

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S. COMO
AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS

CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ JEREZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2017

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S. COMO
AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS

CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ JEREZ

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Directora
Hebenly Celis Leguizamo
Ingeniero Civil

Tutor
Jaime Suarez Díaz
Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2017

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	12
1. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	14
1.1 DOWN HOLE –PROYECTO MALIBÚ	14
1.1.1 Interpretación y análisis del ensayo Down Hole.....	17
1.1.2 Informe Geotécnico.....	18
1.2 MASW –PROYECTO MENZULY.....	25
1.2.1 Interpretación y análisis del ensayo MASW.....	27
1.2.2 Informe geotécnico.	29
1.3 RE-MI - PROYECTO HOSPITAL Y PUENTE RÍO FRÍO	38
1.3.1 Interpretación y análisis del ReMi.	39
1.3.2 Informe geotécnico.	40
1.5 TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA- PROYECTO SANTA MARÍA DE LOS ANDES	46
1.5.1 Interpretación y análisis.	48
2. CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ensayos geofísicos en los que se participó.	14
Tabla 2. Factor de reducción R para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984).....	24
Tabla 3. Módulos de elasticidad obtenidos del ensayo Down Hole	24
Tabla 4. Coordenadas de la línea MASW	30
Tabla 5. Factor de reducción R para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984).....	36
Tabla 6. Módulos de elasticidad obtenidos de la columna de velocidades A-A' .	36
Tabla 7. Valores de velocidad Vs – Profundidad	40
Tabla 8. Coordenadas de la línea ReMi.....	41
Tabla 9. Valores de velocidad Vs – Profundidad	45
Tabla 10. Coordenadas de la línea de tomografía No.1	56
Tabla 11. Coordenadas de la línea de tomografía No.2	59
Tabla 12. Coordenadas de la línea de tomografía No.3	61

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del proyecto.....	15
Figura 2. Localización del ensayo Down Hole.	15
Figura 3. Velocidad de la onda “P” (V_p) ensayo Down Hole	17
Figura 4. Velocidad de la onda “S” (V_s) ensayo Down Hole	18
Figura 5. Diagrama general del ensayo de Down Hole.....	19
Figura 6. Valores típicos de velocidad de onda de cortante V_s	20
Figura 7. Picado de los arribos de las ondas “P” ensayo Down Hole	22
Figura 8. Picado de los arribos de las ondas “S” ensayo Down Hole	22
Figura 9. Velocidad de la onda “P” (V_p) ensayo Down Hole	23
Figura 10. Velocidad de la onda “S” (V_s) ensayo Down Hole	23
Figura 11. Localización del proyecto.....	25
Figura 12. Arreglo utilizado para el ensayo MASW 2D	26
Figura 13. Perfil seudo-2D del ensayo MASW	27
Figura 14. Columna A-A' de velocidad del subsuelo.....	27
Figura 15. Editado del Mapa Geológico Escala 1:25000 del Estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga.....	28
Figura 16. Interpretación del perfil MASW.	29
Figura 17. Características de las ondas superficiales (R) en relación a la profundidad.....	30
Figura 18. Localización general de la línea MASW.....	31
Figura 19. Valores típicos de velocidad de onda de cortante V_s	31
Figura 20. Curva de dispersión ensayo MASW 1	32
Figura 21. Perfil seudo-2D del ensayo MASW	35
Figura 22. Columna A-A' de velocidad del subsuelo.....	35
Figura 23. Interpretación del perfil MASW.	37
Figura 24. Localización del Proyecto.	38

Figura 25. Arreglo utilizado para el ensayo ReMi.	38
Figura 26. Perfil unidimensional de Vs –Profundidad.	39
Figura 27. Localización general de la línea ReMi.	41
Figura 28. Espectro Velocidad – Frecuencia.	43
Figura 29. Perfil unidimensional inicial de Vs – Profundidad.....	44
Figura 30. Perfil unidimensional de Vs –Profundidad.	45
Figura 31. Localización del Proyecto.	46
Figura 32. Esquema general de la realización del ensayo de Tomografía geoelectrica.....	48
Figura 33. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1.	48
Figura 34. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 2.	49
Figura 35. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 3.	49
Figura 36. Resistividades características de los materiales.....	51
Figura 37. Secuencia de medidas en la tomografía geoelectrica.....	53
Figura 38. Localización general de las tomografías geoelectricas.....	56
Figura 39. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 1.....	57
Figura 40. Localización regional Resistividad real tomografía geoelectrica No. 1.	58
Figura 41. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1.	58
Figura 42. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 2.....	60
Figura 43. Resistividad real tomografía geoelectrica No.....	60
Figura 44. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 2.	61
Figura 45. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 3.....	62
Figura 46. Resistividad real tomografía geoelectrica No. 3.....	62
Figura 47. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 3.	63

