



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

División de Ciencias de la Tierra

Departamento de Geofísica

Reporte de Práctica Profesional

Prospección Eléctrica

Semestre

2023-1

Integrantes

Díaz Escamilla Marco Antonio 308078505 marcoad160@gmail.com

González Peña Abraham 311064328 abrahamgonzp1@gmail.com

Sibaja Ibarra Gamaliel 31205914 gamsibaja@gmail.com

Rodríguez Hernández Rodrigo 311080883 somniator2308@gmail.com



07 y 08 de Septiembre 2022

Índice

| | |
|--|-----------|
| Objetivo - - - - - | 2 |
| Introducción - - - - - | 2 |
| Ubicación - - - - - | 3 |
| Geología de la zona de estudio - - - - - | 4 |
| Fundamentos Físico – Matemáticos - - - - - | 7 |
| Técnicas Geofísicas empleadas - - - - - | 11 |
| Instrumentación - - - - - | 24 |
| Logística - - - - - | 27 |
| Procesamiento de datos - - - - - | 29, 41,43 |
| Polarización inducida - - - - - | 38 |
| Interpretación de resultados - - - - - | 38 |
| Conclusiones - - - - - | 46 |
| Referencias - - - - - | 47 |
| Anexos - - - - - | 49 |
| Índice de figuras - - - - - | 52 |

Objetivo

Realiza un estudio con apoyo de prospección eléctrica del subsuelo de la zona del ex cele y el deportivo “Harp Helu” ambos en ciudad universitaria. Utilizando la técnica geofísica de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) a lo largo de un perfil. El cual se trata de obtener una sección de resistividades del subsuelo, con este modelo se puede determinar los materiales que se encuentran en él, al igual que hacer la estimación de las capas que lo componen y el espesor de estas. Con los conocimientos que adquirimos a lo largo de la carrera y con los ánimos de intentar mejorar nuestras capacidades al aplicar este método de una forma eficiente, con el tendido realizado así como al trabajar con el software con el cual podremos realizar las resistividades aparentes obtenidas en la práctica a los valores de resistividad real.

Introducción

Los métodos geofísicos son una herramienta de apoyo utilizada para definir las propiedades y condiciones del subsuelo, ya que a través de estos métodos se identifican estructuras de interés.

La prospección eléctrica estudia por medio de mediciones efectuadas en la superficie la distribución de la resistividad en el subsuelo. Está relacionada directamente con la composición mineralógica de la roca, el contenido de fluidos, la porosidad y el grado de saturación de la misma. La técnica de prospección eléctrica ha proporcionado información de gran utilidad durante muchos años para diversas áreas de investigación, como son la hidrogeología, minería, geotecnia y estudios ambientales (Loke, 2004).

En el siguiente trabajo se hablará de un método llamado Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) que se utiliza como un levantamiento geofísico en el

que se miden las resistividades de los materiales que constituyen la Torre de Ingeniería y el proyecto que se realizó llamado REPSA

Ubicación

Ambos proyectos fueron realizados en las inmediaciones de Ciudad Universitaria la cual está ubicada en la alcaldía de Coyoacán al sur de la ciudad de México en las cercanías del Pedregal San Ángel.

Las principales rutas de acceso son la avenida de los Insurgentes Sur, avenida del Imán, avenida Delfín Madrigal. Mientras que las estaciones de transporte público más cercanas son Metrobús Doctor Gálvez, metro Universidad y metro Copilco.

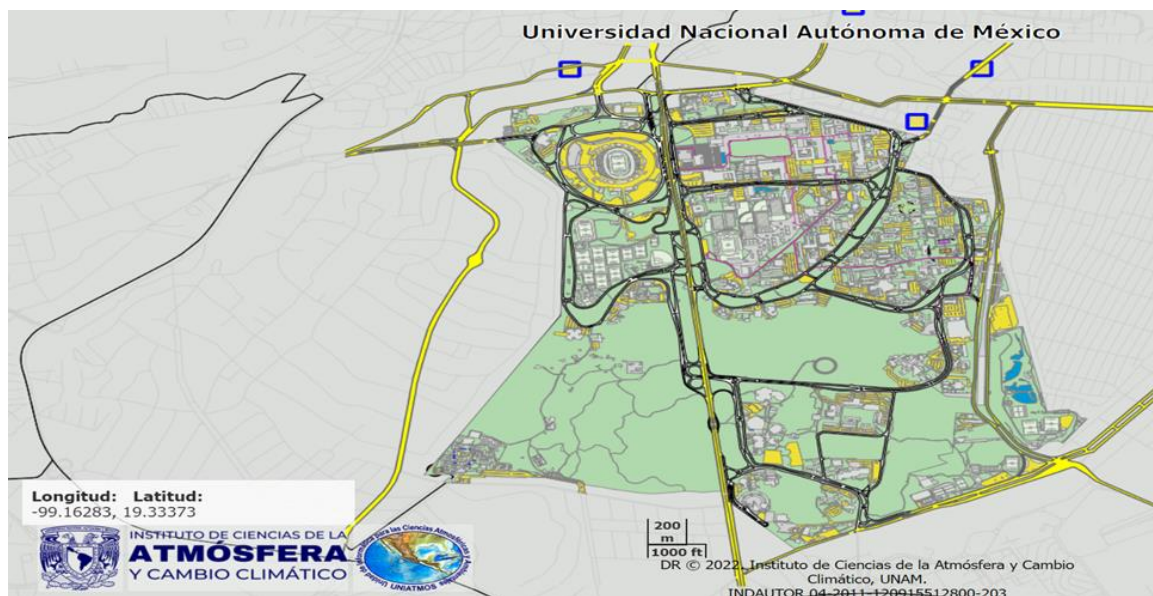


Figura 1 Mapa Ciudad Universitaria



Figura 2. Zona de trabajo primer día.

Geología de la Zona de Estudio

El desarrollo de la práctica se realizó en el área deportiva “Harp Helú”, Ciudad de México, a una altitud aproximada de 2275 msnm. En esta región de la ciudad, encontramos lavas basálticas, las cuales en ciertas secciones del área de estudio afloran y se observan muestras de metamorfismo de contacto. Estas capas de basalto tienen un espesor de entre 50 cm y 10 m.

De acuerdo con De la Vega (1994), estas lavas en ocasiones sobreyacen los suelos de la región y tienen una dirección predominante N60E, la procedencia de las mismas se atribuye a una zona de fractura profunda paralela a la zona de conos volcánicos de Xitle-Cuatztontle-Oloica, los tipos de lava relacionados con este evento son pahoehoe y aa.

En cuanto a la geomorfología, la región pertenece a la zona basáltica llamada Pedregal de San Ángel, una región de aproximadamente 40 kilómetros cuadrados que se encuentra delimitada al sur por el cerro del Ajusco y al noroeste por los alrededores de Huipulco.

La zona del Harp Helú en Ciudad Universitaria cuenta con una superficie relativamente regular respecto al resto del pedregal de San Ángel por cuestiones de intervención humana, se encuentran fracturas de origen compresional y apertura de hasta dos metros y de cuarenta metros de profundidad en otras regiones más próximas a la contemporánea Sala Nezahualcóyotl.

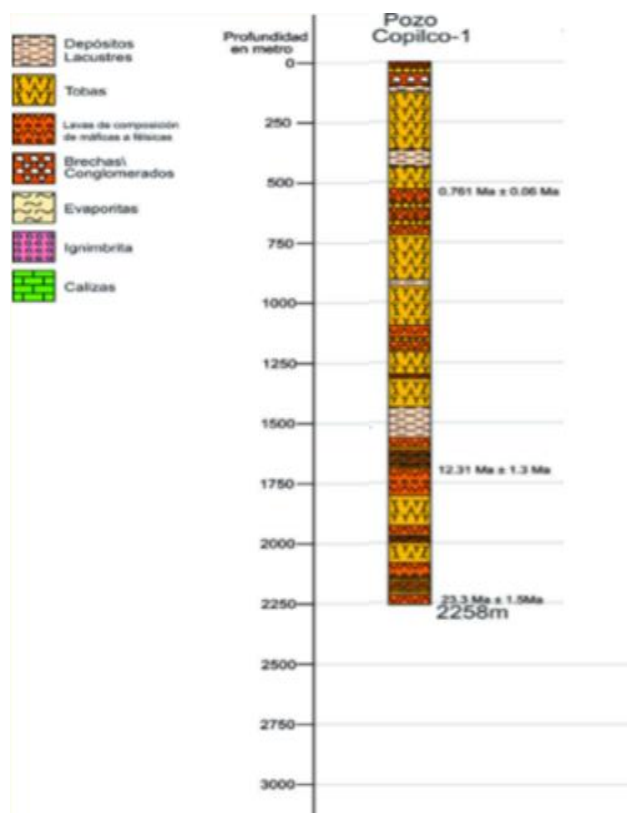


Figura 3. Columna estratigráfica de la zona de estudio.

imagen de la izquierda.

Las rocas tienen una edad; de acuerdo con Ferguson y Libby, que rondan los 1536 años con un error de más o menos 65 años, la cual es la estimación de la antigüedad de la explosión del volcán Xitle. Estos estudios fueron realizados con la técnica de radiocarbono en los alrededores de Cuicuilco. Se encontraron en esta misma zona rocas con edades de 2422 más menos 250 años y 1430 años. Estas rocas pertenecen al preclásico temprano y la fase conocida como Tlalpan, esto se muestra en la

Después de haber realizado análisis químicos, se determinó por Schmitter que las lavas del pedregal son basaltos de olivino con apatita y augita; además se reconocieron texturas porfídicas y pilotaxíticas.

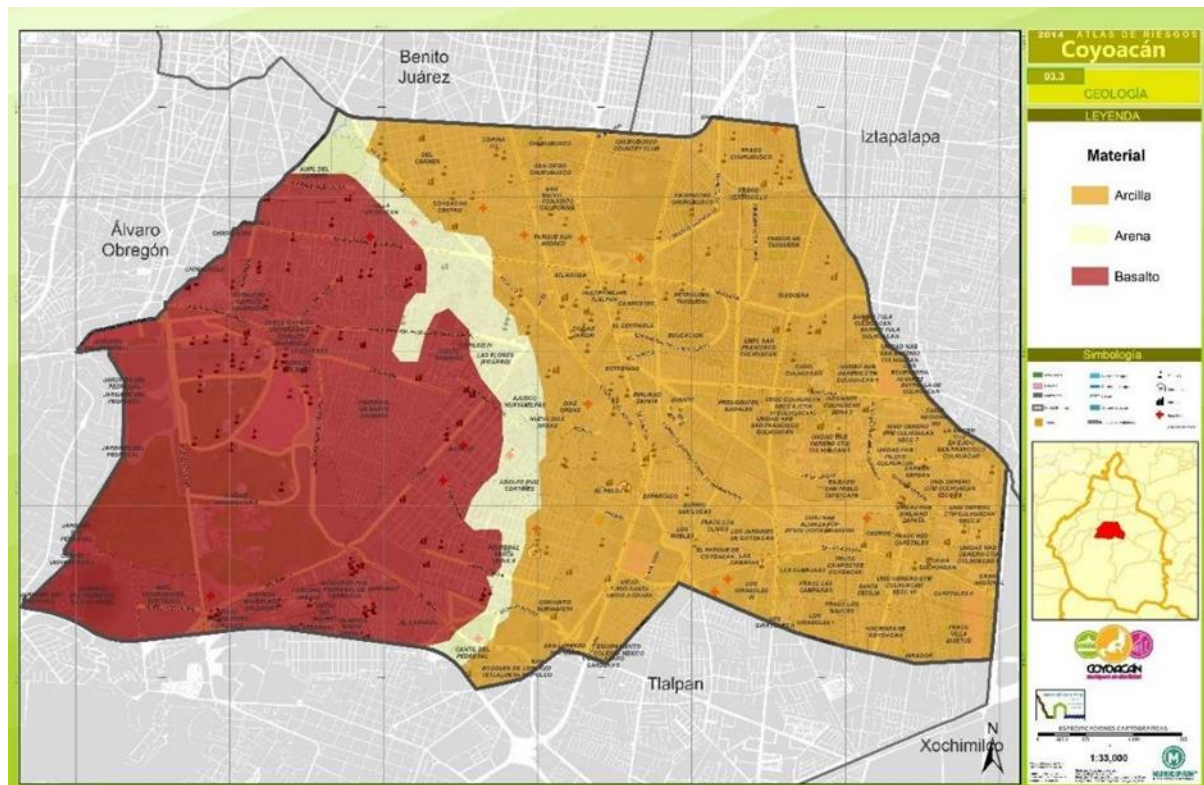


Figura 4. Mapa geológico, alcaldía Coyoacán.

| Rocas | Resistividad en Ohmios |
|---------|------------------------|
| Arcilla | 1-100 |
| Arenas | 200-3000 |
| Basalto | 10-1.3x10 ⁷ |

Tabla no. 1, de resistividad de las rocas en la alcaldía de Coyoacán.

