	74	30	22	267	-	-	-
Arena	1,6 - 2	27	450	871	579	101	17	22	260	-	-	-
Arena	2,1 - 2,5	23	490	949	635	108	16	22	258	-	-	-
Arena	2,6 - 3	24	500	969	649	110	15	22	258	-	-	-
Limo	3,3 - 3,8	28	600	1164	789	128	-	-	-	5	361	39

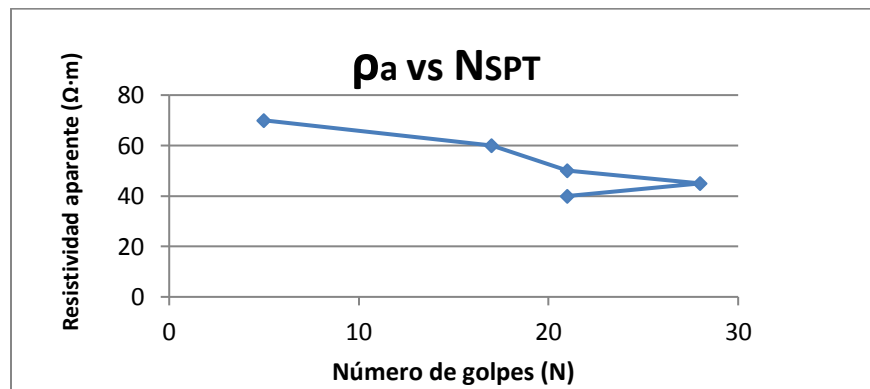
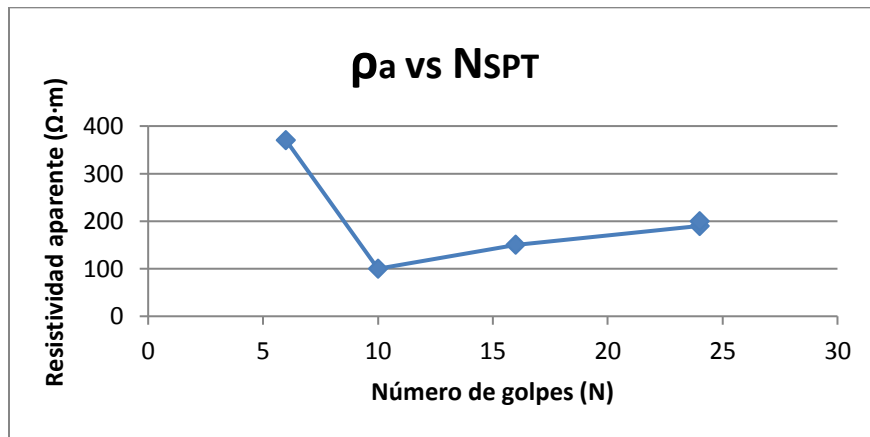
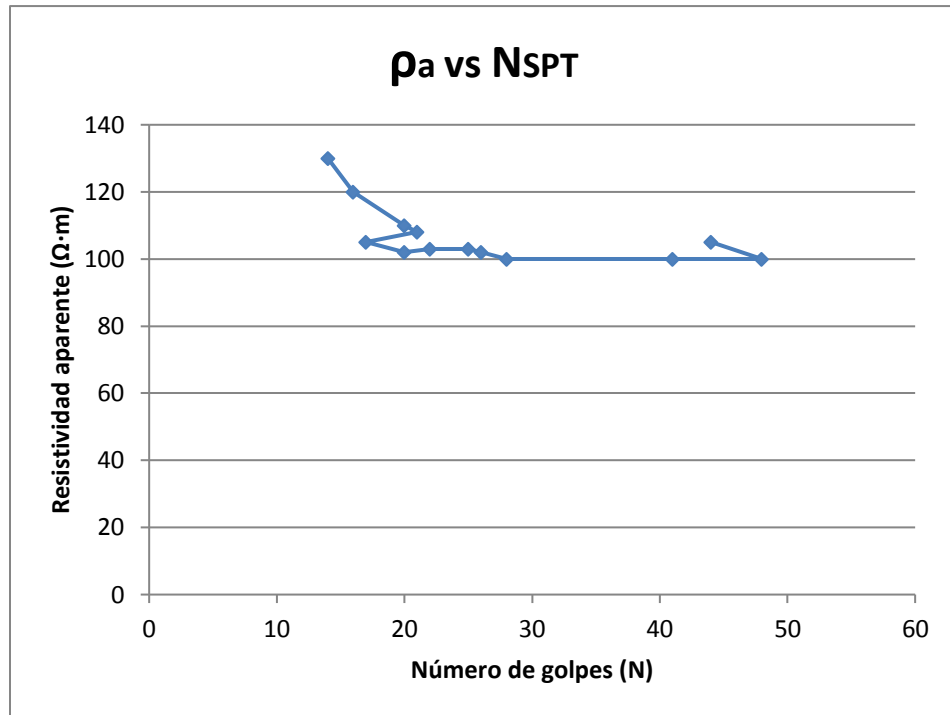
SEV 8				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Relleno	0,0 - 0,85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	0,85 - 1,3	15	230	441	270	61	43	22	271	-	-	-
Arena	1,5 - 1,95	17	250	480	298	65	38	22	270	-	-	-
Arena	2,4 - 2,85	10	215	412	249	58	47	22	271	-	-	-
Arena	3,4 - 3,85	1//45	210	402	242	57	48	22	272	-	-	-
Arena	4,1 - 4,55	3	200	383	228	56	51	22	272	-	-	-
Limo	5,2 - 5,65	37	160	305	172	48	-	-	-	14	87	27

SEV 9				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
				2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	p									
Arena	0,0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arena	1 - 1,45	17	60	109	32	30	254	22	279	-	-	-
Arena	1,9 - 2,35	21	55	100	25	29	286	22	279	-	-	-
Arena	2,8 - 3,25	17	45	80	11	28	373	22	279	-	-	-
Arena	3,7 - 4,15	18	40	70	4	27	436	22	280	-	-	-
Arena	4,6 - 5,05	17	37	64	0	26	484	22	280	-	-	-
Arena	5,5 - 5,95	18	39	68	3	27	451	22	280	-	-	-
Arena	6,4 - 6,85	23	40	70	4	27	436	22	280	-	-	-
Arena	7,2 - 7,65	27	43	76	8	27	396	22	280	-	-	-
Arena	8,1 - 8,55	33	40	70	4	27	436	22	280	-	-	-
Arena	9 - 9,45	39	36	63	1	26	502	22	280	-	-	-
Arena	9,9 - 10,35	51	22	35	21	24	966	22	281	-	-	-
Arena	10,8 - 11,25	63	60	109	32	30	254	22	279	-	-	-
Arena	11,7 - 12,15	70	70	129	46	32	207	22	278	-	-	-
ROCA	12,6 - 13,05	79	100	188	88	38	129	22	277	-	-	-

SEV 10				Tipo de suelos								
				General			Arenas			Arcillas		
				Boobalan y Ramanujam	Boobalan y Ramanujam	Kalyane	Braga et al.	Akinlabi y Adeyemi	Hatta y Syed	Braga et al.	Boobalan y Ramanujam	Syed et al.
Tipo de suelo	Distancia	N-SPT	ρ	2015	2015	2017	1999	2014	2015	1999	2015	2016
Limo	0,0 - 0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Limo	0,9 - 1,4	9	105	197	95	39	-	-	-	19	53	17
Limo	1,4 - 1,9	14	110	207	102	39	-	-	-	18	56	18
Arena	2 - 2,5	14	130	246	130	43	91	22	275	-	-	-
Arena	2,6 - 3	16	120	227	116	41	101	22	276	-	-	-
Arena	3,1 - 3,5	20	110	207	102	39	114	22	276	-	-	-
Arena	3,6 - 4	21	108	203	99	39	116	22	276	-	-	-
Arena	4,2 - 4,7	17	105	197	95	39	121	22	277	-	-	-
Arena	4,8 - 5,3	20	102	191	91	38	126	22	277	-	-	-
Arena	5,7 - 6,2	22	103	193	92	38	124	22	277	-	-	-
Arena	6,8 - 7,3	25	103	193	92	38	124	22	277	-	-	-
Arena	7,6 - 8,1	26	102	191	91	38	126	22	277	-	-	-
Arena	8,4 - 8,9	28	100	188	88	38	129	22	277	-	-	-
Arena	9,2 - 9,7	41	100	188	88	38	129	22	277	-	-	-
Arena	10 - 10,5	48	100	188	88	38	129	22	277	-	-	-
Arena	10,9 - 11,4	44	105	197	95	39	121	22	277	-	-	-