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Generación onda P por medio de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.....	16
Fotografía 2. Generación onda S por medio de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.....	16
Fotografía 3. Toma de datos ensayo Down Hole.....	17
Fotografía 4. Equipo de Down Hole.....	20
Fotografía 5. Toma de datos ensayo MASW.....	26
Fotografía 6. Generación de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.	26
Fotografía 7. Equipo de MASW.	33
Fotografía 8. Equipo de ensayo Re-Mi.	41
Fotografía 9. Equipo de tomografía geoelectrica.	51
Fotografía 10. Tomografía geoelectrica 1.....	56
Fotografía 11. Tomografía geoelectrica 2.....	59
Fotografía 12. Tomografía geoelectrica 3.....	61

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA EMPRESA GEOTECNOLOGÍA S.A.S. COMO AUXILIAR DE INGENIERÍA EN LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS GEOFÍSICOS*

AUTOR: CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ JEREZ**

PALABRAS CLAVE: Estudios geotécnicos, Geofísica, MASW, RE-MI, Down Hole, tomografía geoeléctrica.

DESCRIPCIÓN:

En el presente proyecto se exponen las actividades realizadas durante el tiempo de desarrollo del trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial en la empresa Geotecnología S.A.S., desempeñando funciones como auxiliar de ingeniería en la realización de ensayos geofísicos en los diferentes trabajos de consultoría geotécnica realizados por la empresa.

El contenido del proyecto hace mención de los estudios desarrollados en el área metropolitana de Bucaramanga realizados por la empresa Geotecnología S.A.S. en los cuales se participó, enfocándose en describir a detalle 4 proyectos donde se exponen los 4 métodos geofísicos en los que se centra la práctica empresarial. Bajo la supervisión del tutor de la práctica, se ayudó en la realización, procesamiento y análisis de resultados de los métodos de exploración geofísica MASW, RE-MI, Down Hole y tomografía geoeléctrica. Los ensayos MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), ReMi (Refracción Microtremor) y Down Hole son ensayos de onda sísmica, los cuales se basan en la detección de un frente de ondas mecánicas, propagadas a través del subsuelo estudiado y detectadas mediante geófonos con el fin de obtener una aproximación de la estratigrafía del terreno con base en las velocidades de onda medidas. El ensayo de tomografía geoeléctrica es un método de prospección que se enfoca en la existencia de variaciones de la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo, mediante el cual se coloca corriente eléctrica a través del suelo y se realizan mediciones de la resistividad de los materiales del subsuelo para así determinar la distribución estratigráfica de acuerdo a las resistividades de cada material.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas; Escuela de Ingeniería Civil; Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez. Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: BUSINESS INTERNSHIP IN GEOTECNOLOGIA S.A.S. AS ENGINEERING ASSISTANT IN THE CREATION OF GEOPHYSICAL TRIALS

AUTHOR: CARLOS JAVIER RODRÍGUEZ JEREZ**

KEYWORDS: Geotechnical studies, Geophysics, MASW, RE-MI, Down Hole, geoelectric tomography.

DESCRIPTION:

The present project exposes the activities carried out during the development time of the final project for graduation in the company practice modality in the enterprise Geotecnología SAS, performing functions such as engineering assistant in the accomplishment of geophysical tests throughout different geotechnical consultancy works performed by the company.

The content of the project mentions the studies developed in the metropolitan area of Bucaramanga carried out by the company Geotecnología S.A.S., in which part was taken, focusing on describing in detail 4 projects that show the 4 geophysical methods in which the business practice is centered. Under the supervision of the practice tutor, help was provided in the realization, processing, and result analysis of the geophysical exploration methods MASW, RE-MI, Down Hole, and geoelectric tomography. The MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), ReMi (Microtremor Refraction), and Down Hole tests are seismic wave tests, which are based on the detection of a front of mechanical waves, propagated through the subsoil, studied and detected by geophones with the objective of obtaining an approximation of the terrain's stratigraphy based on the measured wave velocities. The geoelectric tomography test is a prospecting method that focuses on the existence of variations of the resistivity of the different subsoil formations, whereby electric current is placed through the soil and measurements of the resistivity of the materials are made of the subsoil to determine the stratigraphic distribution according to the resistivities of each material.