Fundamento Físico-Matemáticos

Las ecuaciones matemáticas que explican el fenómeno físico, son las ecuaciones de Maxwell, que rigen el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos. Partiendo de la Ley de Faraday:

$$\nabla \times \underline{E} = -\frac{\partial \underline{B}}{\partial t}$$

Ecuación 1

Donde \underline{E} es la intensidad del campo eléctrico la inducción magnética, y considerando que el campo eléctrico en corriente continua es estacionario, entonces:

$$\nabla \times \underline{E} = 0$$

Ecuación 2

De las ecuaciones anteriores y de acuerdo con el teorema de Helmholtz el campo eléctrico está dado como el gradiente de un potencial escalar:

$$\underline{E} = -\nabla \phi$$

Ecuación 3

A su vez el campo debe satisfacer la ley de Ohm en su forma reducida para medios isótropos:

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

Ecuación 4

La ecuación anterior expresa que la densidad de corriente en un punto, tiene la misma dirección y sentido que el campo en ese punto y es proporcional al factor de σ (conductividad del medio). Sustituyendo la ecuación (3) en la ecuación (4) tenemos:

$$\underline{J} = -\sigma \nabla \varphi$$

Ecuación 5

Que nos dice que la densidad de corriente estará dada en función del potencial y de la conductividad del medio. Considerando que en todos los puntos del semiespacio homogéneo son excitados por el flujo de corriente se satisface la ecuación de continuidad. La ecuación de continuidad menciona que si la densidad de corriente entra en una superficie cerrada se tendrá como resultado una variación en la densidad de carga dentro de esa superficie:

$$\nabla \cdot \underline{J} = \frac{\delta q}{\delta t}$$

Ecuación 6

Si es estacionario, entonces la ecuación de continuidad quedará de la siguiente manera:

$$\nabla \cdot \underline{J} = 0$$

Ecuación 7

Combinando la ecuación (3), (4) y (5) y desarrollando la ecuación resultante usando propiedades vectoriales y dado que la conductividad es uniforme, resulta que el potencial φ cumple con la ecuación de Laplace:

$$\nabla^2 \varphi = 0$$

Ecuación 8

Que indica que en cada superficie equipotencial del medio encontraremos el mismo valor de densidad de corriente , dirigida radialmente respecto del centro de donde se está inyectando corriente, excepto en los electrodos y en una superficie de discontinuidad resistiva.

La solución de la ecuación (8) es del tipo $\varphi=c/r$, donde c es una constante y r es la distancia. Por lo que la ecuación 3, para la componente radial queda de la siguiente manera:

$$\underline{E} = -\frac{\partial \varphi}{\partial r}$$

Ecuación 9

Sustituyendo la solución de φ en la ecuación 9, se obtiene:

$$\underline{E} = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} \left(\frac{c}{r} \right) = \frac{c}{r^2}$$

Ecuación 10

Para conocer la densidad de corriente sobre la región, se realiza la integral de superficie de la ecuación 6, en el volumen de la fuente y aplicando el teorema de la divergencia de Gauss, resulta:

$$2\pi r^2 J = I$$

Ecuación 11

Sustituyendo $E=c/r^2$ en la ecuación (11) y despejando c queda:

$$c = \frac{I}{2\pi\sigma} = \frac{I\rho}{2\pi}$$

Ecuación 12

Sustituyendo (12) en la solución de la ec. de Laplace:

$$\varphi = \frac{I\rho}{2\pi r}$$

Ecuación 13

esto es sólo aplicable a un punto fuente y un punto receptor, con distancia r.

Para determinar la resistividad del medio, por tanto, es necesario conocer la distribución del potencial eléctrico y la corriente suministrada. Para suministrar corriente a través del espacio conductor comúnmente se usa un par de electrodos de corriente (A, B) y un par de electrodos de potencial (M, N) que determinan el potencial entre cada una de ellas y su sustracción define la diferencia de potencial.

Para un arreglo tetraelectródico la diferencia de potencial se define como:

$$\Delta\varphi = \frac{I\rho}{2\pi r} \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right] = \frac{I\rho}{K}$$

Ecuación 14

Donde r_n es la distancia entre los electrodos de corriente-potencial, K contiene las distancias entre los electrodos, llamado “factor geométrico” y depende de la distribución de los electrodos. Si despejamos ρ de la ecuación 14 finalmente obtenemos:

$$\rho = K \frac{\Delta\varphi}{I}$$

Ecuación 15

Hasta ahora se ha hablado de un medio homogéneo, pero en la naturaleza esta condición rara vez es encontrada, puesto que el subsuelo varía de resistividad en las tres dimensiones del espacio. Una primera aproximación es suponer que el medio sólo cambia de resistividad en dirección horizontal, por tanto, una medida tomada no representa la resistividad real y se le llama resistividad aparente (ρ_a):

$$\rho_a = K \frac{\Delta\varphi}{I}$$

Ecuación 16

dónde: K, es una constante que depende de la geometría del arreglo electródico; intensidad de corriente suministrada. Esta resistividad no debe considerarse como el promedio ni la media ponderada de las resistividades presentes ya que el valor obtenido no corresponde a la resistividad aparente. La resistividad aparente que se obtiene de un medio heterogéneo es llevada a un medio homogéneo, la cual es una variable que expresa los resultados de las mediciones y que se toma como base para la interpretación. El factor geométrico K representa el efecto de la distancia entre los electrodos, en el cual va a depender del arreglo utilizado, representado de la siguiente manera:

$$K = 2\pi / \left[\frac{1}{r_{AM}} - \frac{1}{r_{BM}} - \frac{1}{r_{AN}} + \frac{1}{r_{BN}} \right]$$

Ecuación 17

Técnicas Geofísicas Empleadas

Funcionamiento del método: Tipos de arreglos

Independientemente de que la tomografía eléctrica sea una técnica multielectródica, la base teórica de su funcionamiento es análoga al de los métodos de resistividad más comunes. Los métodos convencionales sólo precisan 4 electrodos y se basan en introducir en el terreno, un campo eléctrico de corriente continua mediante dos electrodos de corriente (A,B) conectados a un miliamperímetro, mientras que con

los otros dos electrodos (M,N) y que están conectados a un mili voltímetro, mediremos cual es la diferencia de potencial eléctrica ΔV entre esos dos puntos, parámetro a partir del cual podremos calcular el valor de la resistividad en el punto medio del dispositivo y a una profundidad determinada. Existen diferentes configuraciones a la hora de colocar los 4 electrodos, siendo las más utilizadas Wenner y Schlumberger. También tenemos la denominada configuración Wenner-Schlumberger (muy utilizada en tomografía eléctrica).

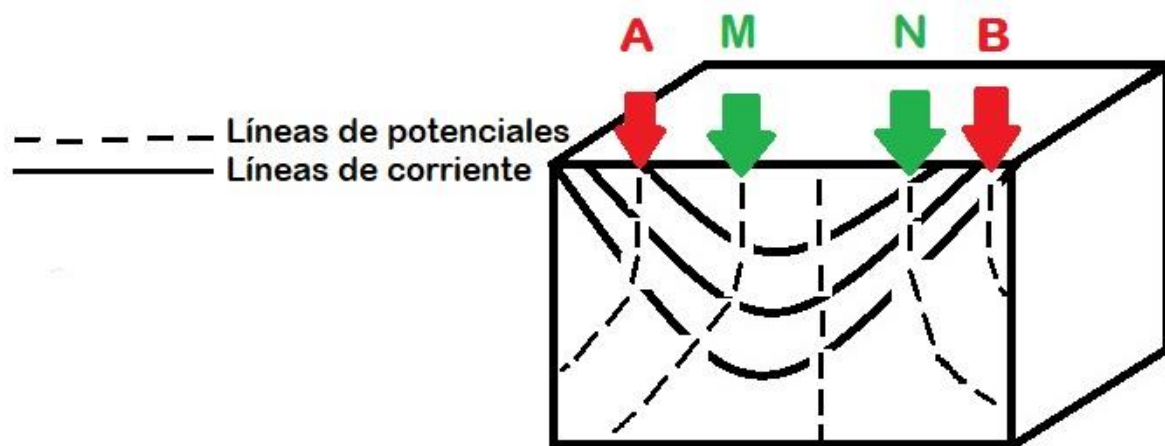
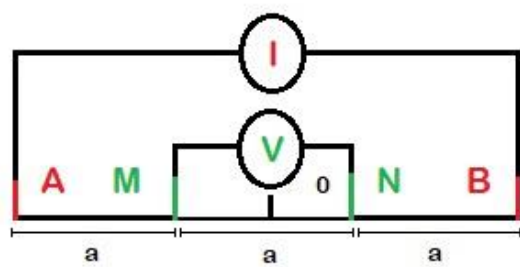
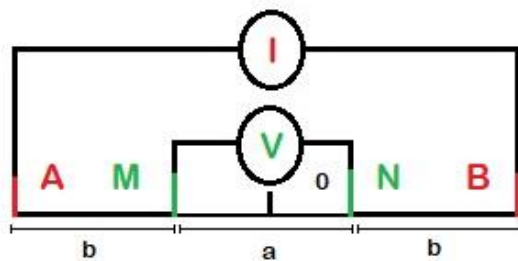


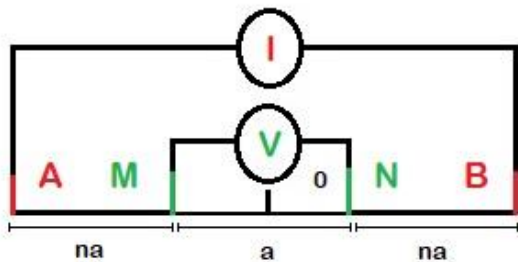
Figura 5. Esquema básico de los métodos de resistividad. Siendo M y N electrodos de potencial, A y B son electrodos de corriente.



A) Wenner



B) Schlumberger



C) Wenner - Schlumberger

$n=1 \Rightarrow$ Wenner
 $n \geq 2 \Rightarrow$ Schlumberger

Figura 6. Esquema de los dispositivos electródicos más habituales en los métodos de resistividad.

Escogido el dispositivo y realizada la primera medida, si lo que se persigue es medir cómo varía la resistividad del terreno sobre la vertical del punto medio “o”, iremos expandiendo los electrodos que en el caso de usar el dispositivo Wenner, deberán ser los 4 (para mantener la condición de $AM=MN=NB$), mientras que para Schlumberger (o Wenner-Schlumberger) solo expandimos los electrodos A y B. Este análisis de la variación vertical del valor de la resistividad es lo que se conoce con el nombre de sondeo eléctrico vertical (SEV).

En cambio, si lo que pretendemos es medir la variación lateral de la resistividad del terreno, bastará con mover los 4 electrodos (tanto para Wenner como Schlumberger) hacia uno u otro lado. Esto es lo que se conoce como calicata

eléctrica. Como se puede apreciar la obtención de las medidas en los métodos convencionales es un proceso significativamente lento y pesado.

Partiendo de estos conceptos básicos, la gran innovación del método de tomografía eléctrica con respecto a los métodos convencionales, reside en que ahora todas las medidas se realizarán de forma totalmente automatizada, es decir sin necesidad de mover manualmente ningún electrodo. Ello se debe a que por un lado trabajaremos con un gran número de electrodos en el terreno (dispuestos equiespaciadamente), y por otro lado a que nuestro dispositivo de medida de resistividades, se encargará de realizar automáticamente toda la secuencia de medidas preestablecidas, formando para ello y según las especificaciones predefinidas, todas las posibles combinaciones de 4 electrodos. De esta forma se irá obteniendo la variación de resistividad del subsuelo tanto en profundidad como lateralmente.

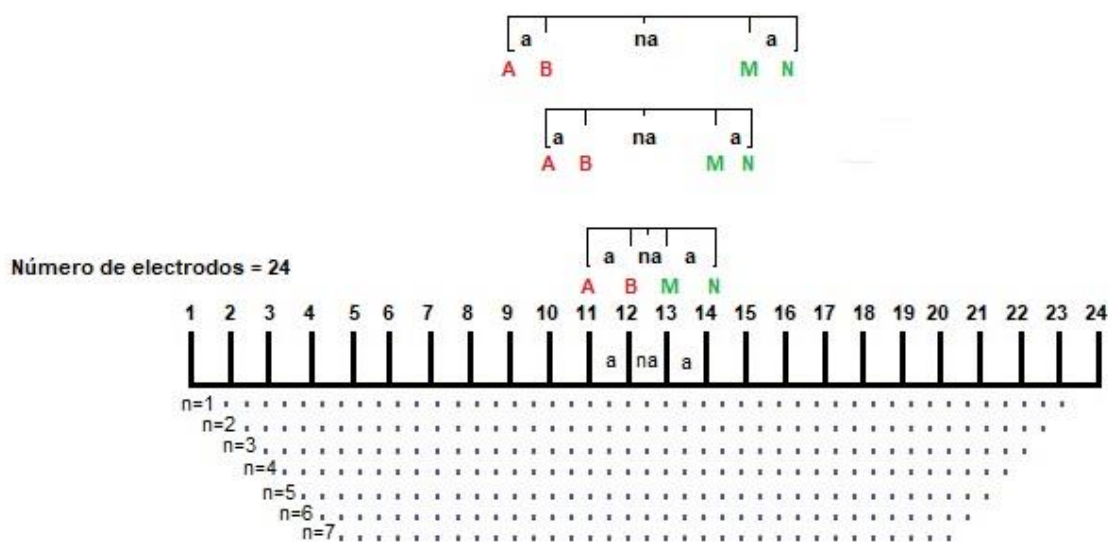


Figura 7 Esquema de secuencia para muestreo de tomografía de resistividad eléctrica. Se van distanciando los electrodos para obtener mayor profundidad.

Arreglo 1: Equatorial Wenner-Schlumberger

Este arreglo consiste en tener dos líneas paralelas de igual número de electrodos y

mismo espaciamiento entre éstos, se toman los electrodos de corriente siempre de una misma línea y para los de potencial se usan únicamente los de la otra línea.

Como el punto de atribución se coloca en el centro geométrico, se obtienen datos en un plano justo entre las dos líneas de tendido.

Cada dato medido se coloca geométricamente en el espacio, que puede visualizarse como un pequeño punto, el cual se conoce como “Punto de atribución”.

Éste se ubica en el centro geométrico del arreglo por lo que al final de la adquisición se tiene un área del subsuelo cubierto por muchos puntos de atribución. Según el arreglo que se utilice, cambia ligeramente la disposición de estos puntos, así como la profundidad de investigación; los detalles sobre este tema en particular se encuentran en el trabajo de Edwards (1977).