Comportamiento de la resistividad aparente con respecto al número de golpes obtenidos por el ensayo SPT para suelo tipo arena





ANEXO G
ENSAYOS DE SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL (SEV)

CONCEPCIÓN

SEV 1

Lugar: Avenida Ignacio Collao esquina calle Tegalda	
Fecha: 07 de Noviembre de 2014	
Clima: Buen tiempo - Despejado	Tipo de suelo: Normal propio del sector: Semivegetal - seco

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	72,1	170
2	1	1,5	26,7	168
3	1	2,0	14,3	168
4	1	2,5	8,98	169
5	1	3,0	6,28	173
6	1	3,5	4,59	173
7	1	4,0	3,51	174
8	1	5,0	2,15	167
9	1	6,0	1,33	149
10	1	7,0	0,91	139
11	1	8,0	0,48	96
12	1	9,0	0,33	84
13	1	10,0	0,15	47
14	1	12,0	0,13	59
15	1	14,0	0,06	37
16	9	16,0	0,92	76
17	9	18,0	0,6	64
18	9	20,0	0,42	56
19	9	22,0	0,28	45
20	9	25,0	0,2	42
21	9	28,0	0,1	27

SEV 2

Lugar: Avenida Arturo Prat N°199	
Fecha: 06 de Julio de 2013	
Clima: Buen tiempo despejado	Tipo de suelo: Normal propio del sector – arena sin compactar

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	135,30	319
2	1	1,5	37,60	236
3	1	2,0	15,77	186
4	1	2,5	7,69	145
5	1	3,0	3,90	107
6	1	3,5	2,23	84
7	1	4,0	1,37	68
8	1	5,0	0,66	51
9	1	6,0	0,35	39
10	7	7,0	3,98	66
11	7	8,0	2,49	58
12	7	9,0	1,62	50
13	7	10,0	1,20	47
14	7	12,0	0,70	41
15	7	14,0	0,19	16
16	7	16,0	0,17	19
17	7	18,0	0,40	56
18	7	20,0	0,12	21
19	7	22,0	0,20	42
20	7	25,0	0,06	17
21	7	28,0	0,01	3

SEV 3

Lugar: Hospital regional de Concepción (HGGB)	
Fecha: 17 de Octubre de 2011	
Clima: Nublado – Lluvia reciente	Tipo de suelo: Relleno compactado

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	11,04	26
2	1	1,5	4,37	27
3	1	2,0	2,46	29
4	1	2,5	1,61	30
5	1	3,0	1,15	32
6	1	3,5	0,89	34
7	1	4,0	0,69	34
8	1	5,0	0,47	37
9	1	6,0	0,34	38
10	1	7,0	0,27	41
11	1	8,0	0,21	42
12	1	9,0	0,18	46
13	1	10,0	0,15	47
14	1	12,0	0,12	54
15	1	14,0	0,09	55
16	1	16,0	0,07	56
17	1	18,0	0,06	61
18	1	20,0	0,05	63
19	9	22,0	0,20	32
20	9	25,0	0,19	40

SEV 4

Lugar: Ruta 150 – Camino a Penco N° 450	
Fecha: 12 de Mayo de 2016	
Clima: Nublado con chubascos intermitentes	Tipo de suelo: Vegetal y húmedo

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	29,10	69
2	1	1,5	8,04	51
3	1	2,0	2,58	30
4	1	2,5	1,13	21
5	1	3,0	0,56	15
6	1	3,5	0,28	11
7	1	4,0	0,19	9
8	1	5,0	0,13	10
9	1	6,0	0,08	9
10	1	7,0	0,02	3
11	1	8,0	0,10	20
12	1	9,0	0,06	15
13	1	10,0	0,08	25
14	1	12,0	0,08	36
15	1	14,0	0,09	55
16	1	16,0	0,09	72
17	1	18,0	0,08	81
18	1	20,0	0,06	75
19	1	22,0	0,02	30

SEV 5

Lugar: Calle Miraflores N° 820	
Fecha: 16 de Marzo de 2017	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Compactado sin accidentes tipográficos

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	186,90	440
2	1	1,5	107,50	675
3	1	2,0	69,20	815
4	1	2,5	48,30	910
5	1	3,0	36,10	992
6	1	3,5	28,50	1074
7	1	4,0	22,30	1103
8	1	5,0	12,37	962
9	1	6,0	7,32	822
10	1	7,0	4,41	675
11	1	8,0	2,76	553
12	1	9,0	1,62	411
13	1	10,0	1,28	401
14	1	12,0	0,57	257
15	1	14,0	0,46	283
16	1	16,0	0,35	281
17	1	18,0	0,25	254
18	1	20,0	0,18	226
19	1	22,0	0,15	228
20	1	25,0	0,12	236
21	1	28,0	0,1	246

SEV 6

Lugar: Avenida 7 Lagunas N° 1073	
Fecha: 24 de Noviembre de 2013	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arcilloso - compactado

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	44,80	106
2	1	1,5	15,94	100
3	1	2,0	8,02	94
4	1	2,5	4,71	89
5	1	3,0	3,11	85
6	1	3,5	2,29	86
7	1	4,0	1,76	87
8	1	5,0	1,13	88
9	1	6,0	0,81	91
10	1	7,0	0,57	87
11	1	8,0	0,43	86
12	1	9,0	0,32	81
13	1	10,0	0,27	85
14	1	12,0	0,05	23
15	1	14,0	0,03	18
16	7	16,0	0,76	83
17	7	18,0	0,60	84
18	7	20,0	0,43	75
19	7	22,0	0,34	72

SEV 7

Lugar: Calle Hernando de Santillan N°153	
Fecha: 24 de Octubre de 2013	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arcilloso - compactado

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	186,90	440
2	1	1,5	107,50	675
3	1	2,0	69,20	815
4	1	2,5	48,30	910
5	1	3,0	36,10	992
6	1	3,5	28,50	1074
7	1	4,0	22,30	1103
8	1	5,0	12,37	962
9	1	6,0	7,32	822
10	1	7,0	4,41	675
11	1	8,0	2,76	553
12	1	9,0	1,62	411
13	1	10,0	1,28	401
14	1	12,0	0,57	257
15	1	14,0	0,46	283
16	1	16,0	0,35	281
17	1	18,0	0,25	254
18	1	20,0	0,18	226
19	1	22,0	0,15	228
20	1	25,0	0,12	236
21	1	28,0	0,1	246

SEV 8

Lugar: Calle Binimelis esquina O'higgins Poniente	
Fecha: 14 de Diciembre de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Semi vegetal y húmedo

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	109,40	258
2	1	1,5	47,30	297
3	1	2,0	25,20	297
4	1	2,5	14,60	275
5	1	3,0	8,40	231
6	1	3,5	5,80	219
7	1	4,0	3,84	190
8	1	5,0	2,30	179
9	1	6,0	1,50	168
10	1	7,0	0,73	112
11	1	8,0	0,60	120
12	1	9,0	0,29	74
13	1	10,0	0,60	188
14	7	12,0	1,06	63
15	7	14,0	1,00	82
16	7	16,0	0,70	77
17	7	18,0	0,20	28
18	7	20,0	0,10	17
19	11	22,0	0,50	65
20	11	25,0	0,20	34

SEV 9

Lugar: Calle 3 s/n – sector los Terreones	
Fecha:	
Clima: -	Tipo de suelo: -

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	0,6	1660	573,65
2	1	0,8	901	1103,92
3	1	1	367	864,72
4	1	1,6	182	1320,79
5	1	2	89	1048,51
6	1	2,5	44,8	844,46
7	1	3	1,5	41,23

SEV 10

Lugar: Sector Santa Sabina – Barrio Norte	
Fecha: 14 de Junio de 2013	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: gredoso, arcilloso; semicompactado