* Work of degree

** Faculty of Engineerings Physicist - Mechanics; School of Civil Engineering; Director: Wilfredo Del Toro Rodríguez.
Engineer Civil

INTRODUCCION

Los estudios de suelos o geotécnicos son el conjunto de actividades que comprenden la investigación del subsuelo, los análisis y recomendaciones de ingeniería realizados al mismo y que son necesarios para el diseño y construcción de cualquier obra de infraestructura.

Parte importante de los estudios geotécnicos es realizar una adecuada caracterización del subsuelo, definiendo sus condiciones físicas y mecánicas para así de esta manera estudiar su posible comportamiento. De acuerdo con esto se han desarrollado novedosas herramientas de ensayos geofísicos los cuales permiten una rápida adquisición de los datos y la posibilidad de trabajar en diferentes tipos de ambientes sin generar ruido excesivo y evitando la destrucción del medio urbano, industrial o ambiental.

Estos métodos han tomado gran importancia en Colombia debido a que permiten clasificar el perfil del suelo según la velocidad de onda Vs como lo presenta la norma NSR-10 y en Bucaramanga ya que por el tipo de suelos que presenta la ciudad en algunas ocasiones se dificulta realizar las exploraciones de campo tradicionales como lo son sondeos SPT, pues no alcanzan grandes profundidades por la presencia de bolos o materiales granulares de gran tamaño y esto hace que en proyectos grandes sea necesario el uso de los métodos geofísicos para conocer el suelo a mayores profundidades.

Geotecnología S.A.S., es una empresa de consultoría geotécnica especializada en estabilidad de taludes y erosión, distinguida por su rigor científico y calidad técnica aplicando tecnologías de última generación. Por ello se ha destacado obteniendo el reconocimiento y la consolidación como empresa líder a nivel nacional en la realización de estudios geotécnicos.

Durante la práctica empresarial en la empresa Geotecnología S.A.S. se participó como auxiliar de ingeniería en la realización de ensayos geofísicos en diferentes proyectos en el área metropolitana de Bucaramanga, siempre bajo la supervisión del ingeniero civil Jaime Suárez como tutor por parte de Geotecnología S.A.S.

1. ACTIVIDADES REALIZADAS

Como auxiliar de ingeniería se tuvo participación en la realización de ensayos geofísicos como son el ensayo Down Hole, MASW, RE-MI y tomografía geoelectrica; así como el procesamiento de datos de los mismos.

Los proyectos en los cuales se realizaron los ensayos geofísicos en los que se tuvo participación son:

Tabla 1. Ensayos geofísicos en los que se participó.

Proyecto	Ensayo geofísico
Puente sobre río de oro – Girón	Down Hole
Malibú - Floridablanca	Down Hole
Menzuly, Vereda Guayanas - Floridablanca	MASW
Hospital y Puente río Frío – Girón	RE-MI
Abadías-Floridablanca	Down Hole
Santa María de los Andes - Bucaramanga	Down Hole Tomografía geoelectricas
Los Coches - Girón	MASW

A continuación, se describe de qué manera se participó en 4 de estos proyectos para así exponer los 4 diferentes ensayos de geofísica en los que se participó.

1.1 DOWN HOLE –PROYECTO MALIBÚ

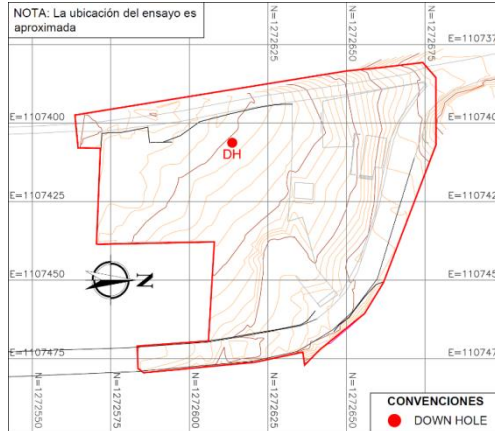
La empresa Geotecnología realizó el estudio geotécnico a un lote de terreno localizado en la calle 200 entre las carreras 13 y 14, en el municipio de Floridablanca, departamento de Santander.