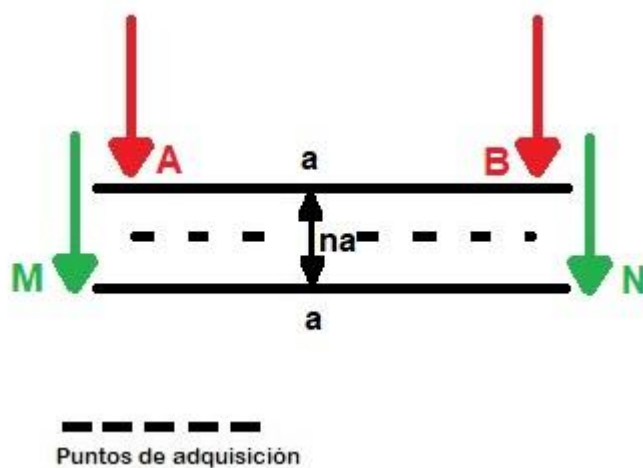


Figura 8. Arreglo ecuatorial Wenner-Schlumberger

Arreglo 2: Mínimo Acoplamiento

Este arreglo consiste en tener dos líneas paralelas con igual espaciamiento entre electrodos donde se inicia con A y B en cada extremo de los perfiles, mientras que M y N están sobre la línea de A y avanzarán una posición hasta terminar la línea.

Posteriormente se cambia el dipolo de potencial al perfil paralelo junto a B y se repite el recorrido. Al terminal ambos lados, los electrodos de corriente A y B avanzan una posición y se repite el proceso.

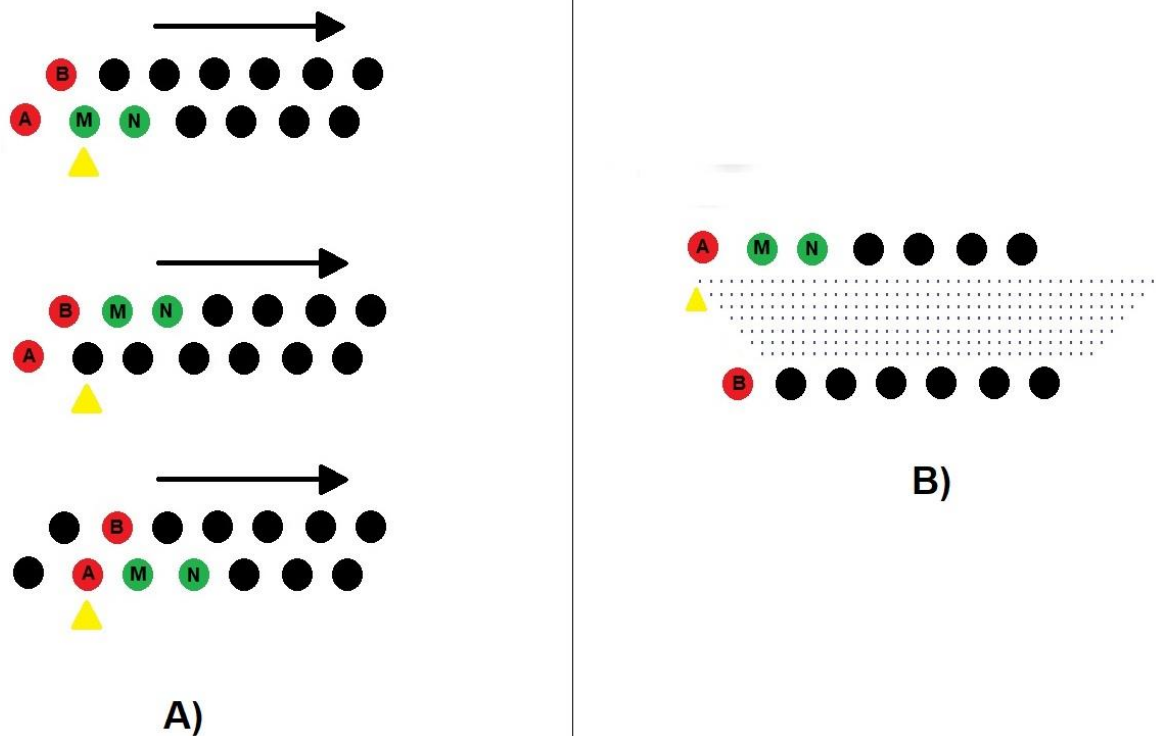


Figura 9. A) Puntos de atribución para mínimo acoplamiento y B) ejemplo sencillo de esquema en la configuración electródica.

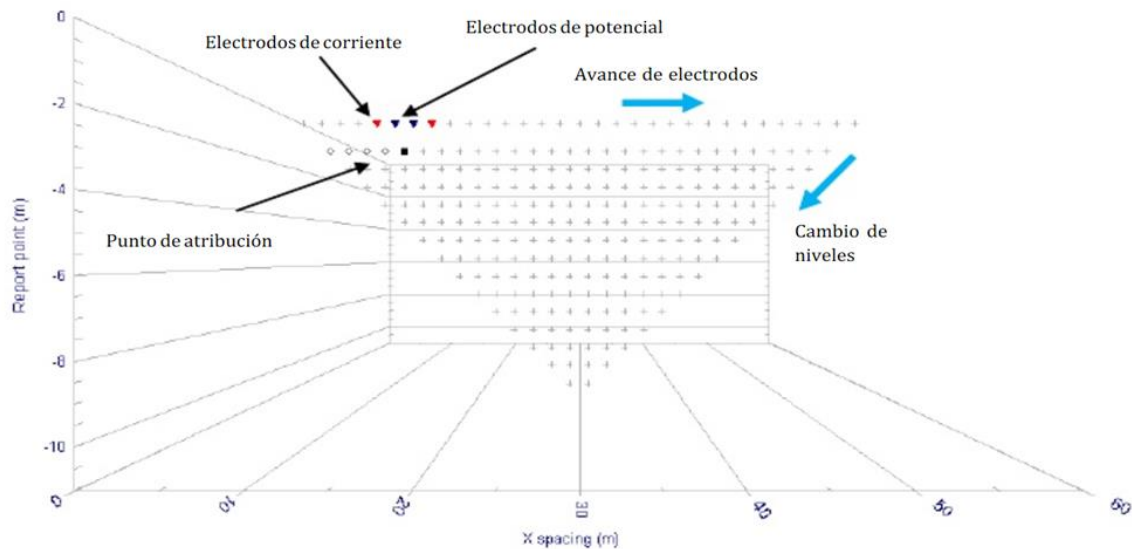


Figura 10. Ejemplo de una secuencia para tomografía.

Profundidad: Función de sensibilidad

La profundidad es otro aspecto importante a tomar en cuenta, ya que gran utilidad de las prospecciones geofísicas son el determinar una imagen del subsuelo ya sea a lo largo o a lo ancho del terreno en estudio, debemos de tener presentes ciertos factores tales como el espesor de las capas, la configuración geométrica del arreglo establecido para el estudio, la separación de los electrodos, la resistividad propia del terreno, así como la topografía, que se analizará más adelante; todos estos factores están altamente relacionados con la profundidad de investigación así como con la calidad de los resultados obtenidos.

La distancia entre los electrodos de corriente permitirá mayor penetración en el subsuelo, por lo tanto, mientras más profundidad queramos en nuestros resultados debemos de separar más los electrodos A y B. Se debe de tener presente que no

existe una ley como tal que explique la proporcionalidad entre la distancia de los electrodos. Otro aspecto a tener en cuenta es que existe cierto inconveniente al tratar de incrementar la profundidad tras la separación electródica, el efecto se puede ver reflejado en la resolución de los datos adquiridos; para descubrimiento de vestigios arqueológicos se sugiere no separar demasiado dichos dispositivos electródicos ya que se requiere mayor definición para determinar si existe rastro o no de algún tipo de edificación arqueológica.

Pueden existir diferentes variantes físicas y todas están estrechamente ligadas a la necesidad de relacionar mediciones hechas en superficie con profundidades en particular, teniendo esto en cuenta se pueden optimizar diferentes parámetros para una mejor identificación del objetivo (Barker, 1989). Hablando plenamente del tipo de arreglo elegido que es el Wenner-Schlumberger, se tiene un aumento del 10 a 15% para profundidad máxima comparado con el Wenner puro. Es por eso que elegí dicha configuración. Como podemos observar en los tipos de arreglos, siempre existe la simetría por lo tanto es más fiable a la hora de determinar estructuras horizontales que de resolver estructuras verticales.

Mientras la corriente está siendo inyectada en el subsuelo hay cambios de la resistividad debido a la litología o a cualquier otro factor geológico, esto se manifiesta como una variación en el potencial. A través de la función de sensibilidad o también conocida como derivadas de Frechet se puede evaluar qué zona tiene mayor aporte para la medición de la resistividad; está es la base general para los

procedimientos matemáticos requeridos para determinar con mayor precisión la profundidad.

Para ilustrar la función de sensibilidad, se considera la ecuación del potencial para un semiespacio homogéneo, de resistividad ρ , donde se inyecta una corriente a través de un electrodo puntual y se mide el potencial en otro electrodo ubicado a una distancia "a". En un medio semi-infinito, homogéneo y de resistividad constante ρ se tiene un pequeño volumen dV con una diferencia de resistividad $\partial\rho$ ubicado en una posición (X, Y, Z) . El electrodo de corriente P_1 está ubicado en el origen y el de potencial a una distancia horizontal a en P_2 . Loke y Barker en 1995 demostraron que si en un volumen dV localizado en (X, Y, Z) se modifica la resistividad en una pequeña cantidad $\partial\rho$ como podemos ver en la figura se puede calcular el cambio en el potencial.

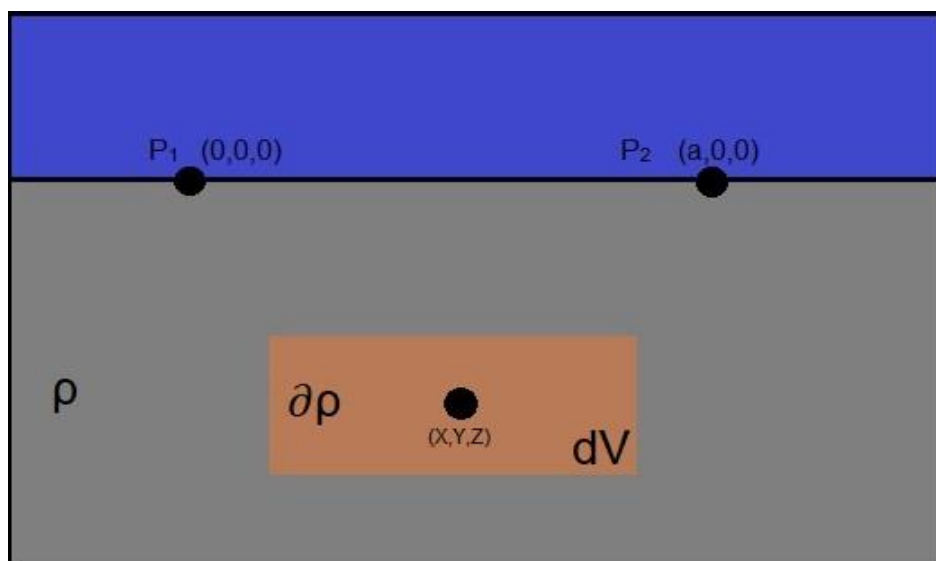


Figura 11. Medio semi-infinito, homogéneo y de resistividad ρ constante.

Por lo tanto, el cambio en el potencial será:

$$\partial U = \frac{\partial \rho}{\rho^2} \int_V \nabla U' \cdot \nabla U \, dV$$

Ecuación 18 El potencial U' se debe a un electrodo de corriente ubicado en el potencial U .

Resolviendo la integral se obtiene:

$$U = \frac{\rho}{(2\pi(X^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2})}$$

$$U' = \frac{\rho}{(2\pi((X - a)^2 + Y^2 + Z^2)^{1/2})}$$

Ecuación 19 Expresión del potencial U y U' para un electrodo puntual.

Una vez haciendo las derivadas correspondientes y sustituyendo obtenemos:

$$\frac{\partial U}{\partial \rho} = \int_V \frac{1 (X(X - a) + Y^2 + Z^2)}{(4\pi^2)[X^2 + Y^2 + Z^2]^{(3/2)}[(X - a)^2 + Y^2 + Z^2]^{(3/2)}} dV$$

Ecuación 20 Derivada de potencial con respecto a la resistividad (Derivada de Frechet en 3D).

La derivada 3D de Frechet está dada por la integral y corresponde a la función sensibilidad, este ejemplo es derivado para un dispositivo polo-polo que es la

manera más sencilla de explicar dicho proceso. La integral tiene solución analítica en términos de integrales elípticas (Loke y Barker 1995). Mediante esta función es posible conocer el efecto que tiene en el potencial, medido por un determinado arreglo, un cambio en la resistividad. Además, cada dato de resistividad aparente está ubicado en algún punto de la profundidad en función del arreglo Wenner-Schlumberger para este caso. Las coordenadas son (X, Y, Z), donde X y Y indican la localización en la superficie de un punto medio de la línea que une los centros de los dipolos y Z representa la profundidad de investigación.

$$U_{(X,Y,Z)} = \frac{1}{(4\pi^2)} \int_V \frac{(X(X - a) + Y^2 + Z^2)}{[X^2 + Y^2 + Z^2]^{(3/2)} [(X - a)^2 + Y^2 + Z^2]^{(3/2)}} dV$$

Ecuación 21

Una vez teniendo la variación del potencial podemos relacionar esta información para así poder calcular la profundidad máxima, para ese objetivo Roy y Apparao en 1971 explican que obviamente la mayor aportación se obtiene desde la profundidad máxima (Z máx) y se mide desde lo más profundo hacia arriba, que corresponde a un valor máximo de la función de sensibilidad para un arreglo en especial. Edwards en 1977 y Barker en 1989 proponen que la profundidad de investigación sea una profundidad media (Z media), por lo tanto, será un 50% del área total de la función de

sensibilidad. La profundidad media (Z_{media}) es el punto donde la parte superior en la

función de sensibilidad tiene la misma variación en el potencial que la parte inferior suponiendo que hay una capa encima de la otra (Loke, 2010), esto se infiere para calcular la profundidad media en función de la separación entre electrodos o longitud del arreglo.