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	40,20	95
2	1	1,5	19,14	120
3	1	2,0	11,01	130
4	1	2,5	6,96	131
5	1	3,0	4,68	129
6	1	3,5	3,30	124
7	1	4,0	2,4	119
8	1	5,0	1,44	112
9	1	6,0	1,00	112
10	1	7,0	0,73	112
11	1	8,0	0,52	104
12	1	9,0	0,42	107
13	1	10,0	0,33	103
14	1	12,0	0,23	104
15	1	14,0	0,16	98
16	1	16,0	0,13	104
17	1	18,0	0,11	112
18	1	20,0	0,09	113
19	1	22,0	0,09	137
20	1	25,0	0,08	157
21	1	28,0	0,07	172

SEV 11

Lugar: Calle las Heras N° 1464- Edificio Condell	
Fecha: 29 de Marzo de 2017	
Clima:	Tipo de suelo:

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	0,6	108,5	37,49
2	1	0,8	52,05	63,77
3	1	1	14,35	33,81
4	1	1,6	7,85	56,97
5	1	2	5,185	61,08
6	1	2,5	3,32	62,58
7	1	3	1,5	41,23
8	1	4	0,615	30,43
9	1	5	0,275	21,38
10	1	6	0,02	2,25

TALCAHUANO

SEV 1

Lugar: Avenida Colon N° 1165	
Fecha: 03 de Marzo de 2015	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Sin accidentes topográficos

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	68,70	162
2	1	1,5	11,32	71
3	1	2,0	3,23	38
4	1	2,5	1,53	29
5	1	3,0	0,98	27
6	1	3,5	0,64	24
7	1	4,0	0,59	29
8	1	5,0	0,36	28
9	1	6,0	0,23	26
10	1	7,0	0,16	25
11	1	8,0	0,06	12
12	1	9,0	0,07	18
13	9	10,0	0,89	25
14	9	12,0	0,53	23
15	9	14,0	0,32	20
16	9	16,0	0,21	17
17	9	18,0	0,18	19
18	9	20,0	0,10	13

SEV 2

Lugar: Calle I N° 990 – Condominio Alto Los Olivos; ML-E5- Sector Brisas del Sol	
Fecha: 07 de julio de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arena – semi compactada

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	89,30	210
2	1	1,5	36,80	231
3	1	2,0	19,29	227
4	1	2,5	11,45	216
5	1	3,0	6,99	192
6	1	3,5	4,67	176
7	1	4,0	3,22	159
8	1	5,0	1,68	131
9	1	6,0	0,94	106
10	1	7,0	0,52	80
11	1	8,0	0,29	58
12	1	9,0	0,14	36
13	1	10,0	0,08	25
14	1	12,0	0,02	9
15	7	14,0	0,63	52
16	7	16,0	0,23	25
17	7	18,0	0,14	20
18	7	20,0	0,13	23
19	7	22,0	0,10	21
20	7	25,0	0,07	19
21	7	28,0	0,07	24

SEV 3

Lugar: Calle J N° 889 – Condominio Cipres – Sector Brisas del Sol	
Fecha: 16 de Abril de 2015	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arena – semi compactada

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	347,00	818
2	1	1,5	106,10	667
3	1	2,0	35,50	418
4	1	2,5	14,50	273
5	1	3,0	6,70	184
6	1	3,5	3,20	121
7	1	4,0	1,90	94
8	1	5,0	0,60	47
9	1	6,0	0,30	34
10	1	7,0	0,10	15
11	9	8,0	5,60	86
12	9	9,0	2,80	59
13	9	10,0	1,70	47
14	9	12,0	1,00	43
15	9	14,0	0,60	37
16	9	16,0	0,10	8
17	15	18,0	0,50	28
18	15	20,0	0,10	7

SEV 4

Lugar: Calle LL N° 1201 – Condominio 1j – 12b3 – Sector Brisa del Sol	
Fecha: 25 de Marzo de 2013	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arena – Semi compactada

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	40,20	95
2	1	1,5	19,14	120
3	1	2,0	11,01	130
4	1	2,5	6,96	131
5	1	3,0	4,68	129
6	1	3,5	3,30	124
7	1	4,0	2,40	119
8	1	5,0	1,44	112
9	1	6,0	1,00	112
10	1	7,0	0,73	112
11	1	8,0	0,52	104
12	1	9,0	0,42	107
13	1	10,0	0,33	103
14	1	12,0	0,23	104
15	1	14,0	0,16	98
16	1	16,0	0,13	104
17	1	18,0	0,11	112
18	1	20,0	0,09	113
19	1	22,0	0,09	137
20	1	25,0	0,08	157
21	1	28,0	0,07	172

SAN PEDRO DE LA PAZ

SEV 1

Lugar: Avenida Jhon Macnab N° 3650 – Sector Fundo el Venado	
Fecha: 15 de Abril de 2011	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arcilloso – semi vegetal

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	19,48	46
2	1	1,5	6,54	41
3	1	2,0	3,40	40
4	1	2,5	2,17	41
5	1	3,0	1,57	43
6	1	3,5	1,19	45
7	1	4,0	0,98	48
8	1	5,0	0,72	56
9	1	6,0	0,55	62
10	1	7,0	0,45	69
11	1	8,0	0,39	78
12	1	9,0	0,34	86
13	1	10,0	0,29	91
14	1	12,0	0,24	108
15	1	14,0	0,20	123
16	1	16,0	0,17	137
17	1	18,0	0,15	153
18	1	20,0	0,13	163
19	1	22,0	0,12	182
20	1	25,0	0,10	196
21	1	28,0	0,08	197

SEV 2

Lugar: Avenida Johon Macnab N° 3250 – Sector Fundo el Venado	
Fecha: 15 de Abril de 2011	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arcilloso – semi vegetal

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	41,00	97
2	1	1,5	18,30	115
3	1	2,0	10,46	123
4	1	2,5	6,98	132
5	1	3,0	4,73	130
6	1	3,5	3,46	130
7	1	4,0	2,64	131
8	1	5,0	1,64	128
9	1	6,0	1,00	112
10	1	7,0	0,73	112
11	1	8,0	0,55	110
12	1	9,0	0,43	109
13	1	10,0	0,38	119
14	1	12,0	0,18	81
15	1	14,0	0,15	92
16	1	16,0	0,07	56
17	1	18,0	0,07	71
18	1	20,0	0,11	138
19	1	22,0	0,09	137
20	1	25,0	0,05	98
21	1	28,0	0,03	74

SEV 3

Lugar: Avenida Andalue N° 2350 – Sector Andalue	
Fecha: 09 de Noviembre de 2016	
Clima: Nublado – Chubascos intermitentes recientes	Tipo de suelo: Arcilloso – semi compactado con accidentes topográficos

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	46,80	110
2	1	1,5	20,50	129
3	1	2,0	11,24	132
4	1	2,5	6,89	130
5	1	3,0	4,74	130
6	1	3,5	3,72	140
7	1	4,0	2,97	147
8	1	5,0	2,01	156
9	1	6,0	1,39	156
10	1	7,0	0,93	142
11	1	8,0	0,79	158
12	1	9,0	0,42	107
13	1	10,0	0,32	100
14	1	12,0	0,18	81
15	1	14,0	0,15	92
16	1	16,0	0,12	96
17	1	18,0	0,09	92
18	1	19,0	0,07	79

SEV 4

Lugar: Calle Antuco N° 350 – Sector Cumbres de Andalue	
Fecha: 26 de Junio de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Arcilloso – semi compactado

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	93,70	221
2	1	1,5	49,40	310
3	1	2,0	31,90	376
4	1	2,5	22,10	417
5	1	3,0	15,28	420
6	1	3,5	11,50	434
7	1	4,0	8,98	444
8	1	5,0	5,91	460
9	1	6,0	3,86	434
10	1	7,0	2,64	404
11	1	8,0	1,76	352
12	1	9,0	1,15	292
13	1	10,0	0,80	251
14	1	12,0	0,36	163

CHIGUAYANTE

SEV 1

Lugar: Calle los Aromos N° 121 – condominio residencial Los Aromos	
Fecha: 17 de Octubre de 2013	
Clima: Buen tiempo – despejado	Tipo de suelo: Arena – Semi compactada