Figura 1. Localización del proyecto.



En este proyecto se realizó un ensayo de onda sísmica tipo Down Hole el cual hace mediciones directas de las velocidades onda de compresión (P) o velocidades de la onda de corte (S), o ambas, en una perforación avanzada a través del suelo o roca.

Figura 2. Localización del ensayo Down Hole.



El ensayo se realizó en un sondeo pre-perforado de 15 metros revestido con un tubo de PVC de 2 pulgadas.

Descripción del ensayo. Para la medición de la onda de compresión (P) se debe generar una onda desde la superficie, produciendo un impacto mecánico con una martillo de 16Lb sobre una platina metálica, ubicada horizontalmente a una

distancia aproximada de 0,5 metros del sitio del sondeo. Estas ondas viajan a través del suelo, siendo detectadas por un geófono triaxial que se introduce en el sondeo, midiendo el tiempo que tarda la onda en el trayecto desde la superficie hasta la profundidad donde se encuentre localizado el geófono.

Fotografía 1. Generación onda P por medio de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.



De igual forma se realiza el ensayo para la medición de la onda de corte o cizalla (S) con la diferencia en que en este caso se realiza un pequeño apique y se pone la platina metálica verticalmente para la generación de esta onda.

Fotografía 2. Generación onda S por medio de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.



Fotografía 3. Toma de datos ensayo Down Hole



1.1.1 Interpretación y análisis del ensayo Down Hole. Después de la realización en campo del ensayo Down Hole se procede a procesar los datos en la oficina, utilizando el software SEISIMAGER se realizó la interpretación de los resultados para obtener los valores de velocidad de onda de cortante Vs.

Figura 3. Velocidad de la onda "P" (Vp) ensayo Down Hole

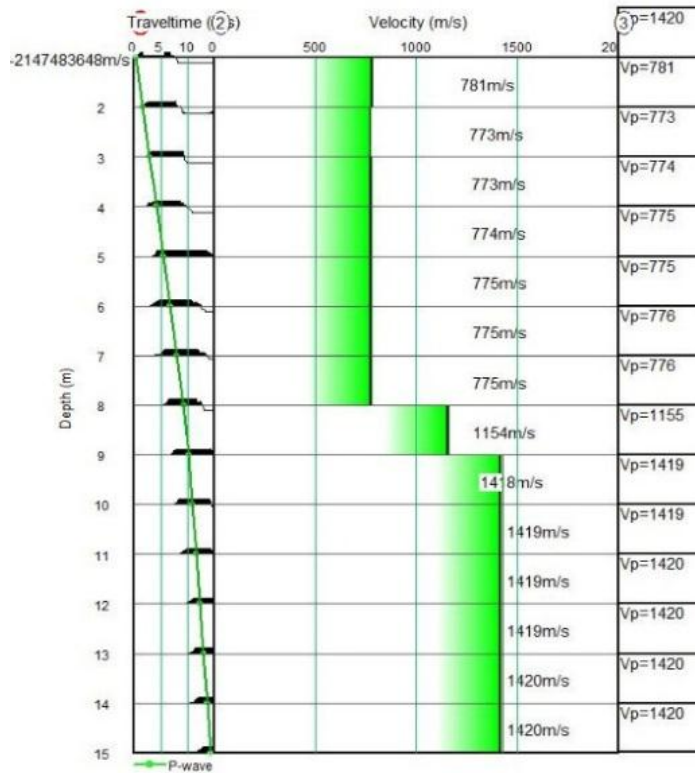
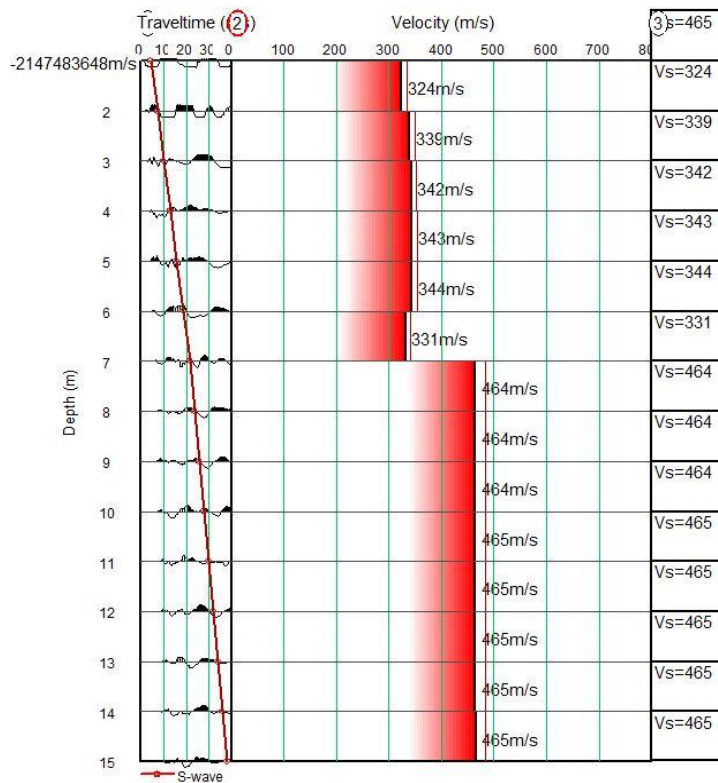