Edwards (1977) menciona que al utilizar diferentes longitudes de dipolo se obtienen modelos diferentes dependiendo de la separación entre electrodos, la profundidad media, etc. Como bien sabemos estamos utilizando 4 electrodos, si simplificamos la Ecuación con su factor geométrico correspondiente para los electrodos de potencial y corriente, podemos definir que:

$$U = 4Z_{media}$$

Ecuación 22

Derivado de Edwards (1977) y la Ecuación 22 se obtuvo la siguiente tabla:

| Arreglo | Z_{media} / a | Z_{media} / L |
|--------------|-----------------|-----------------|
| Wenner | 0.519 | 0.173 |
| Schlumberger | 7.66 | 0.912 |
| | 3.82 | 0.191 |
| | 1.90 | 0.190 |

Tabla 2. Valores de profundidad media de investigación (Z_{media}), (Edwards, 1977).

Donde:

L = Longitud del dispositivo.

a = Separación entre electrodos.

Z_{media} = Profundidad media de investigación.

La representación real de Z_{media} es la profundidad donde una parte del subsuelo entre la superficie y la profundidad media influyen de igual manera en el potencial U y en la resistividad, es mucho más influyente en comparación con el subsuelo que está debajo de dicha capa. Por lo tanto, Z_{media} , nos proporciona el valor aproximado de la profundidad hasta donde se observa con un dispositivo determinado. Cabe mencionar que la profundidad de investigación es la profundidad máxima en la señal medida de una capa delgada y horizontal (Evjen, 1938). Este autor mencionado previamente propone ciertas equivalencias entre un campo estacionario, el arreglo, la longitud del dispositivo y su profundidad máxima aproximada.

| Arreglo | Profundidad máxima |
|--------------|--------------------|
| Wenner | $0.125L$ |
| Schlumberger | $0.11L$ |

Tabla 3. Valores de profundidad máxima de investigación (Evjen, 1938).

Instrumentación

Syscal-Pro Switch de 48 canales, de
IRIS INSTRUMENTS






Figura 12

Con las siguientes especificaciones técnicas:

| | |
|------------------------|---|
| Voltaje | 0-2000 Vpp |
| Corriente | 0-2500 mA |
| Potencia | Controlador interno auto controlado DC/DC de 2500 W y con AC/CD externa 1200 W |
| Batería | Batería externa o interna de 12V |
| Intervalo de tiempo | 250 ms, 500 ms, 1 s, 2s, 4s u 8 s |
| Impedancia | 100 Mohms |
| Voltaje de entrada | 15 V, ganancia automática, protección de entrada 1000 V |
| Resolución - Precisión | 1 μ V / 0.2 % |
| GPS | GPS para coordenadas y sincronización |
| Lecturas | Resistividad, polarización inducida (hasta 20 ventanas), control de calidad y opciones para onda completa |
| Rechazo de ruido | Rechazo de la línea de tensión |

| | |
|--------------------------|---|
| Almacenamiento | 44800 lecturas, almacenadas en una memoria de estado sólido |
| Dimensiones (L x W x H) | 31x23x31 cm. Revestida con fibra de vidrio, a prueba de agua y los cambios de clima |
| Peso | 11 kg con RX interno y baterías TX |
| Temperatura de operación | -20° a +70° C |

Tabla 4. Especificaciones técnicas.

| | |
|--------------------|--|
| GPS |  |
| Batería externa |  |
| # electrodos día 1 |  |

| | |
|--|--|
| <p>Electródos día 2</p> <p>Se utilizaron 50 electrodos a lo largo del tendido realizado.</p> |  |
| <p>Cinta métrica de 130 m</p> |  |
| <p>Marro</p> |  |
| <p>2 carretes de cable</p> | |
| <p>Caimanes</p> |  |


| | |
|---------------------|--|
| 2 carretes de Cable |  |
|---------------------|--|

Tabla 5. Instrumentación.

Logística 7 de septiembre 2022

La primera parte de la adquisición, se realizó en el jardín de la Escuela Nacional de Lengua, Lingüística y Traducción (ENALLT) el día 7 de septiembre de 2022.

Las condiciones del terreno fueron adecuadas ya que, al ser un terreno plano, no hubo necesidad de hacer una nivelación.

Se realizaron dos levantamientos con una orientación Este - Oeste y una separación máxima de 24 metros con 48 electrodos separados cada 50 centímetros y se tomó la posición geográfica de cada extremo del levantamiento con ayuda del receptor GPS.



Figura 13 Tendido de 24m de largo con 48 metros de largo

Logística 08 de septiembre 2022.

La adquisición se llevó a cabo en el deportivo “Alfredo Harp Helú” el terreno del sitio es una superficie plana, lo cual nos facilitó el trabajo al ser un terreno plano, se realizó un arreglo en forma de herradura a lo largo de tres canchas de basquetball.

Con una orientación Norte-Sur, utilizando en la herradura número uno un total de 40 electrodos, en la primera línea se hizo uso de 21 electrodos con una distancia de dos metros entre cada uno al igual que en la “línea tres”, en la “línea dos” se utilizaron ocho electrodos a una distancia entre cada uno de cuatro metros.

Esta metodología se utilizó con las otras dos herraduras realizadas el día mencionado en un espacio de 5 horas y media.



Figura 14. Segundo día de levantamiento.

Los parámetros para la adquisición que se usaron en el Syscal Pro fueron los siguientes:

Equipo: Syscal Switch Pro de 48 canales.

Software = Iris Instruments

Parámetros: Stack= 4 min a 6 máx.

Error= 5%

$t_m=1$ s

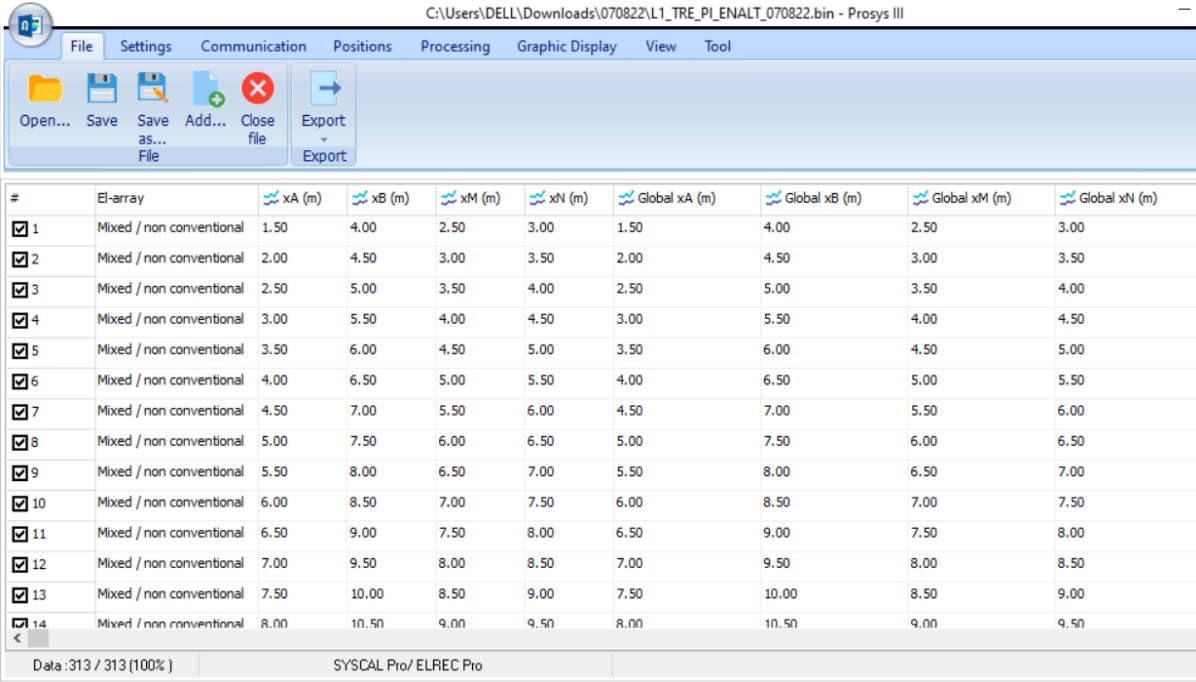
$V_p= 200$ ms

$V_{ab}= 400$ V

Procesamiento de datos:

7 de septiembre de 2022 (CELE)

Software utilizado: ProSYSIII, Visual Studio Code, Python 3.8.10, Jupyter Notebook y ResIPY. En primer lugar, el archivo .bin llamado “L1_TRE_PI_ENALT_070822.bin” lo convertimos a .csv con el software ProSYSIII simplemente exportando los datos.



The screenshot shows the ProSYSIII software interface. The title bar indicates the file path: C:\Users\DELL\Downloads\L1_TRE_PI_ENALT_070822.bin - Prosys III. The menu bar includes File, Settings, Communication, Positions, Processing, Graphic Display, View, and Tool. The toolbar contains icons for Open..., Save, Save as..., Add..., Close file, and Export. The main window displays a table with 14 rows of data, each representing an electrode position. The columns are: #, El-array, xA (m), xB (m), xM (m), xN (m), Global xA (m), Global xB (m), Global xM (m), and Global xN (m). The data shows a linear progression of electrode positions from 1.50 to 10.50 meters along the x-axis. The status bar at the bottom indicates 'Data : 313 / 313 (100%)' and 'SYSICAL Pro/ ELREC Pro'.

| # | El-array | xA (m) | xB (m) | xM (m) | xN (m) | Global xA (m) | Global xB (m) | Global xM (m) | Global xN (m) |
|--|--------------------------|--------|--------|--------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1 | Mixed / non conventional | 1.50 | 4.00 | 2.50 | 3.00 | 1.50 | 4.00 | 2.50 | 3.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 2 | Mixed / non conventional | 2.00 | 4.50 | 3.00 | 3.50 | 2.00 | 4.50 | 3.00 | 3.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 3 | Mixed / non conventional | 2.50 | 5.00 | 3.50 | 4.00 | 2.50 | 5.00 | 3.50 | 4.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 4 | Mixed / non conventional | 3.00 | 5.50 | 4.00 | 4.50 | 3.00 | 5.50 | 4.00 | 4.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 5 | Mixed / non conventional | 3.50 | 6.00 | 4.50 | 5.00 | 3.50 | 6.00 | 4.50 | 5.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 6 | Mixed / non conventional | 4.00 | 6.50 | 5.00 | 5.50 | 4.00 | 6.50 | 5.00 | 5.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 7 | Mixed / non conventional | 4.50 | 7.00 | 5.50 | 6.00 | 4.50 | 7.00 | 5.50 | 6.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 8 | Mixed / non conventional | 5.00 | 7.50 | 6.00 | 6.50 | 5.00 | 7.50 | 6.00 | 6.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 9 | Mixed / non conventional | 5.50 | 8.00 | 6.50 | 7.00 | 5.50 | 8.00 | 6.50 | 7.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 10 | Mixed / non conventional | 6.00 | 8.50 | 7.00 | 7.50 | 6.00 | 8.50 | 7.00 | 7.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 11 | Mixed / non conventional | 6.50 | 9.00 | 7.50 | 8.00 | 6.50 | 9.00 | 7.50 | 8.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 12 | Mixed / non conventional | 7.00 | 9.50 | 8.00 | 8.50 | 7.00 | 9.50 | 8.00 | 8.50 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 13 | Mixed / non conventional | 7.50 | 10.00 | 8.50 | 9.00 | 7.50 | 10.00 | 8.50 | 9.00 |
| <input checked="" type="checkbox"/> 14 | Mixed / non conventional | 8.00 | 10.50 | 9.00 | 9.50 | 8.00 | 10.50 | 9.00 | 9.50 |

Figura 15

| Rho (Ohm.m) | Dev. M | Dev. Rho (%) | M (mV/V) | SP (mV) | VMN (mV) | IAB (mA) | TX RX | Time (ms) | Coef. k (m) | Dev. coef. k (%) | Metal factor |
|-------------|--------|--------------|----------|---------|----------|----------|-----------|-----------|-------------|------------------|--------------|
| 17.85 | 0.03 | 0.00 | 0.87 | -24.33 | 194.132 | 102.487 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 48.74 |
| 22.74 | 0.04 | 0.00 | 2.69 | -22.00 | 192.270 | 79.678 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 118.10 |
| 21.40 | 0.11 | 0.00 | 3.32 | 43.49 | 193.889 | 85.371 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 154.97 |
| 18.97 | 0.02 | 0.00 | 2.36 | 1.83 | 195.015 | 96.875 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 124.34 |
| 22.99 | 0.03 | 0.00 | 3.01 | -0.75 | 192.501 | 78.904 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 130.83 |
| 24.21 | 0.03 | 0.00 | 4.00 | -13.03 | 192.556 | 74.971 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 165.23 |
| 22.62 | 0.02 | 0.00 | 3.75 | -5.78 | 191.393 | 79.757 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 165.63 |
| 26.38 | 0.04 | 0.00 | 4.39 | -3.98 | 194.674 | 69.553 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 166.41 |
| 25.85 | 0.04 | 0.00 | 4.92 | 3.22 | 195.470 | 71.275 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 190.36 |
| 27.14 | 0.02 | 0.00 | 4.63 | -15.76 | 194.688 | 67.599 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 170.47 |
| 26.04 | 0.02 | 0.00 | 4.29 | 7.20 | 193.510 | 70.032 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 164.88 |
| 26.10 | 0.01 | 0.00 | 4.97 | -3.85 | 193.284 | 69.782 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 190.29 |
| 26.43 | 0.02 | 0.00 | 4.76 | -8.10 | 194.180 | 69.234 | tx rx 50% | 1000 | 9.42 | 600.00 | 180.00 |

Figura 16

Posteriormente con el editor de código Visual Studio Code se instala Python, de preferencia la última versión, así como la librería Jupyter Notebook y ResIPy. Con comandos bastante simples procesamos los datos para poder hacer la inversión y obtener los resultados de nuestro estudio.