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	332,00	782
2	1	1,5	131,50	826
3	1	2,0	70,00	825
4	1	2,5	40,00	754
5	1	3,0	24,10	662
6	1	3,5	16,60	626
7	1	4,0	11,70	579
8	1	5,0	7,40	575
9	1	6,0	4,90	550
10	1	7,0	3,30	505
11	1	8,0	2,40	481
12	1	9,0	1,80	457
13	1	10,0	1,30	407
14	1	12,0	0,60	271
15	1	14,0	0,40	246
16	1	16,0	0,30	241
17	1	18,0	0,20	203
18	1	20,0	0,10	126
19	1	22,0	0,10	152

CORONEL

SEV 1

Lugar: Parque Escuadrón II – KM. 17,5 – Ruta 160	
Fecha: 12 de Abril de 2014	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Adyacente costa mar – arenoso; semi pedregoso

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	17,78	42
2	1	1,5	10,69	67
3	1	2,0	7,73	91
4	1	2,5	6,16	116
5	1	3,0	5,02	138
6	1	3,5	4,31	162
7	1	4,0	3,49	173
8	1	5,0	2,57	200
9	1	6,0	1,97	221
10	1	7,0	1,57	240
11	1	8,0	1,35	270
12	1	9,0	1,10	279
13	1	10,0	0,90	282
14	1	12,0	0,61	275
15	1	14,0	0,27	166
16	1	16,0	0,34	273
17	1	18,0	0,27	275
18	1	20,0	0,10	126
19	1	22,0	0,13	198
20	1	25,0	0,08	157
21	1	28,0	0,08	197

TOMÉ

SEV 1

Lugar: Rio Pingual s/n – Localidad de Dichato	
Fecha: 18 de Julio de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Semi vegetal y húmedo

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	178,70	421
2	1	1,5	72,80	457
3	1	2,0	36,20	426
4	1	2,5	21,20	400
5	1	3,0	14,82	407
6	1	3,5	10,18	384
7	1	4,0	7,46	369
8	1	5,0	4,76	370
9	1	6,0	3,13	352
10	1	7,0	2,13	326
11	1	8,0	1,53	306
12	1	9,0	1,14	289
13	1	10,0	0,83	260
14	1	12,0	0,60	271
15	1	14,0	0,20	123
16	7	16,0	3,30	361
17	7	18,0	2,40	336
18	7	20,0	1,60	278
19	7	22,0	1,40	296
20	7	25,0	1,10	303
21	7	28,0	0,90	312

SEV 2

Lugar: Calle Bellavista s/n – Sector Punta Parra	
Fecha: 18 de Julio de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: semi – vegetal y húmedo

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	101,70	240
2	1	1,5	41,90	263
3	1	2,0	25,90	305
4	1	2,5	17,80	336
5	1	3,0	12,90	355
6	1	3,5	9,90	373
7	1	4,0	7,50	371
8	1	5,0	4,00	311
9	1	6,0	2,80	314
10	1	7,0	1,90	29
11	1	8,0	1,10	220
12	1	9,0	0,95	241
13	1	10,0	0,60	188
14	1	12,0	0,44	199
15	1	14,0	0,35	215
16	7	16,0	0,26	209
17	7	18,0	0,20	203
18	7	20,0	0,19	239
19	7	22,0	0,18	274

HUALPÉN

SEV 1

Lugar: Calle Vasco Nuez de Balboa N° 9155	
Fecha: 18 de Agosto de 2015	
Clima: Nublado	Tipo de suelo: Sin accidentes topográficos – húmedo; carpeta de relleno

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	674,00	1588
2	1	1,5	144,50	908
3	1	2,0	53,00	624
4	1	2,5	15,40	290
5	1	3,0	6,60	181
6	1	3,5	2,80	106
7	1	4,0	2,40	119
8	1	5,0	1,20	93
9	1	6,0	0,70	79
10	9	7,0	15,30	154
11	9	8,0	7,10	108
12	9	9,0	3,80	81
13	9	10,0	2,40	67
14	9	12,0	1,30	56
15	9	14,0	0,70	43
16	9	16,0	0,50	41
17	9	18,0	0,10	11
18	17	20,0	0,60	36
19	17	22,0	0,20	15
20	17	25,0	0,20	20
21	17	28,0	0,20	26

LOTA

SEV 1

Lugar: Curva Loyola s/n – Sector Lota Alto	
Fecha: 22 de Febrero de 2014	
Clima: Buen tiempo despejado	Tipo de suelo: Relieve semi ondulado – vegetal seco

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	66,10	156
2	1	1,5	23,70	149
3	1	2,0	12,75	150
4	1	2,5	7,74	146
5	1	3,0	5,06	139
6	1	3,5	3,69	139
7	1	4,0	2,55	126
8	1	5,0	1,50	117
9	7	6,0	1,00	11
10	7	7,0	0,64	11
11	7	8,0	0,36	8
12	7	9,0	3,02	93
13	7	10,0	2,15	85
14	7	12,0	1,30	77
15	7	14,0	0,80	66
16	7	16,0	0,51	56
17	7	18,0	0,14	20
18	7	20,0	0,19	33
19	7	22,0	0,10	21

PENCO

SEV 1

Lugar: Recinto Portuario Lirquen s/n – Localidad de Lirquen	
Fecha: 15 de Marzo de 2015	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Suelo adyacente costa mar

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	6,69	16
2	1	1,5	3,22	20
3	1	2,0	1,76	21
4	1	2,5	1,11	21
5	1	3,0	0,75	21
6	1	3,5	0,52	20
7	1	4,0	0,38	19
8	1	5,0	0,25	19
9	1	6,0	0,18	20
10	1	7,0	0,14	21
11	1	8,0	0,11	22
12	1	9,0	0,10	25
13	1	10,0	0,08	25
14	1	12,0	0,07	32
15	1	14,0	0,06	37
16	1	16,0	0,05	40
17	1	18,0	0,05	51
18	7	20,0	0,09	16
19	7	22,0	0,07	15
20	7	25,0	0,05	14

SEV 2

Lugar: Calle los Lirios N° 11- Villa Cosmito	
Fecha: 02 de Febrero de 2017	
Clima: -	Tipo de suelo: -

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	0,6	269	92,96
2	1	0,8	90,8	111,25
3	1	1	24,1	56,78
4	1	1,6	9,19	66,69
5	1	2	4,07	47,95
6	1	2,5	2,53	47,69
7	1	3	1,06	29,14
8	1	4	0,54	26,72
9	1	5	0,46	35,77
10	1	6	0,36	40,43
11	1	8	0,2	40,06
12	1	10	0,1	31,34

SEV 3

Lugar: Calle La Heras N° 485	
Fecha: 13 de Junio de 2016	
Clima: -	Tipo de suelo: -

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	0,6	186	64,28
2	1	0,8	78,1	95,69
3	1	1	14,82	34,92
4	1	1,6	5,1	37,01
5	1	2	2,3	27,10
6	1	2,5	0,87	16,40
7	1	3	0,5	13,74
8	1	4	0,25	12,37

ARAUCO

SEV 1

Lugar: Camino público s/n – Población El Pinar – localidad de Laraquete	
Fecha: 24 de Febrero de 2016	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Semi vegetal y seco

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	17,50	41
2	1	1,5	7,50	47
3	1	2,0	5,40	64
4	1	2,5	3,50	66
5	1	3,0	2,80	77
6	1	3,5	2,40	90
7	1	4,0	1,50	74
8	1	5,0	0,90	70
9	1	6,0	0,50	56
10	1	7,0	0,30	46
11	7	8,0	2,10	49
12	7	9,0	3,10	96
13	7	10,0	2,60	102
14	7	12,0	1,40	83
15	15	14,0	2,30	67
16	15	16,0	1,80	75
17	15	18,0	0,40	22
18	15	20,0	0,40	29
19	15	22,0	0,40	36
20	15	25,0	0,40	48
21	15	28,0	0,40	61

SEV 2

Lugar: Intersecciones calles Esmeralda y Lautaro	
Fecha: 22 de Mayo de 2017	
Clima: Buen tiempo - despejado	Tipo de suelo: Semi vegetal y húmedo