Figura 4. Velocidad de la onda “S” (V_s) ensayo Down Hole



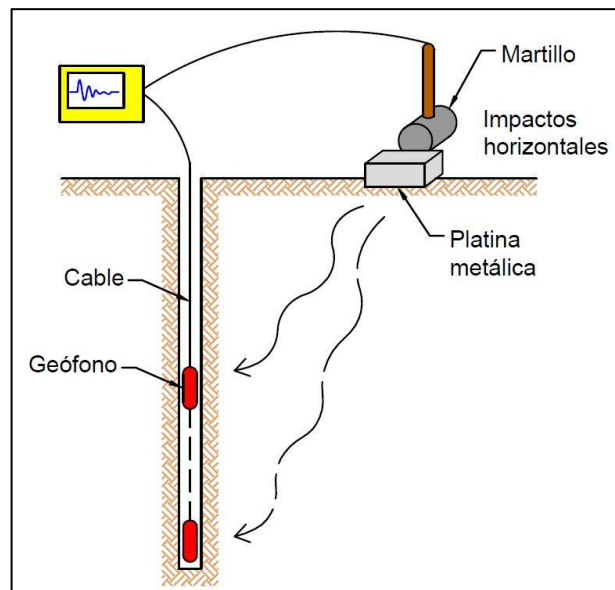
Con los valores de velocidad de onda cortante V_s obtenidos y en compañía del tutor de la práctica se observó que las velocidades promedio de onda “S” a profundidades mayores de 7,0 metros son de 465 m/s, y se esperan velocidades mayores a profundidades mayores de 30 metros, lo cual permite clasificar el suelo como perfil de suelo C.

1.1.2 Informe Geotécnico. Bajo la supervisión del tutor de la práctica y con la asesoría del líder de geofísica de la empresa se participó en la realización del capítulo de exploración geofísica el cual se adjunta en el informe geotécnico.

En este capítulo del informe se sintetizaron las actividades realizadas como auxiliar de geofísica, así como los conocimientos adquiridos durante las capacitaciones:

Ensayo Down Hole. El ensayo Down Hole es un ensayo en el cual una fuente sísmica se utiliza para generar un tren de ondas sísmicas en la superficie del suelo y los receptores posicionados a diferentes profundidades del pozo detectan el tren de ondas sísmicas, midiendo el tiempo de viaje del tren de ondas entre la fuente y el receptor.[1]