1.- Importamos un paquete para que nos avise si hay errores e importamos ResIPy para modelos en 2D.

```
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')

[1] ✓ 0.1s Python

from resipy import R2

[2] ✓ 22.4s Python

... API path = /home/made/.local/lib/python3.8/site-packages/resipy
ResIPy version = 3.3.3
cR2.exe found and up to date.
R3t.exe found and up to date.
cR3t.exe found and up to date.
```

Figura 17 Importe de paquete, revisión errores.

2.- Creamos nuestra prospección con el archivo generado .csv que contiene nuestros datos a procesar y de acuerdo a los comandos de ResIPy que va a hacer las medidas para la pseudosección de resistividad aparente con los arreglos electrodicos y su número correspondiente de electrodos.

```
k=R2(typ='R2')
[3] ✓ 0.2s Python
... Working directory is: /home/made/.local/lib/python3.8/site-packages/resipy
clearing dirname

k.createSurvey('/home/made/Documents/Elec/OneDrive_1_9-12-2022/070822/syscal.csv',ftype='Syscal')
[4] ✓ 0.6s Python
... WARNING: change sign of 0 Tx resistance.
Survey.filterDefault: 1 measurements with A or B == M or N

filterData: 1 / 314 quadrupoles removed.
0/313 reciprocal measurements found.
0/313 reciprocal measurements found.
```

Figura 18 Archivo generado .csv.

3.- Escribimos un comando para mostrar los resultados de la pseudosección.

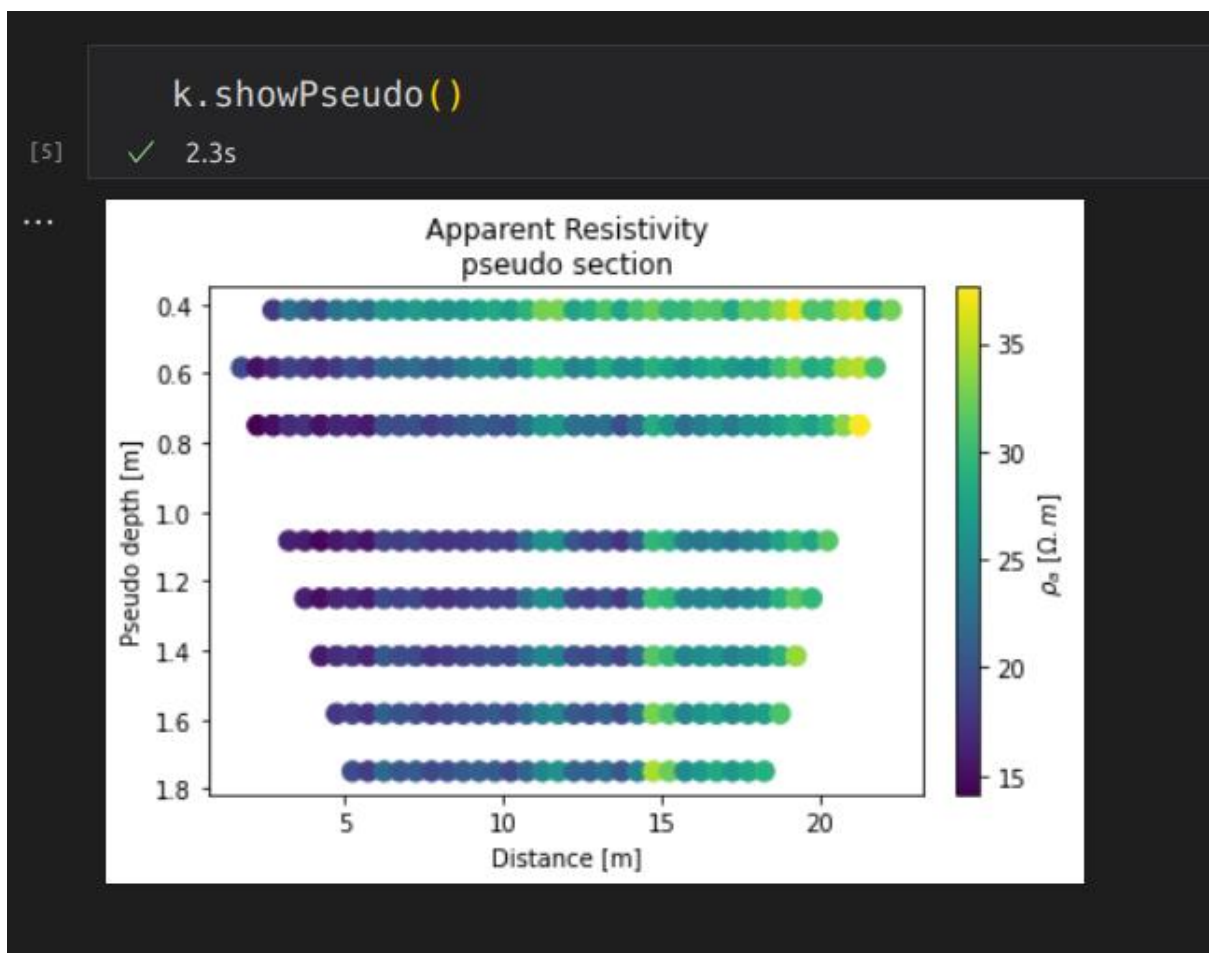


Figura 19 Resultados pseudosección.

4.- Creamos el “mesh” con triángulos para empezar el procesamiento de la inversion de los datos eléctricos.



Figura 20 Creación del “mesh”.

5.-Finalmente escribimos el comando para empezar la inversión de datos.

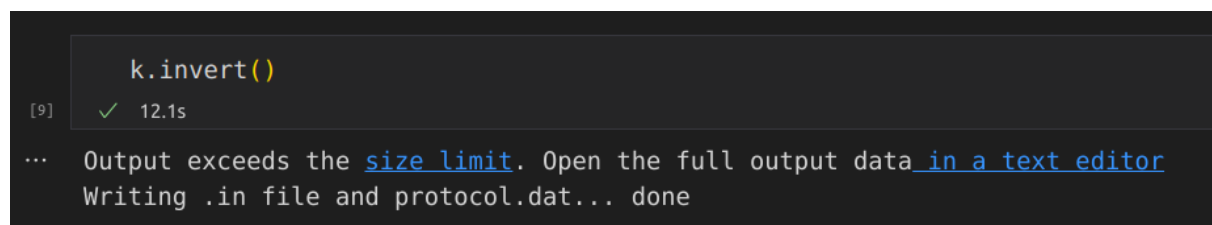


Figura 21 Comienza inversión.

```

----- MAIN INVERSION -----

>> R 2   R e s i s t i v i t y   I n v e r s i o n   v4.02 <<

>> D a t e : 08 - 10 - 2022
>> My beautiful survey
>> I n v e r s e   S o l u t i o n   S e l e c t e d <<
>> Determining storage needed for finite element conductance matrix
>> Generating index array for finite element conductance matrix
>> Reading start resistivity from res0.dat
>> R e g u l a r i s e d   T y p e <<
>>   L i n e a r   F i l t e r   <<
>> L o g - D a t a   I n v e r s i o n <<
>> N o r m a l   R e g u l a r i s a t i o n <<
>> D a t a   w e i g h t s   w i l l   b e   m o d i f i e d <<

Processing dataset  1

```

Figura 22 Procesamiento dataset 1.

```

Measurements read:  313      Measurements rejected:  0
Geometric mean of apparent resistivities:  0.22979E+02
...
Processing dataset  2

End of data:  Terminating

All ok

1/1 results parsed (1 ok; 0 failed)

```

Figura 23 Procesamiento dataset 2.

6.- Mostramos los resultados de la inversión y hemos terminado el procesamiento de datos para 2D.

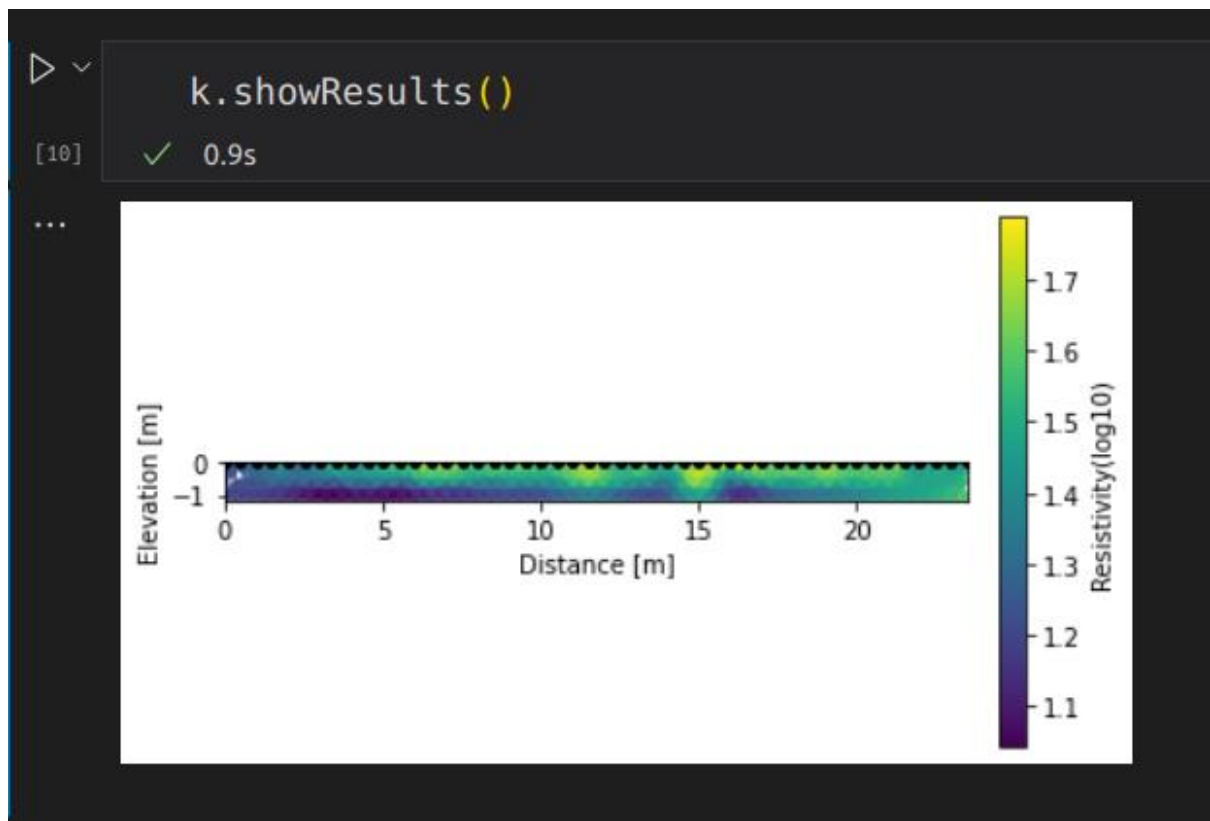


Figura 24 Inversión.

Resultado y discusión de resultados (2D CELE)

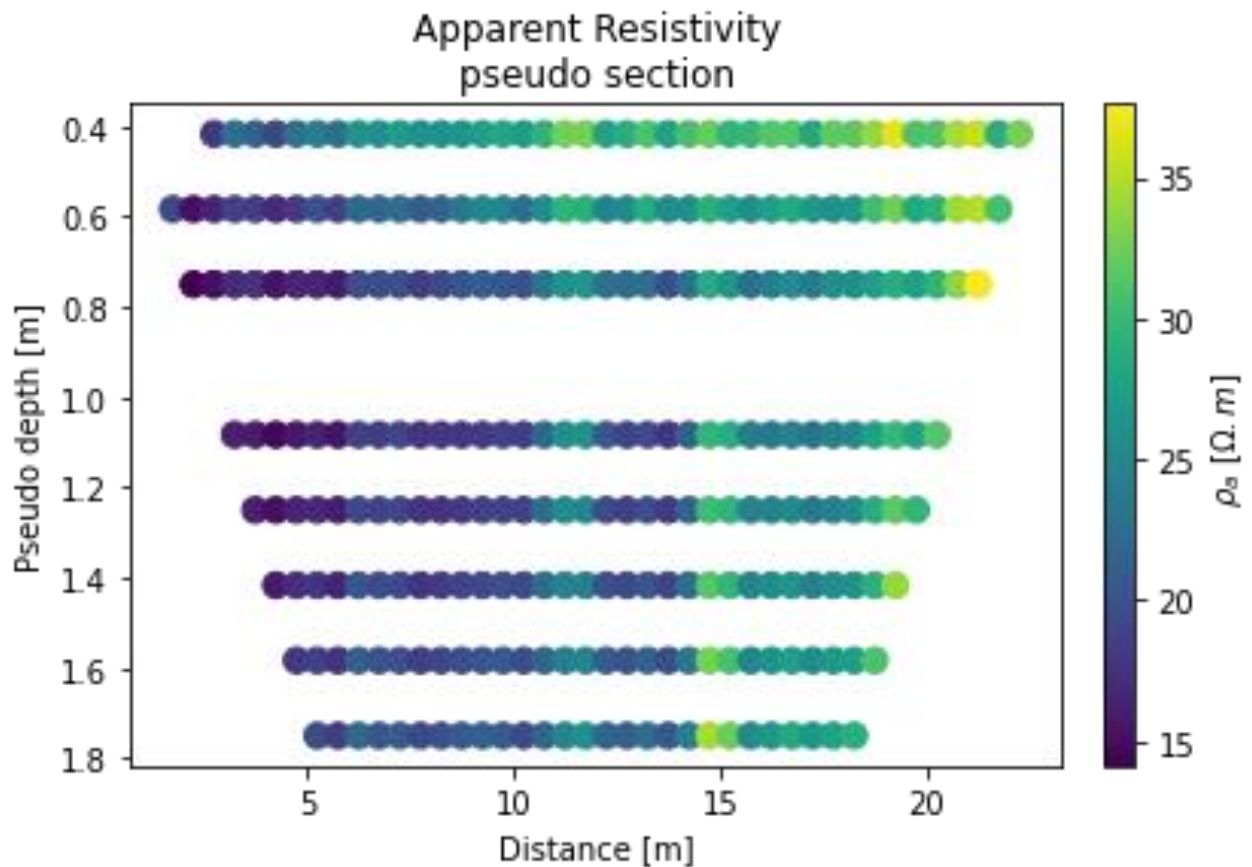


Figura 25 Resistividad aparente.