N° de medidas	MN (m)	L (m)	R ($\Omega \cdot m$)	ρ ($\Omega \cdot m$)
1	1	1,0	30,40	72
2	1	1,5	9,62	60
3	1	2,0	4,47	53
4	1	2,5	2,50	47
5	1	3,0	1,65	45
6	1	3,5	1,18	44
7	1	4,0	0,69	34
8	1	5,0	0,48	37
9	1	6,0	0,34	38
10	1	7,0	0,26	40
11	1	8,0	0,19	38
12	1	9,0	0,13	33
13	1	10,0	0,12	38
14	1	12,0	0,05	23
15	1	14,0	0,04	25
16	1	16,0	0,01	8
17	7	18,0	0,42	59
18	7	20,0	0,30	52
19	7	22,0	0,29	61
20	7	25,0	0,25	69
21	7	28,0	0,18	62

ANEXO H
ENSAYOS DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

CONCEPCIÓN

SPT 1

Fecha: 09 de Septiembre de 2010
Cota nivel freático: 3,7 metros

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción estratigráfica
1	0,00 – 1,20	1,2	Relleno compuesto por una capa de maicillo inicial (entre 0.05m y 0.10m), para luego encontrar mezclas de maicillo, arena y algo de arcillas, color amarillento. Compacidad media, humedad media. Se observan trozos de ladrillos y gravas
2	1,20 – 4,10	2	Arena muy fina, limosa, color gris oscuro, plasticidad baja a nula, compacidad media, húmeda media, estructura homogénea. Se observa una grava de canto redondeado de $\frac{3}{4}$ ".
3	4,10 – 4,50	2,90	Limo color café oscuro, compacidad baja, estructura homogénea, humedad alta, plasticidad baja.
4	4,50 – 5,00	0,40	Arena limosa de color café oscuro, compacidad media, estructura heterogénea, humedad alta.
5	5,00 – 6,75	0,50	Arena muy fina, algo limosa, color café oscuro, compacidad densa, estructura homogénea, humedad alta. Se observan partículas de mica.

Profundidad (m)	Penetración N° de golpes			
	N1	N2	N3	Nf
0,55 – 1,00	3	4	11	15
1,05 – 1,50	13	6	5	11
1,55 – 2,00	5	8	8	16
2,05 – 2,50	4	4	4	8
2,55 – 3,00	4	8	10	18
3,05 – 3,50	8	8	8	16
3,55 – 4,00	6	7	7	14
4,05 – 4,50	3	3	6	9
4,55 – 5,00	6	4	6	10

SPT 2

Fecha: 12 de Febrero de 2014
Cota Nivel Freático: 3,6 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno artificial no controlado, conformado por arena fina, trozos de ladrillo y raíces finas.
2	1.0 - 1.8	0.8	Limo con arena de plasticidad baja, de color café oscuro, humedad natural media y compacidad suelta. Según USCS, el suelo clasifica como ML.
3	1.8 - 2.3	0.5	Limo con arena de plasticidad baja, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad media a suelta. Según USCS, el suelo clasifica como ML.
4	2.3 - 4.5	2.2	Estratificaciones de limos arenosos de plasticidad baja y arena fina limosa, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, estos suelos clasifican como ML y SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	Nf
0.00	0.45	9	8	8	16
1.00	1.45	5	5	4	9
2.00	2.45	10	6	5	11
3.00	3.45	8	11	12	23
4.00	4.45	9	10	11	21

SPT 3

Fecha: 10 de Noviembre de 2016
Cota Nivel Freático: 6,20 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.00 - 2.65	2.65	Limo de baja plasticidad, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) igual a 86%, de color café oscuro, de humedad natural media y consistencia media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
2	2.65 - 5.35	2.7	Limo arenoso de baja plasticidad, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) igual a 57%, de color negro, de humedad natural baja y compacidad media a suelta. Según USCS, este suelo clasifica como ML
3	5.35 - 10.00	4.65	Arena con limo, de grano medio a fino, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) que varía entre 7% y 21%, humedad natural media y de compacidad media a densa en profundidad. Según USCS, este suelo clasifica como SM y SP-SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	12	10	6	16
1.50	1.90	6	3	4	7
2.20	2.65	2	2	5	7
2.90	3.35	6	7	8	15
3.50	3.95	10	10	10	20
4.30	4.75	12	16	12	28
4.90	5.35	4	4	7	11
5.60	6.05	13	15	20	35
6.55	7.00	21	22	21	43
7.55	8.00	15	15	15	30
8.55	9.00	15	16	19	35

9.55	10.00	16	18	21	39
------	-------	----	----	----	-----------

SPT 4

Fecha: 08 de Septiembre de 2016
Cota Nivel Freático: 2,45 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.00 - 0.90	0.90	Arena limosa, de grano fino, de color verde, con humedad natural baja y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
2	0.90 - 3.05	2.15	Limo de baja plasticidad, de color amarillo oscuro, con humedad natural alta y consistencia media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	3.05 - 4.15	1.10	Arena con limo, de color negro oscuro, con humedad natural media y compacidad densa. Según USCS, este suelo clasifica como SP-SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.60	-	-	-	-
0.60	1.15	8	5	5	10
1.70	2.15	8	8	9	17
2.70	3.15	8	5	6	11
3.20	3.65	16	16	21	37
3.70	4.15	14	16	20	36

SPT 5

Fecha: 01 de Agosto de 2016
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.6	0.6	Relleno no controlado conformado por arena de grano medio y escombros de construcción.
2	0.6 - 3.0	2.4	Arena de grano grueso, de color gris oscuro, con humedad natural media y compacidad densa.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.40	-	-	-	-
0.40	0.85	6	8	11	19
1.05	1.50	10	15	16	31
1.55	2.00	11	16	16	32
2.05	2.50	15	16	18	34
2.55	3.00	16	18	24	42

SPT 6

Fecha: 03 de Diciembre de 2014
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.3	1.3	Arena fina, limosa, de color gris claro, humedad natural baja y compacidad densa; se observan raíces finas
2	1.3 - 1.9	0.6	Arena media, de color gris claro, con humedad natural baja y compacidad densa.
3	1.9 - 3.1	1.2	Limo arenoso, de color gris oscuro, con humedad natural media y compacidad media. Según USCS este suelo clasifica como ML.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.40	-	-	-	-
0.40	0.85	10	16	19	35
1.15	1.60	11	10	16	26
1.90	2.35	13	14	13	27
2.65	3.10	6	5	5	10

SPT 7

Fecha: 02 de Mayo de 2016
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.7	0.7	Limo de baja plasticidad, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) que varía entre a 74% y 79%, de color café claro, humedad natural alta y consistencia media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
2	0.7 - 2.8	2.1	Arena gruesa, limosa, de color gris oscuro, se observa la presencia de gravas de tamaño máximo 1 pulgada; humedad natural media y compacidad media. Según USCS este suelo clasifica como SM.
3	2.8 - 10.0	7.2	Limo de baja plasticidad, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) que varía entre a 55% y 83%, de color café claro, humedad natural alta y consistencia media a dura. Según USCS, este suelo clasifica como ML.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.0	1.0	-	-	-	-
1.0	1.5	6	7	9	16
1.6	2.0	9	15	12	27
2.1	2.5	10	11	12	23
2.6	3.0	10	10	14	24
3.3	3.8	10	14	14	28
3.9	4.4	13	13	15	28
4.6	5.0	16	19	20	39
5.4	5.9	17	20	23	43
6.1	6.6	17	19	21	40
6.9	7.4	20	14	16	30
7.6	8.0	19	19	20	39
8.6	9.0	20	20	23	43

9.6	10.0	23	24	26	50
-----	------	----	----	----	----

SPT 8

Fecha: 12 de Mayo de 2017
Cota Nivel Freático: 5,90 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.00 - 1.50	1.50	Relleno artificial no controlado, conformado por arena pobremente graduada con limo, de grano grueso a medio fino; se observa la presencia de vidrios y nylon en forma abundante, densificación media. Según USCS, este material clasifica como SP-SM.
2	1.50 - 5.2	3.70	Arena limosa, de grano medio a fino, de color gris oscuro, con una humedad natural media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
3	5.20 - 6.3	1.10	Limo de baja plasticidad, de un color gris oscuro y consistencia muy blanda.
4	6.30 - 8.25	1.95	Arena pobremente graduada con limo, de grano grueso a medio fino, de color gris oscuro y compacidad densa. Según USCS, este material clasifica como SP-SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración Nº de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.85	-	-	-	-
0.85	1.30	7	8	7	15
1.50	1.95	6	9	8	17
2.40	2.85	7	5	5	10
3.40	3.85	1/45	-	-	1/45
4.10	4.55	1	1	2	3
5.20	5.65	17	16	21	37
6.20	6.65	19	28	30	58
7.20	7.65	18	25	40	65
7.80	8.25	15	32	36	68