Figura 5. Diagrama general del ensayo de Down Hole

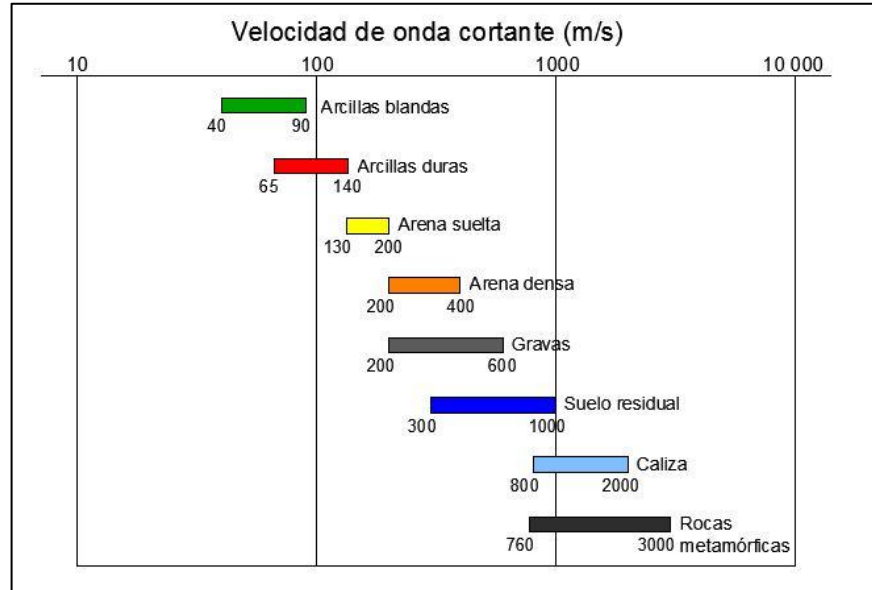


Aplicaciones. El ensayo Down Hole tiene las siguientes aplicaciones:

- Reconocimiento de los contactos entre unidades litológicas reconocidas hasta la profundidad de investigación.
- Determinar con base en las velocidades anteriores el perfil de suelo correspondiente a cada estrato y definir el perfil geotécnico de acuerdo a los requisitos de la NSR-10.
- Evaluación de características geotécnicas de cada unidad geológica e identificación de posibles zonas de falla, de fracturamiento o alteración de rocas, etc.
- Definir los parámetros del suelo para los análisis de cimientos de equipos vibratorios.

- Determinar los tiempos de arribo y velocidades de propagación de la onda de corte (V_s) y la onda de compresión (V_p) a lo largo del perfil de suelo.[1]

Figura 6. Valores típicos de velocidad de onda de cortante V_s



Equipo. Para la ejecución del ensayo Down Hole se utilizó un equipo GEODE de 24 canales de GEOMETRICS INC y el Borehole Geophone Controller de GEOSTUFF.

Fotografía 4. Equipo de Down Hole.



Procedimiento del ensayo. El procedimiento general del ensayo se resume en los siguientes pasos:

- Revestimiento de la perforación.
- Revisión del estado de la perforación.
- Localización de las platinas a una distancia aproximada a 50 centímetros del sitio de la perforación.
- Instalación del equipo para medición.
- Colocación de la sonda dentro de la perforación en la profundidad inicial (0 metros).
- Generación de 5 impactos en cada platina utilizando el martillo de 16Lb.
- Desplazamiento de la sonda según el intervalo de medición deseado y generación de cinco golpes en cada platina hasta alcanzar el máximo nivel de profundidad del pozo.

Resultados del ensayo Down Hole. El ensayo Down Hole se realizó en el sitio del sondeo, hasta alcanzar los 15,0 metros de profundidad.

Los tiempos de llegada de las ondas a diferentes profundidades fueron registrados por el geófono triaxial, con esta información se puede realizar el picado de las llegadas de las ondas compresionales y de cizalla.

En la siguiente figura se muestran los arribos de las ondas “P” y “S”, obtenidos en el programa Pickwin (Pick first break or dispersion curves).