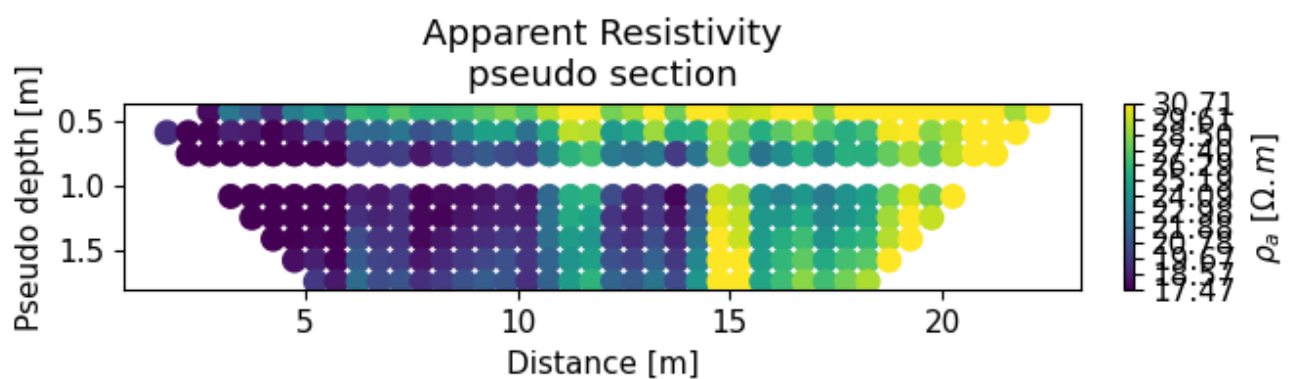


Figura 26. Resistividad aparente.

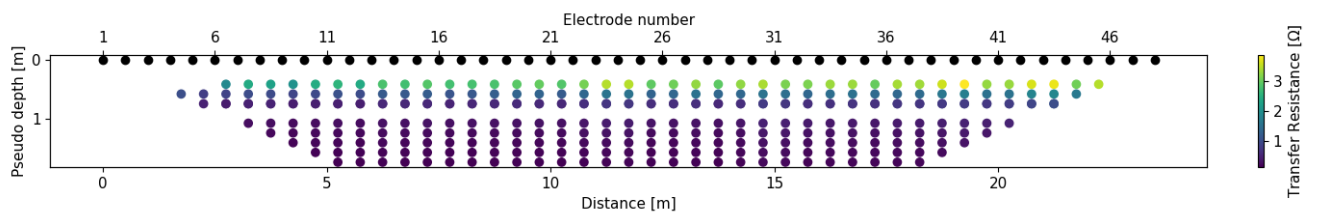


Figura 27

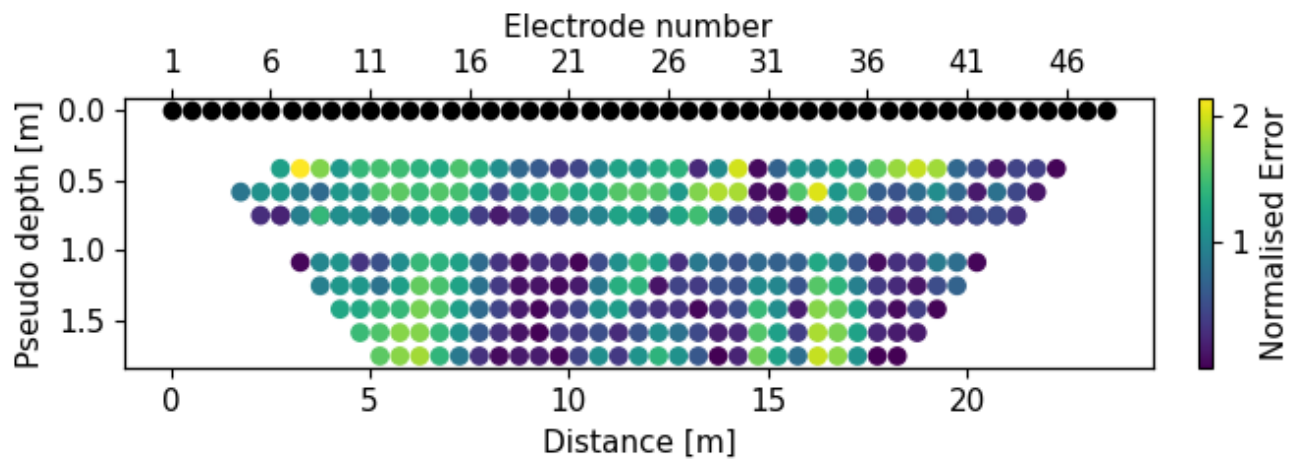


Figura 28

Inversión de Datos

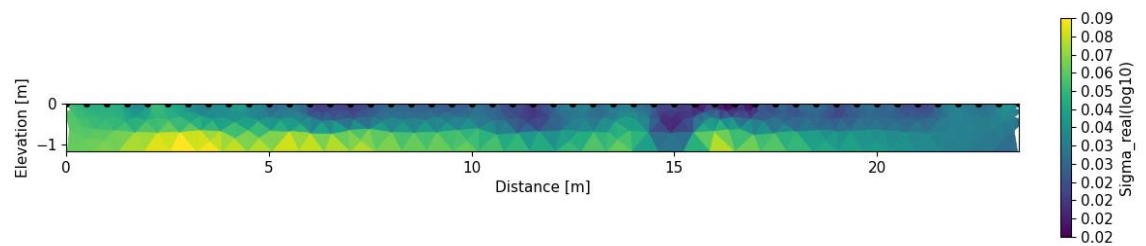


Figura 29

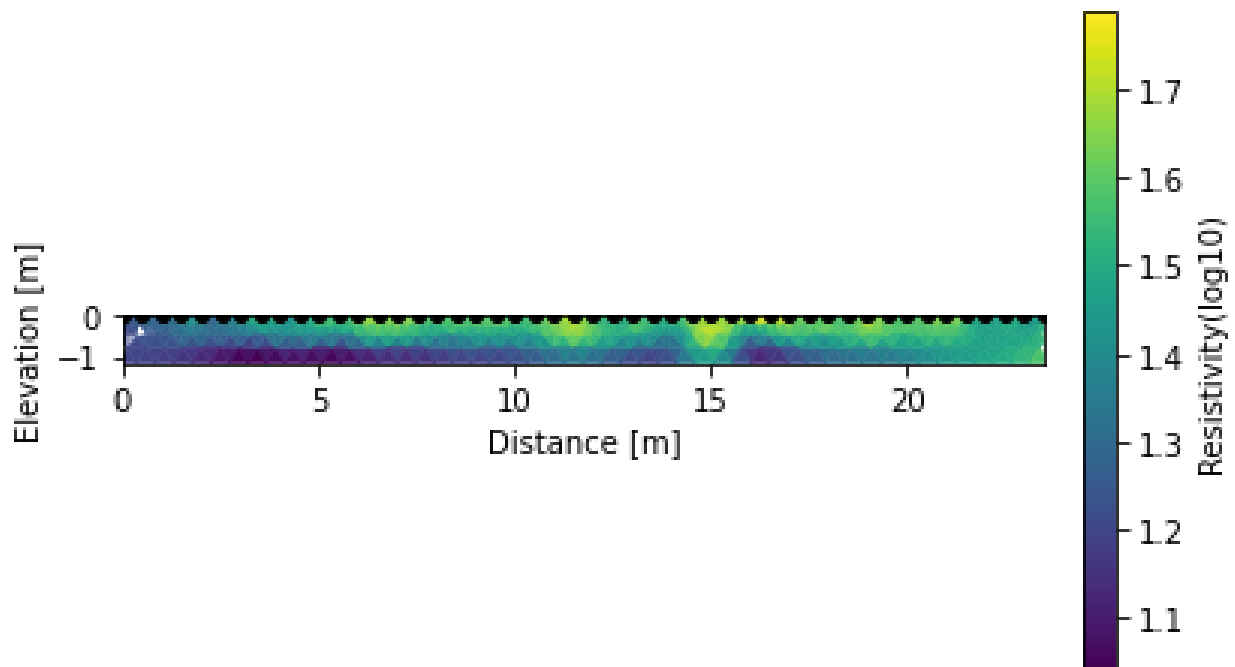


Figura 30

Interpretación de Resultados

De acuerdo a la geología de la alcaldía Coyoacán, las tablas de diferentes libros para prospección eléctrica y nuestros resultados se concluye como ya sabemos que se cuenta con Basalto andesítico proveniente del volcán Xitle al sur de la Ciudad de México, que en nuestras imágenes tienen valores que pueden ir desde 0 hasta 1.5 $\text{ohm} \cdot \text{m}$, los valores arriba de 1.5 $\text{ohm} \cdot \text{m}$ consideramos que corresponden a restos de arcillas que están más cerca del subsuelo lo que en Geotecnia se podría conocer como “suelo”, el objetivo a localizar era una tubería de aproximadamente 5 cm de ancho; efectivamente se puede apreciar un espacio en blanco en la pseudo sección de resistividad aparente así como en las imágenes ya una vez hecha la inversión a la altura del metro 15 se aprecia una diferencia en los valores de resistividad y que pueden ser debidos esos cambios a la presencia de la tubería que estamos buscando ver con mayor claridad.

Polarización Inducida (PI)

La información se procesó con el software de interpretación llamado Res2DInv64 versión 4.8.10, mediante la función de interpolación triangular lineal. Los parámetros son aparentes, ya que se determinaron con el programa Prosys II (Iris Instruments,

v3.14) directamente de los datos de campo exportando los datos del archivo .bin a .dat.

La Figura muestra las respuestas de resistividad y cargabilidad invertidas (figura#2), como resultado de procesar los 313 datos tomados el día 8 de septiembre de 2022. Estos datos, presentaron un potencial espontáneo máximo de 9.87 mV y mínimo de 0.6 mV (Figura #3), y resistividades aparentes que van desde 10.47 a 65.31 ohm-m y un RMS igual a 1.07% en la iteración 3 empleada. La distribución de la resistividad invertida muestra a una profundidad promedio de 3.2 m, y en general un horizonte de forma tabular con valores bajo-resistivos de alrededor de 10 ohm-m a 25 ohm-m (en tonos azules) salvo en el metro 15 y a una profundidad alrededor de los 75 cm los valores se tornan los más altos resistivos y concuerdan con la observación en campo de la tubería. En el caso de la imagen de cargabilidad, predominan valores medios-altos (alrededor de 5 a 6 mV en tonos naranjas y rojos) aumentando la cargabilidad concéntricamente al metro 15 donde se encuentra la tubería.