SPT 9

Fecha: 12 de Julio de 2013
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Arena limosa, de color café claro, con humedad natural media y compacidad media; se observa mica en forma abundante. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
2	1.0 - 14.4	13.4	Arena limosa, de color café claro, con humedad natural baja y compacidad media, densa y muy densa; se observa mica en forma abundante. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
3	14.4	-	Roca meteorizada

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, Nº de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	6	8	9	17
1.90	2.35	8	10	11	21
2.80	3.25	5	7	10	17
3.70	4.15	7	8	10	18
4.60	5.05	6	7	10	17
5.50	5.95	7	9	9	18
6.40	6.85	7	11	12	23
7.20	7.65	9	11	16	27
8.10	8.55	10	14	19	33
9.00	9.45	9	15	24	39
9.90	10.35	11	21	30	51
10.80	11.25	12	26	37	63
11.70	12.15	14	27	43	70
12.60	13.05	18	28	51	79
13.05	14.40	-	-	-	-

SPT 10**Fecha:** 02 de Mayo de 2012**Cota Nivel Freático:** No se observa**Estratigrafía:**

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 a 2.4	2.4	Limo de baja plasticidad, con un contenido de material fino (que pasa por el tamiz ASTM N° 200) igual a 78%, de grano fino, de color gris y café oscuro, humedad natural media y compacidad suelta. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
2	2.4 a 11.9	9.5	Estratificaciones de limo de baja plasticidad y de arena limosa, de color café claro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, estos suelos clasifican como ML y SM.
3	11.9 a 12.2	0.9	Manto rocoso de alta resistencia mecánica.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración Nº de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.0	0.9	-	-	-	-
0.9	1.4	5	4	5	9
1.4	1.9	5	6	8	14
2.0	2.5	6	7	7	14
2.6	3.0	7	8	8	16
3.1	3.5	8	10	10	20
3.6	4.0	9	9	12	21
4.2	4.7	8	8	9	17
4.8	5.3	10	9	11	20
5.7	6.2	9	10	12	22
6.8	7.3	10	13	12	25
7.6	8.1	11	11	15	26
8.4	8.9	10	14	14	28
9.2	9.7	13	20	21	41

10.0	10.5	14	19	29	48
10.9	11.4	15	21	23	44
11.7	12.2	12	26	28	54

SPT 11

Fecha: 23 de Julio de 2013
Cota Nivel Freático: 2.2 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.5	1.5	Arena limosa, de color café claro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
2	1.5 - 2.7	1.2	Limo de baja plasticidad, de color gris oscuro, humedad natural alta y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	2.7 - 10.9	8.2	Limo de baja plasticidad, de color gris oscuro, humedad natural alta y compacidad suelta. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
4	10.9 - 12.1	1.2	Arena limosa, de color gris oscuro, humedad natural alta y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.45	5	7	7	14
0.60	1.05	9	10	11	21
1.25	1.70	9	15	15	30
1.95	2.40	7	9	9	18
2.70	3.15	2	4	2	6
3.55	4.00	2	1	2	3
4.30	4.75	2	2	2	4
5.00	5.45	4	3	5	8
5.80	6.25	3	4	4	8
6.60	7.05	4	4	4	8
7.40	7.85	4	5	4	9
8.20	8.65	6	6	6	12
9.00	9.45	7	7	8	15

9.80	10.25	11	9	9	18
10.45	10.90	9	10	11	21
11.20	11.65	8	8	14	22

TALCAHUANO

SPT 1

Fecha: 07 de Septiembre de 2012
Cota Nivel Freático: 2.9 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 – 0.3	0.3	Relleno artificial conformado por arena, trozos de ladrillo y escombros, bajo un mortero de 10 cm. de espesor, con humedad y densificación baja.
2	0.3 – 3.0	2.7	Limo arenoso de plasticidad baja, de color amarillo, humedad natural media y alta y compacidad suelta. Se observan lentes de carbón vegetal. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	3.0 – 7.0	4.0	Arena fina, con limo y limosa, de color gris claro, humedad natural alta y compacidad media, densa y muy densa. Según USCS, este suelo clasifica como SP-SM y SM.
4	7.0 – 10.0	3.0	Roca arenisca de color gris, humedad natural alta y compacidad muy densa (material cementado).

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.40	0.85	2	3	2	5
1.00	1.45	2	2	3	5
1.50	1.95	5	3	4	7
2.30	2.75	3	4	3	7
3.00	3.45	5	7	9	16
3.70	4.15	2	5	10	15
4.50	4.95	18	20	23	43
5.30	5.75	21	23	24	45
6.10	6.55	20	21	28	49

7.00	7.45	24	35	39	74
7.90	8.35	28	40	46	86
8.70	8.85	77/15	-	-	R

SPT 2

Fecha: 30 de Noviembre de 2015
Cota Nivel Freático: 0.85 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.9	0.9	Capa de estabilizado con arena con limo de grano fino.
2	0.9 - 3.1	2.2	Arena, de grano medio, humedad natural alta y compacidad media densa. Según USCS este suelo clasifica como SP-SM y SM.
3	3.1 - 5.3	2.2	Estratificaciones de limo de baja plasticidad de consistencia media y arena con limo, de grano fino de compacidad suelta; humedad natural alta. Según USCS estos suelos clasifican como ML y SP-SM.
4	5.3 - 20.0	14.7	Arena, de grano medio, de color gris, humedad natural alta y compacidad muy densa. Según USCS este suelo clasifica como SP.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes		
Desde	Hasta	N1	N2	N3
0.00	0.85	-	-	-
0.85	1.30	9	18	21
1.40	1.85	15	18	29
1.95	2.40	16	21	29
2.55	3.00	3	3	2
3.10	3.55	3	7	3
4.05	4.50	4	3	3
4.80	5.25	3	3	5
5.70	6.15	16	16	21
6.45	6.90	26	30	47
7.55	8.00	20	26	30

8.50	8.95	23	21	37
9.30	9.75	18	20	24
10.10	10.55	18	23	25
11.00	11.45	21	21	23

SPT 3

Fecha: 11 de Febrero de 2014
Cota Nivel Freático: 2.2 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno artificial, conformado por arena, gravas y raíces finas.
2	1.0 - 2.8	1.8	Limo con arena de baja plasticidad, de color café claro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	2.8 - 3.5	1.7	Arena fina, limosa, de color café claro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
4	3.5 - 4.2	0.7	Limo arenoso de baja plasticidad, de color gris, humedad natural alta y compacidad muy densa (material cementado). Según USCS, este suelo clasifica como ML.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración Nº de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	6	7	6	13
2.00	2.45	6	10	13	23
3.00	3.45	12	13	19	32
4.00	4.15	52	R	R	R

SPT 4

Fecha: 29 de Febrero de 2015
Cota Nivel Freático: 1.45 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.5	0.5	Arena fina, de color café oscuro, humedad natural alta y compacidad suelta; se observa la presencia de raíces finas. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
2	0.5 - 0.9	0.4	Arena media, con limo, de color café oscuro, humedad natural alta y compacidad suelta. Según USCS, este suelo clasifica como SP-SM.
3	0.9 - 4.2	3.3	Arena media, limosa, de color café oscuro, humedad natural alta y compacidad densa. Según USCS, este suelo clasifica como SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.45	-	-	-	-
0.45	0.90	3	4	5	9
1.30	1.75	17	17	15	32
2.15	2.60	9	14	16	30
2.95	3.40	15	17	15	32
3.70	4.15	14	18	19	37