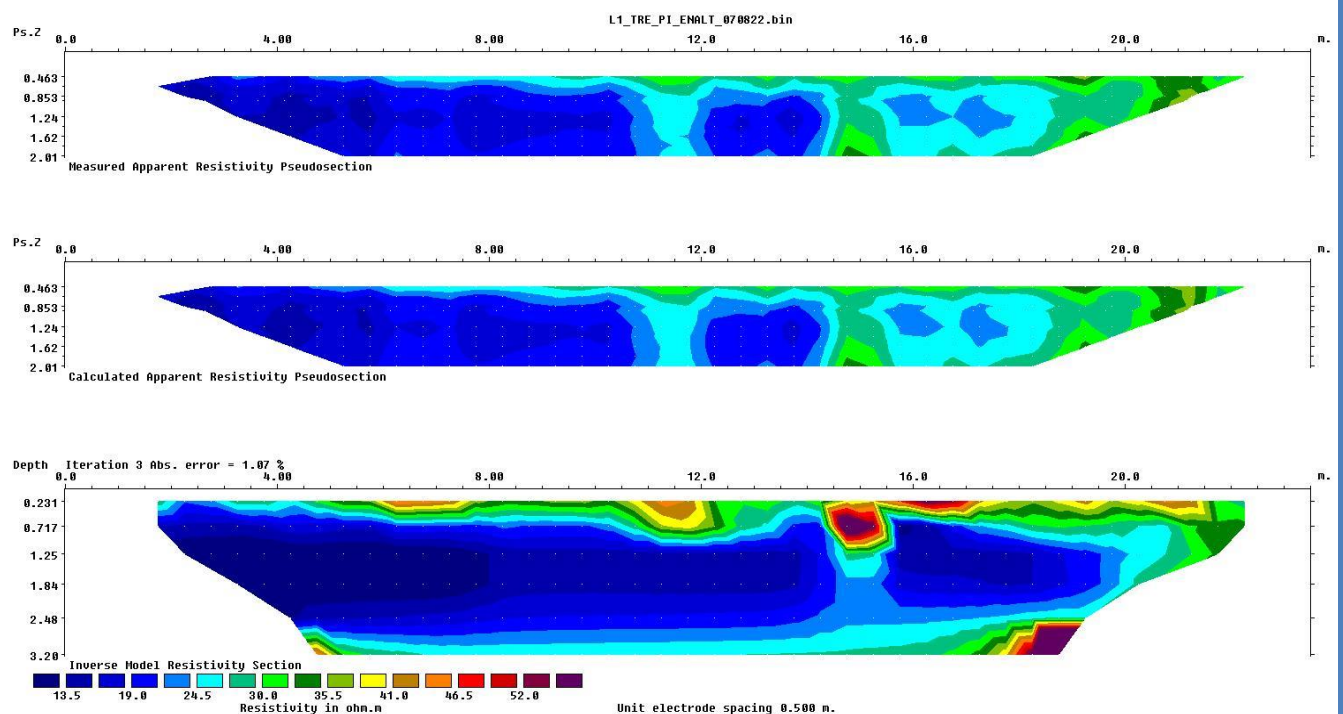


Figura 31. Perfil resistividad aparente

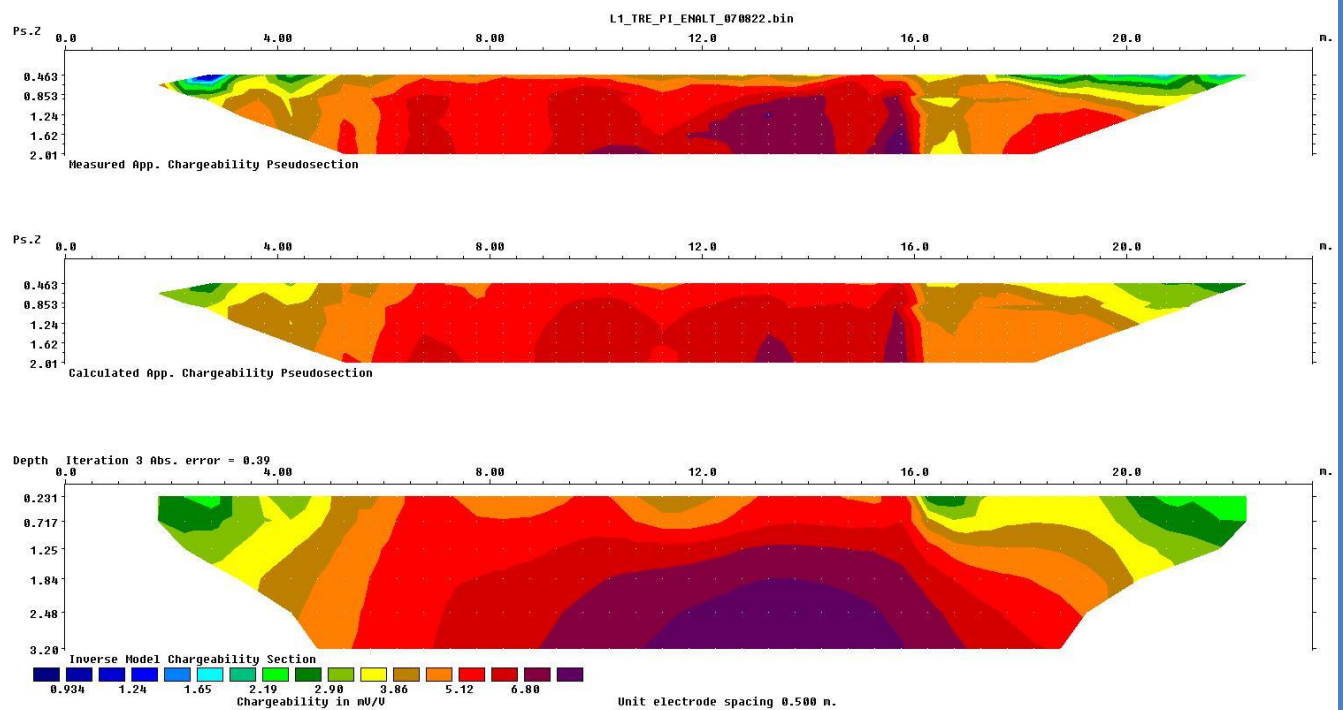


Figura 32. Perfil de cargabilidad mV/V

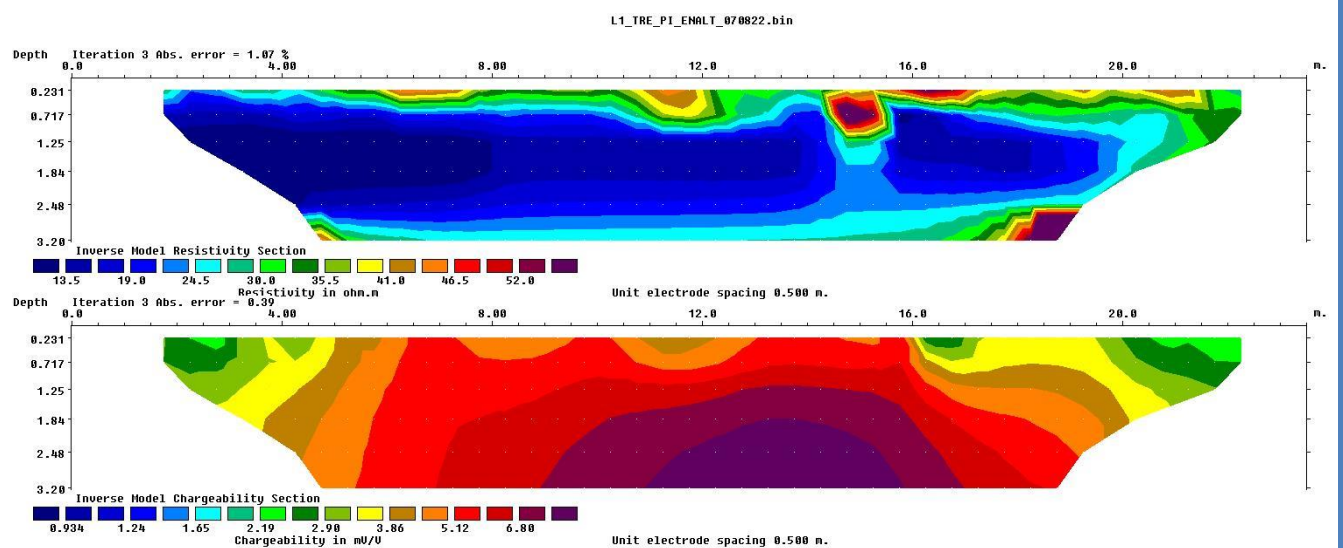


Figura 33. Comparativa, resultado perfil de resistividad aparente y PI en términos de cargabilidad

8 de septiembre de 2022 Harp Helú



Figura 34. Imagen aérea deportivo.

Procesamiento

Se tomaron los datos en formato .bin directamente del syscal y utilizando el programa Prosys II se pudieron convertir en un formato apropiado para su posterior análisis en el programa ResIPy en el cual realizamos la inversión de los datos

Teniendo eso en mente primero se cargan los datos en el programa de inversión el cual es ResIPy en el cual podemos ver los puntos del arreglo además de poder notar las resistividades aparentes del mismo y cómo podemos notar que tenemos un punto con resistividades aparentes más alto del lado izq. en la zona media por lo cual esto será de importancia en la inversión de los datos.

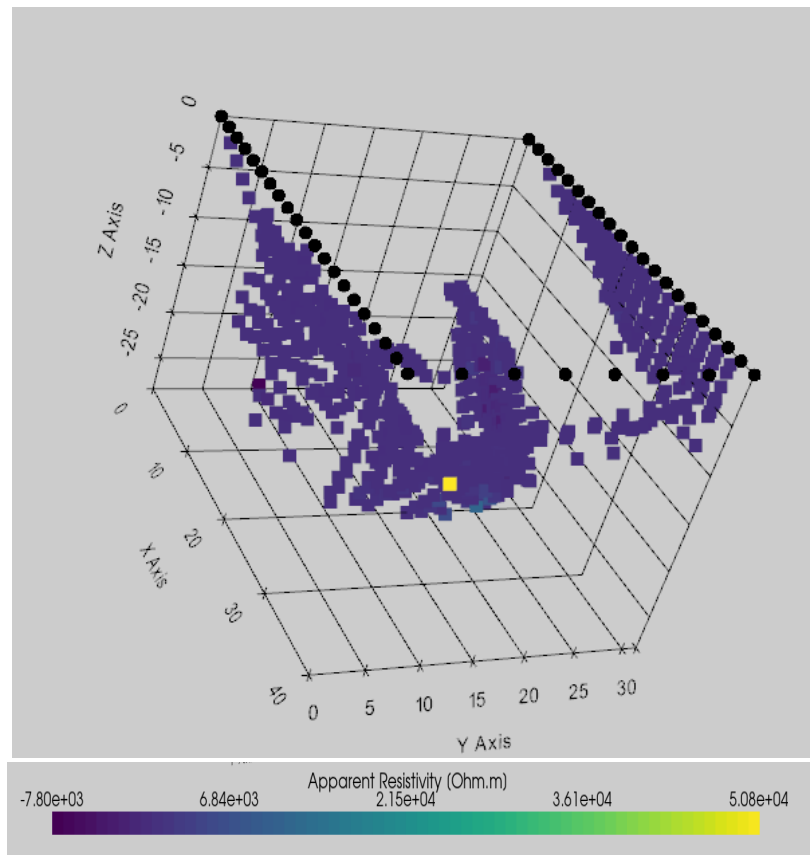


Figura 35 Puntos del arreglo ResIPy antes de la inversion

| | |
|-------------------------------|--|
| Target decrease: | <input type="text" value="0"/> |
| Data type: | <input type="text" value="Logarithmic [1]"/> |
| Regularization mode: | <input type="text" value="Normal regularization [0]"/> |
| Value for tolerance: | <input type="text" value="1.0"/> |
| Maximum number of iterations: | <input type="text" value="10"/> |
| a_wgt: | <input type="text" value="0.01"/> |
| b_wgt: | <input type="text" value="0.02"/> |
| Minimum apparent resistivity: | <input type="text" value="-10e10"/> |
| Maximum apparent resistivity: | <input type="text" value="10e10"/> |

Resultados de la inversión TRE Harp Helú

Podemos observar en las imágenes que tenemos en la parte inferior izquierda de la herradura una zona con bajas resistividades también teniendo en cuenta que el estudio está en 3d se sacaron diferentes vistas en las cuales se analizaron para poder tener una vista más general de que es lo que está pasando en la cancha.

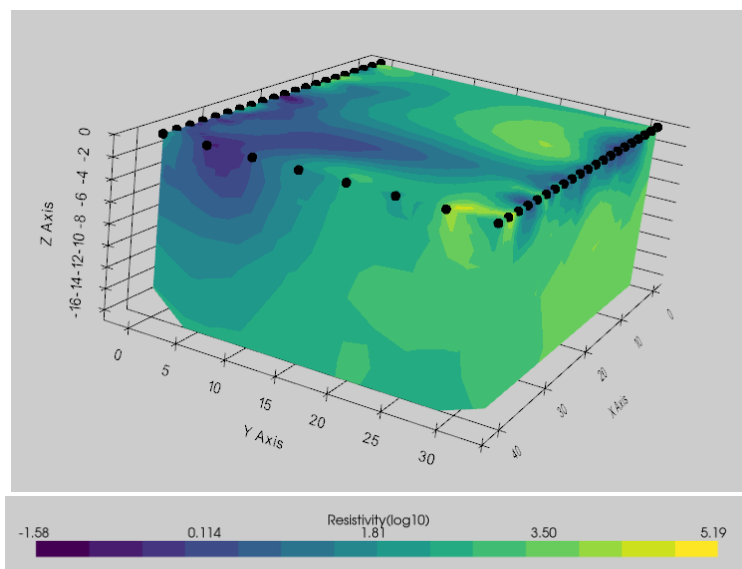


Figura 36 Imagen 3D Herradura.

Se tomaron dos rebanadas en cada eje para poder notar cómo es que está el suelo en el cual se construyó la cancha, en el eje y podemos notar como recorriéndose a la izquierda tenemos la disminución en las resistividades teniendo como foco la esquina izq. de la cancha como el punto en el cual se presentan las resistividades más bajas.

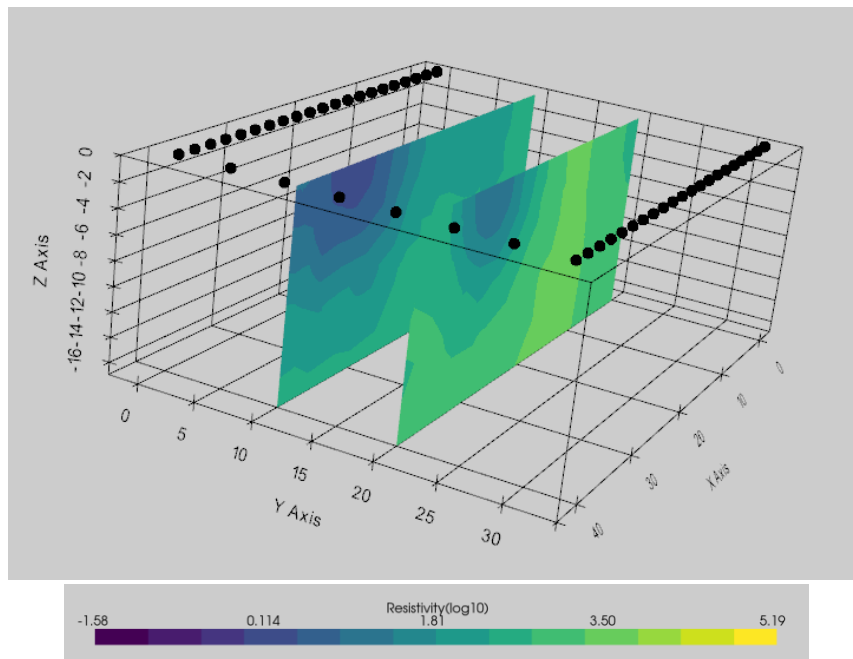


Figura 37 Imagen de rebanadas del 3D.

Viendo la vista en el eje z podemos notar que la mancha de resistividades bajas no es tan profunda además de que al lado contrario encontramos que las resistividades van en aumento lo cual nos indica que como nos encontramos en la zona de Coyoacán y ligándolo con las tablas de resistividades podemos decir que en la parte superior del lado izquierdo tenemos basalto y a medida que profundizamos más tenemos arcilla lo cual no es del todo malo para la cancha pero no encontramos una uniformidad en el terreno.