SAN PEDRO DE LA PAZ**SPT 1**

Fecha: 21 de Marzo de 2017
Cota Nivel Freático: 1.5 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.00 - 0.30	0.30	Capa vegetal.
2	0.30 - 2.2	1.9	Limo de baja plasticidad, de color café claro, con granos de cuarzo y raíces finas en forma aislada; consistencia dura. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	2.2 - 3.00	0.8	Arena limosa de plasticidad media, con gravas y lentes de arcilla de ½ cm. Según USCS, este suelo clasifica como SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.30	-	-	-	-
0.30	0.75	10	7	7	14
0.90	1.35	11	10	9	19
1.35	1.80	5	6	9	15
2.10	2.55	8	7	6	13
2.55	3.00	18	24	42	66

SPT 2

Fecha: 25 de Abril de 2012
Cota Nivel Freático: 9.1 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.3	0.3	Capa vegetal
2	0.3 - 3.6	3.3	Arena media, de color gris oscuro, humedad natural baja y media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SP.
3	3.6 - 10.2	6.6	Arena media, de color gris oscuro, humedad natural media y alta (saturada bajo el nivel freático) y compacidad densa y muy densa; se observan, en forma dispersa, gravillas de tamaño máximo 3/8 pulgadas. Según USCS, este suelo clasifica como SP.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.30	-	-	-	-
0.30	0.75	6	6	12	18
1.20	1.65	9	10	15	25
1.95	2.40	10	14	13	27
2.70	3.15	11	12	18	30
3.40	3.85	8	9	10	19
4.10	4.55	7	8	10	18
4.80	5.25	6	9	11	20
5.40	5.85	10	13	13	26
6.05	6.50	17	22	26	48
6.80	7.25	12	25	22	47
7.60	8.05	20	22	21	43
8.30	8.75	16	21	28	49
9.05	9.50	15	19	24	43

9.70	10.15	18	24	32	56
------	-------	----	----	----	-----------

SPT 3

Fecha: 28 de Diciembre de 2012
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 a 2.0	2.0	Limo de plasticidad alta, de color café oscuro, humedad natural media y consistencia muy dura. Según USCS, este suelo clasifica como MH.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.45	5	5	9	14
0.60	1.05	14	15	15	30
1.20	1.65	8	14	20	34
1.80	2.25	12	14	14	28

SPT 4

Fecha: 27 de Enero de 2016
Cota Nivel Freático: 2.95 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.6	1.6	Arena limosa, de grano fino, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
2	1.6 - 30.0	28.4	Arena media, limosa, de color gris oscuro, humedad natural alta y compacidad media a densa en profundidad. Según USCS, este suelo clasifica como SM y SP-SM..

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.70	-	-	-	-
0.70	1.15	5	5	7	12
1.40	1.85	6	6	5	11
2.00	2.45	5	6	7	13
2.60	3.05	6	6	6	12
3.30	3.75	3	5	7	12
4.10	4.55	11	12	14	26
4.80	5.25	13	13	14	27
5.70	6.15	14	15	14	29
6.40	6.85	20	23	23	46
7.10	7.55	27	37	43	80
7.90	8.35	21	29	36	65
8.55	9.00	26	27	32	59
9.20	9.65	29	33	39	72
10.00	10.45	32	37	37	74
10.90	11.35	21	29	39	64
11.80	12.85	25	35	45	80
13.20	13.55	R	R	R	R
14.55	15.00	R	R	R	R
15.00	16.00	R	R	R	R
16.00	17.00	R	R	R	R

17.00	18.00	R	R	R	R
18.00	19.00	R	R	R	R
19.00	20.00	R	R	R	R
20.00	21.00	R	R	R	R

CHIGUAYANTE

SPT 1

Fecha: 15 de Mayo de 2014
Cota Nivel Freático: 4.7 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno artificial conformado por ladrillos y gravas de forma aislada, humedad natural baja y densificación alta
2	1.0 - 3.0	2.0	Relleno artificial conformado por arena fina, limosa, ladrillo y trozos de hormigón, humedad natural media y densificación alta. Según USCS este suelo clasifica como SM.
3	3.0 - 4.0	4.0	Relleno artificial conformado por arena limosa, suelo vegetal y trozos de ladrillos, humedad natural media y densificación baja. Según USCS este suelo clasifica como SM.
4	4.0 - 6.0	2.0	Limo de plasticidad baja, de color gris claro, humedad natural alta y consistencia media. Según USCS este suelo clasifica como ML.
5	6.0 - 30.0	24.0	Arena media, con limo y limosa, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad densa. Según USCS este suelo clasifica como SP-SM y SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, Nº de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	14	14	21	35
2.00	2.45	15	13	12	25
3.00	3.45	4	5	6	11
4.00	4.45	4	6	6	12
5.00	5.05	5	7	8	15

6.00	6.45	17	31	35	66
7.00	7.45	28	37	38	75
8.00	8.45	32	40	41	81
9.00	9.45	35	43	40	83

CORONEL

SPT 1

Fecha: 25 de Octubre de 2013
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.3	0.3	Relleno artificial no controlado, conformado por arena, arcilla y capa vegetal con prado y raíces finas; con humedad natural media y densificación baja.
2	0.3 - 5.0	4.7	Estratificaciones de arenas de grano medio, de color gris oscuro y algunas partículas rojas, humedad natural baja, media y alta y de compacidad baja (suelta) y media, con valores de índice de penetración estándar comprendidos entre 6 y 24 golpes/pie. Según USCS, estos suelos clasifican como SP.

Índice de penetración normal:

Profundidad (m)		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.55	1.00	3	3	3	6
1.67	2.12	2	4	6	10
2.62	3.07	11	7	9	16
3.57	4.02	9	11	13	24
4.58	5.03	9	10	14	24

TOMÉ

SPT 1

Fecha: 27 de Enero de 2014

Cota Nivel Freático: 2.5 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 3.0	3.0	Rellenos artificiales no controlados, conformados por arenas de grano fino limosas y arcillosas, trozos de carbón, restos de ladrillos, etc., con una humedad medio y alto y un nivel de densificación bajo y medio.
2	3.0 - 7.0	4.0	Estratificaciones de arenas de grano medio, limosas, de color café amarillento, humedad natural alta (saturada bajo el nivel freático) y compacidad media y alta (densa), siendo relativamente creciente con la profundidad. Presenta fragmentos de roca filita en forma abundante. Según USCS, estos suelos clasifican como SM .

Índice de penetración normal:

Profundidad (m)		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.37	0.82	3	2	3	5
0.83	1.28	4	3	4	7
1.30	1.75	2	5	3	8
1.76	2.21	3	1	7	8
2.25	2.70	8	12	12	24
2.74	3.19	6	10	26	36
3.50	3.95	12	15	18	33
4.38	4.83	16	19	20	39
5.50	5.85	21	22	22	44
5.91	6.01	100/10	-	-	R

SPT 2

Fecha: 31 de Marzo de 2015
Cota Nivel Freático: 2.7 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno artificial, conformado por arena y restos de madera en descomposición. Densificación baja.
2	1.0 - 2.0	1.0	Arena media, limosa, con algo de limo, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad suelta; se observa la presencia de gravas. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
3	2.0 - 2.9	0.9	Arena fina, limosa, de color café oscuro, humedad natural alta y compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
4	2.9 - 3.0	0.1	Arena media, limosa, de color verde, humedad natural alta y compacidad muy densa. Según USCS, este suelo clasifica como SM.
5	3.0 - 10.0	7.0	Roca filita, de color verdosa.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	2	2	3	5
2.30	2.85	1	3	12	15
2.85	3.00	50	-	-	-
3.00	10.00	-	-	-	-

HUALPÉN**SPT 1**

Fecha: 10 de Abril de 2014
Cota Nivel Freático: 6.7 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno artificial no controlado, conformado por arena, escombros y trozos de ladrillos.
2	1.0 - 5.3	4.3	Limo arenoso de baja plasticidad, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad suelta. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	5.3 - 10.0	4.7	Limo de baja plasticidad, de color café oscuro, humedad natural alta y consistencia media. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
4	10.0 - 30.0	20.0	Arena fina, limosa, de color café claro, humedad natural alta y compacidad densa. Según USCS, este suelo clasifica como SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	1.00	-	-	-	-
1.00	1.45	5	4	3	7
2.00	2.45	6	5	5	10
3.00	3.45	5	2	3	5
4.00	4.45	1	2	3	5
5.00	5.45	2	2	2	4
6.00	6.45	5	7	10	17
7.00	7.45	4	6	9	15
8.00	8.60	-	-	-	-
9.00	9.45	5	5	8	13

10.00	10.45	9	15	25	40
11.00	11.30	35	52	-	52
12.00	12.15	54	-	-	54
12.15	14.15	-	-	-	-
14.15	16.15	-	-	-	-

LOTA

SPT 1

Fecha: 17 de Junio de 2015
Cota Nivel Freático: 2.0 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 – 0.95	0.95	Arena arcillosa, color negro, bajo 19 mm, en estado saturado, plasticidad baja, olor ninguno, estructura homogénea, origen artificial, sin indicios de materia orgánica.
2	0.95 – 4.15	3.2	Limo inorgánico de baja compresibilidad, color café, bajo 25 mm, en estado saturado, plasticidad baja, consistencia baja, olor ninguno, estructura homogénea, origen natural, sin indicios de materia orgánica.
3	4.15 – 20.00	15.85	Mezcla limos inorgánicos de alta y baja compresibilidad color café, bajo 25 mm, en estado saturado, plasticidad media, consistencia alta, olor ninguno, estructura homogénea, origen natural, sin indicios de materia orgánica.