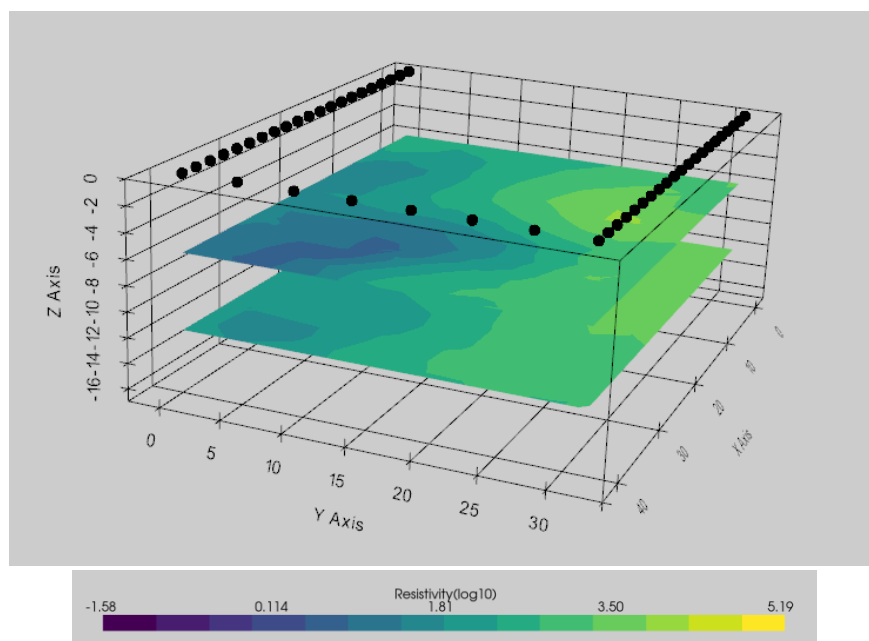


Figura 38 Vista eje z del rebanado.

Como último tenemos la vista en el eje de las x podemos notar también que tenemos bajas resistividades justo en las puntas del paso de la herradura en el lado derecho, pero solo como zonas puntuales ya que podemos notar que bajando ese punto las resistividades suben de manera un poco abrupta teniendo el material de arcilla lo cual nos corrobora que de ese lado los basaltos son muy superficiales y lo que predomina en la cancha son las arcillas.

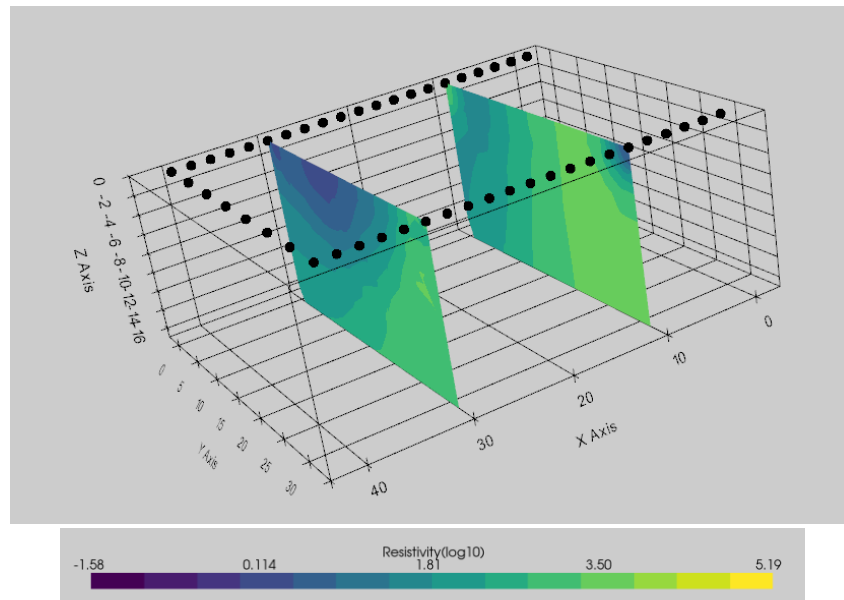


Figura 39 Vista eje x.

Conclusiones

Díaz Escamilla Marco Antonio

Utilizando los conocimientos adquiridos en clases y de forma práctica nos ayudó a tener un resultado satisfactorio y puedo concluir que el resultado es satisfactorio, el primer día de levantamiento se hizo con la idea de poder generar imágenes en las que se observará un tubería, al generar las imágenes e inversión se observa de manera clara dicha tubería, durante el segundo día se hizo el tendido en forma de herradura, se trabajó cerca de 6 horas, al hacer el procesado se pudo observar y analizar con base a la resistividad de las rocas que se observa en las imágenes generadas tras la inversión de los datos, aquí el objetivo era analizar los problemas de hundimiento en el Deportivo, como recomendación, solo sería no hacer construcciones en el área que afecten la zona y pongan en peligro a los usuarios y trabajadores.

González Peña Abraham

Podemos decir que el objetivo de la práctica se cumplió. Para la primera parte, el estudio realizado en el jardín de la ENALLT, se tenía el objetivo de encontrar un tubo que cruzaba perpendicularmente al arreglo y que estaba enterrado a poca profundidad. Al ver los resultados del procesamiento, podremos notar que dicho tubo se aprecia muy claramente en las imágenes. Con lo que podemos concluir que el método y el estudio fueron realizados correctamente.

Para la segunda parte, el deportivo donde se realizó el estudio, sufría un problema de hundimiento. Por mi parte, es difícil poder brindar alguna solución o recomendación para poder solucionar este problema.

Sibaja Ibarra Gamaliel

El objetivo de la práctica se cumplió, ya que pudimos entender a profundidad la realización de estudios de TRE, además del correcto procesamiento del mismo. Respecto al estudio de la ENALLT podemos decir que el objetivo en el estudio, en este caso, el tubo que estaba enterrado, se nota con claridad en los resultados del procesamiento, lo cual nos indica que el método que realizamos fue óptimo para lo que estábamos buscando. Respecto a la práctica del espacio deportivo tuvimos éxito

al encontrar la diferencia del terreno lo cual podría ser la razón de que alguna de las canchas se está hundiendo. Personalmente creo que es responsabilidad de la geotecnia el poder encontrar una solución. Para evitar el hundimiento mi recomendación personal sería, como primera instancia, saber cuál es el tamaño del asentamiento para poder tomar una decisión correcta, según mi interpretación el asentamiento no es demasiado grande, por lo cual yo recomendaría una inyección de resina expansiva para rellenar las partes en donde la cancha se asentó y darle más estabilidad.

Rodríguez Hernández Rodrigo

La práctica cumplió con los objetivos, para el primer día se observó de manera clara el tipo de anomalía que causa en la inversión de TRE y PI la existencia de un objeto con las características del objeto en estudio, lo que sirve de gran manera en el entendimiento del método. En el segundo día el ejercicio cumplió de igual manera con el objetivo, fue claro apreciar los cambios generados en el estudio por un fenómeno de hundimiento.

Referencias

- Barker, R., 1989, Depth of investigation of collinear symmetrical four-electrode arrays. Geophysics, Vol. 54.
- Evjen, H. M., 1938, Depth Factor and resolving power of electrical measurements, Geophysical, Vol. 3.
- Figuerola, C. (1987). Tratado de prospección geofísica aplicada.
- Geotem. (2016). Tomografía de resistividad eléctrica. Geotem. México. Recuperado de <http://www.geotem.com.mx/electrico4.php> el 3 de marzo de 2022.
- Loke M. H., 2012, Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys.

- Loke M. H., 2000, Electrical Imaging Survey for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2-D and 3-D Surveys.
- Orellana, E., 1982, Prospección geoelectrica en corriente continua. Biblioteca Técnica Philips.
- Richard C. Fox, Gerald W. Hohmann, Terry J. Killpack and Luiz Rijo, 1980, Topographic effects in resistivity and induced-polarization surveys. Geophysics, Vol. 45.
- Roy A. and Apparao A., 1971, Depth of Investigation in Direct Current Methods, Geophysics, Vol. 37.
- Telford W., Geldart L., Scheriff R., 1992, Applied Geophysics, second edition, Cambridge University Press.
- Tejero Andrade, A., & López González, A. E. (2013). El método de Polarización Inducida aplicado en la contaminación de suelos por hidrocarburos. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 65(1), 1-8.
- IRIS Instruments (2016). Syscal Pro. Recuperado de <https://www.iris-instruments.com/syscal-pro.html> el 5 de marzo de 2022.
- *ResIPy, an intuitive open source software for complex geoelectrical inversion/modeling.* (2020, 1 abril). ScienceDirect. Recuperado 6 de marzo de 2022, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098300419308192>

Bitácora día 1.

Bitácora:

Práctica profesional prospección eléctrica 07 septiembre 2022

Lugar: Jardín Escuela Nacional de Lenguas, Lingüística y Traducción UNAM

Hora inicio: 9:00 am

Hora fin: 15:30 pm

Datos arreglo:

Wenner-Schlumberger fuentes enfocadas y Polarización Inducida (PI)



Figura 1 Wenner-Schlumberger fuentes enfocadas

Electrodos= 48 totales

Equipo: ~~Suscal~~ Switch Pro de 48 canales

Software = Iris Instruments

Parámetros:

~~Stack~~= 4 min a 6 ~~0.00%~~

Error= 5%

~~t_{on}~~=1 s

~~V_{on}~~= 200 ms

~~V_{ab}~~= 400 V



Figura 2 ~~Suscal~~ Switch Pro

Anexo 1



Ilustración 3 Localización



Figura 4 Tendido 48 electrodos con separación de 50 cm

Bitácora día dos.

Bitácora práctica profesional prospección Eléctrica

Día #2

Lugar: Deportivo Alfredo Harp Helú
Fecha: jueves 8 de septiembre de 2022
Hora Inicio: 10:00 am
Hora Fin: 15:30 pm
Duración: 6 horas y 30 min aproximadamente.



Datos Herradura 1 (H1)

Arreglos= Ecuatorial Wenner-Schlumberger y Mínimo Acoplamiento
Electrodos = 104 en total
Electrodos H1= 50

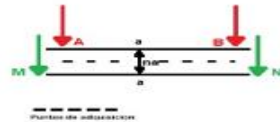


Fig 1. Ecuatorial Wenner-Schlumberger

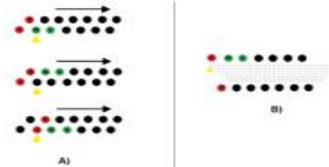


Fig 2. Mínimo Acoplamiento

Línea 1

Electrodos primera línea de H1E1 a H1E21 = 21 electrodos
Espaciamiento: Línea 1 cada 2 m
Distancia Línea 1 = 40 m
Waypoints = 21

Línea 2

Electrodos segunda línea de H1E21 a H1E28 = 8 electrodos
Espaciamiento: Línea 2 cada 4 m
Distancia Línea 2 = 32
Waypoints = 4



Fig. 3 Línea 3 de H1

Anexo 3

Línea 3

Electrodos segunda línea de H1E28 a H1E48 = 21 electrodos
Espaciamiento: Línea 3 cada 2 m
Distancia Línea 2 = 40 m
Waypoints = 21

Equipo: Syscal Switch Pro de 48 canales

Software = Iris Instruments

Stack= 3 mínimo a 6 máximo

Error= 5.00%

Parámetros = 1 segundo

Vp=200 mV

Vab= 400 V

Cuadripolos para Herradura 1 (H1) =414187, HH48rØ → 0:1034 cuadripolos

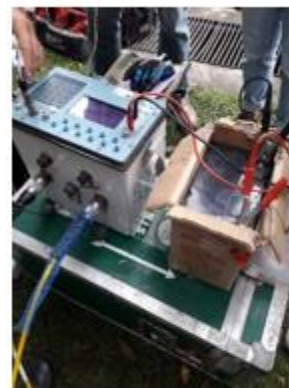


Fig 4. Syscal Switch Pro

Anexo 4

Índice de ilustraciones

| | |
|---|--------|
| Figura 1. Mapa Ciudad Universitaria | 4 |
| Figura 2. Zona de trabajo primer día | 4 |
| Figura 3. Columna estratigráfica de zona de estudio | 6 |
| Figura 4. Mapa geológico de alcaldía Coyoacán | 7 |
| Figura 5. Esquema de resistividad | 13 |
| Figura 6. Arreglos electródicos | 14 |
| Figura 7. Esquema de secuencia de muestreo | 15 |
| Figura 8. Arreglo ecuatorial Wenner – Schlumberger | 16 |
| Figura 9. Mínimo acoplamiento y configuración | 17 |
| Figura 10. Ejemplo de una secuencia para tomografía | 18 |
| Figura 11. Medio semi-infinito, homogéneo y de resistividad ρ constante. | 20 |
| Figura 12. Syscal-Pro Switch de 48 canales, de IRIS INSTRUMENTS..... | 25 |
| Figura 13. Tendido de 24m de largo con 48 metros de largo | 28 |
| Figura 14. Segundo día de levantamiento. | 29 |
| Figura 15. ProSYSIII | 30 |
| Figura 16 Visual Studio Code | 31 |
| Figura 17 Importe de paquete, revisión errores. | 31 |
| Figura 18 Archivo generado .csv. | 32 |
| Figura 19 Resultados pseudosección..... | 32 |
| Figura 20 Creación del del “mesh” | 33 |
| Figura 21 Comienzo inversión. | 33 |
| Figura 22 Procesamiento dataset 1. | 34 |
| Figura 23 Procesamiento dataset 2 | 34 |
| Figura 24 Inversión | 35 |
| Figura 25 Resistividad Aparente..... | 36 |
| Figura 26 Resistividad Aparente | 36 |
| Figura 27..... | 35 |
| Figura 28..... | 36 |
| Figura 29 Inversión de Datos..... | 37 |
| Figura 30 Inversión de Datos..... | 38 |
| Figura 31 Perfil resistividad aparente | 39 |
| Figura 32 Perfil de cargabilidad | 40 |
| Figura 33 Comparativa, resultado perfil de resistividad aparente y PI en términos de cargabilidad..... | 40 |
| Figura 34 Imagen aérea deportivo..... | 41 |
| Figura 35 Puntos del arreglo ResIPy antes de la inversion | 42 |
| Figura 36 Imagen 3D Herradura. | 43 |
| Figura 37 Imagen de rebanadas del 3D. | 44 |
| Figura 38 Vista eje Z del rebanado..... | 44 |
| Figura 39 Vista desde el eje X. | 45 |
| Anexo 1 | 49 |
| Anexo 2 | 49 |
| Anexo 3 | 50 |
| Anexo 4 | 51 |