Índice de penetración normal:

Profundidad m		Penetración N° de golpes			
0.50	0.95	15	9	8	17
1.80	2.25	7	5	4	9
2.70	3.15	3	6	6	12
4.15	4.55	6	8	11	19
5.50	5.95	13	15	17	32
6.90	7.35	12	14	16	30
8.30	8.75	19	21	23	44
9.20	9.65	20	24	26	50
10.60	11.05	28	31	32	63
12.00	12.45	30	34	35	69

13.30	13.75	33	36	38	74
14.70	15.15	40	44	46	90
16.10	16.55	43	47	R	R
17.50	18.40	R			R
18.40	20.00	R			R

PENCO

SPT 1

Fecha: 21 de Julio de 2015
Cota Nivel Freático: No se observa

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 4.7	4.7	Arcilla limosa, de plasticidad alta, color gris anaranjado, humedad natural alta y consistencia media a dura. Según USCS, estos suelos clasifican como CH y CL.
2	4.7 - 8.1	3.4	Limo arcilloso, de plasticidad baja, color anaranjado, humedad natural media y consistencia dura; se observa presencia de gravas. Según USCS, este suelo clasifica como ML.
3	8.1 - 30.0	21.9	Presencia de arenisca y limo cementado.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.55	1.00	5	5	5	10
1.55	2.00	4	5	4	9
2.55	3.00	3	5	10	15
3.55	4.55	5	5	4	9
4.55	5.00	5	6	5	11
5.55	6.00	6	5	5	10
6.55	7.00	6	6	7	13
7.55	8.00	9	10	10	20
8.55	8.55	Sin Penetración			

9.55	1.00	Avance con Barril HQ3
10.00	11.50	Avance con Barril HQ3
11.50	13.00	Avance con Barril HQ3
13.00	14.50	Avance con Barril HQ3
14.50	16.00	Avance con Barril HQ3
16.00	17.50	Avance con Barril HQ3

SPT 2

Fecha: 06 de Octubre de 2016
Cota Nivel Freático: 0.0 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 0.7	0.7	Arena fina a media, limosa, de color gris verdoso, humedad natural alta y compactidad suelta y media. Se observan trozos de conchuelas en forma intercalada. Según USCS, el suelo clasifica como SM.
2	0.7 - 2.1	1.4	Limo de plasticidad baja, de color gris verdoso, humedad natural alta y consistencia blanda y media. Según USCS, el suelo clasifica como ML.
3	2.1- 8.8	6.7	Arcilla arenosa de plasticidad baja, de color café amarillento, humedad natural alta y consistencia blanda a media. Según USCS, el suelo clasifica como CL.
4	8.8 - 10.1	1.3	Limo de plasticidad baja, de color gris verdoso, humedad natural alta y consistencia muy blanda. Según USCS, el suelo clasifica como ML.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.30	0.75	3	3	2	5
1.00	1.45	2	2	2	4
1.60	2.05	3	4	2	6
2.20	2.65	4	4	1	5
2.90	3.35	5	5	5	10
3.35	3.60	-	-	-	-
3.60	4.05	3	2	4	6
4.10	4.55	4	5	5	10
4.90	5.35	5	4	3	7

5.60	6.05	4	6	6	12
6.40	6.85	5	3	4	7
7.20	7.65	7	6	5	11
7.90	8.35	6	6	6	12
8.50	8.95	22	8	8	16
9.20	10.05	-	-	-	-

SPT 3

Fecha: 01 de Septiembre de 2014
Cota Nivel Freático: 2.3 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0- 1.6	1.6	Relleno artificial no controlado, conformado por limo de color café anaranjado y lentes grises, escombros y basura; con humedad baja y alta y densificación baja.
2	1.6 - 2.2	1.7	Limo de plasticidad alta, de color café y lentes grises y blancos, humedad natural media y consistencia dura. Según USCS, el suelo clasifica como MH.
3	2.2- 6.7	4.5	Arcilla de plasticidad baja, de color negro, humedad natural alta y consistencia blanda. Se observan, en forma dispersa, trozos pequeños de carbón vegetal. Según USCS, el suelo clasifica como CL.
4	6.7 - 12.0	5.3	Arcilla con arena de plasticidad alta, de color café y lentes blancos, humedad natural alta y consistencia dura. Se observa, en forma dispersa, trozos pequeños de carbón vegetal. Según USCS, el suelo clasifica como CH.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.38	0.83	4	4	3	7
1.46	1.91	3	5	5	10
2.52	2.97	1	2	2	4
3.50	3.95	2	2	2	4
4.25	5.05	Shelby			
5.05	5.50	1	1	1	2
5.59	6.04	1	2	4	6
6.80	7.25	3	5	6	11

7.72	8.17	3	4	8	12
8.55	9.00	2	3	6	9
9.53	9.98	3	4	7	11
10.53	10.98	4	5	5	10
11.58	12.03	5	6	8	14

ARAUCO

SPT 1

Fecha: 03 de Enero de 2013
Cota Nivel Freático: 3.0 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 -0.8	0.8	Relleno artificial conformado por material estabilizado y escombros; con humedad y densificación baja
2	0.8 - 2.9	2.1	Arena fina, limosa, de color gris oscuro, humedad natural media y compacidad suelta; se observan trozos de madera en proceso de descomposición. Según USCS, el suelo clasifica como SM.
3	2.9 - 4.9	2.0	Arena fina, limosa, de color gris claro, humedad natural alta y compacidad media a suelta. Según USCS, el suelo clasifica como SM.
4	4.9 - 10.0	5.1	Arena media, limosa, de color gris claro, humedad natural alta y compacidad densa y muy densa. Según USCS, el suelo clasifica como SM.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.80	1.25	2	3	3	6
1.60	2.05	3	3	2	5
2.45	2.90	6	5	4	9
3.25	3.70	5	7	8	15
4.05	4.50	6	7	7	14
4.85	5.30	15	17	17	34
5.70	6.15	13	16	15	31

6.45	6.90	12	15	13	28
7.35	7.80	28	33	35	68
8.30	8.75	39	40	40	80
9.20	9.65	42	44	45	89
9.85	10.00	59	/	/	59

SPT 2

Fecha: 01 de Septiembre de 2014
Cota Nivel Freático: 2.3 metros

Estratigrafía:

Estrato	Cotas límites (m)	Espesor (m)	Descripción del Material
1	0.0 - 1.0	1.0	Relleno no controlado conformado por arena con limo de grano fino, con madera y escombros. Según USCS, este suelo clasifica como SP-SM.
2	1.0- 2.4	1.4	Arena de grano medio, de color café oscuro, humedad natural media a alta y de compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SP.
3	2.4 - 3.0	0.6	Arena de grano medio, de color gris oscuro, humedad natural alta y de compacidad media. Según USCS, este suelo clasifica como SP.

Índice de penetración normal:

Profundidad, m		Penetración, N° de golpes			
Desde	Hasta	N1	N2	N3	N
0.00	0.40	-	-	-	-
0.40	0.85	1	1	4	5
1.00	1.45	5	8	9	17
1.55	2.00	5	8	13	21
2.05	2.50	11	14	14	28
2.55	3.00	8	8	13	21