Figura 7. Picado de los arribos de las ondas “P” ensayo Down Hole

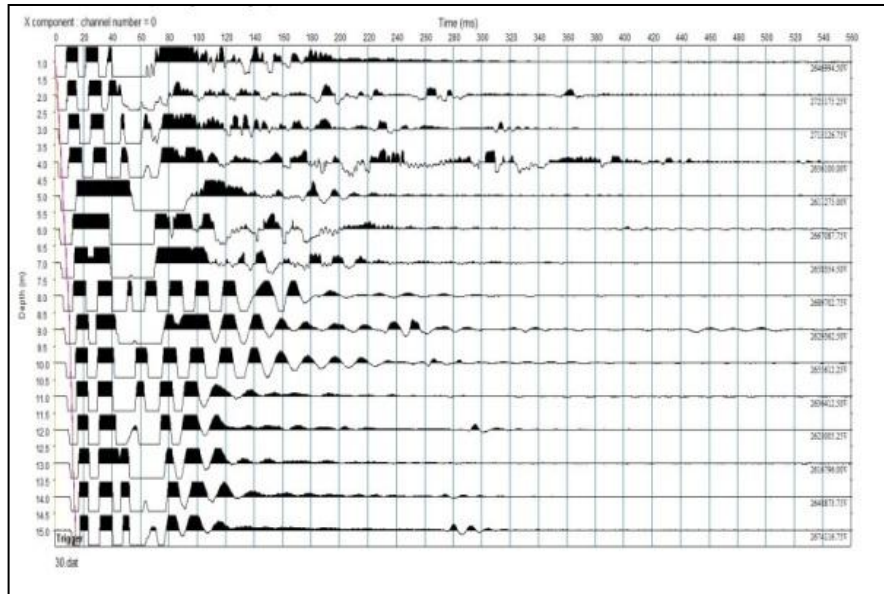
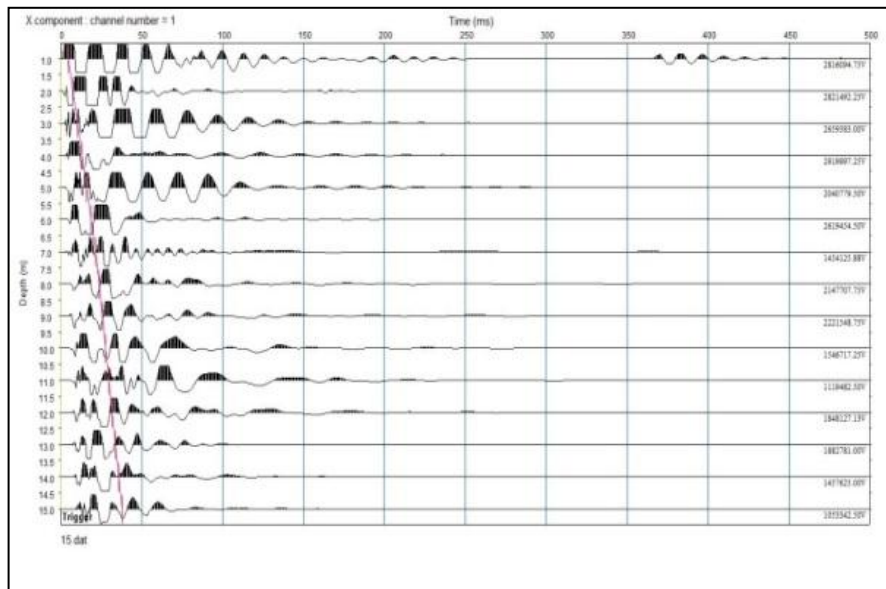


Figura 8. Picado de los arribos de las ondas “S” ensayo Down Hole



A partir de estos tiempos de llegada, el software PsLog (Downhole Sismic) procesa los datos obtenidos en campo, para analizar la velocidad de onda en cada uno de los estratos de suelo que puedan ser encontrados en el sitio de estudio, como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 9. Velocidad de la onda "P" (Vp) ensayo Down Hole

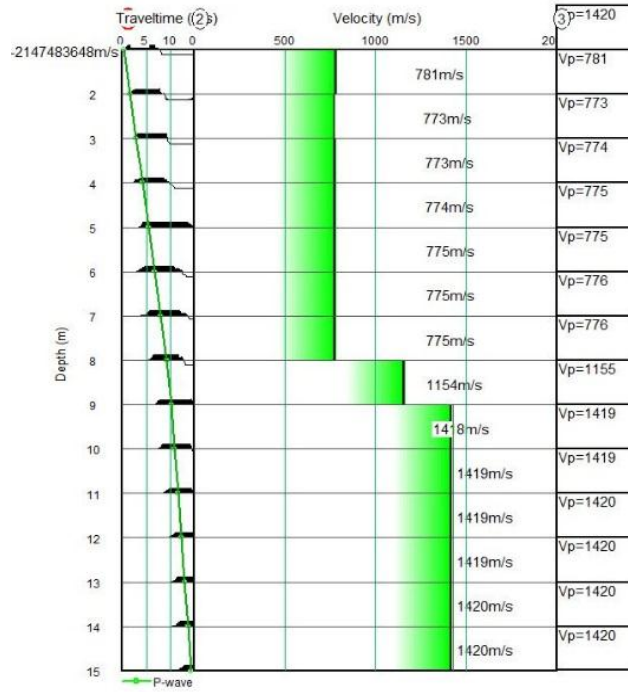
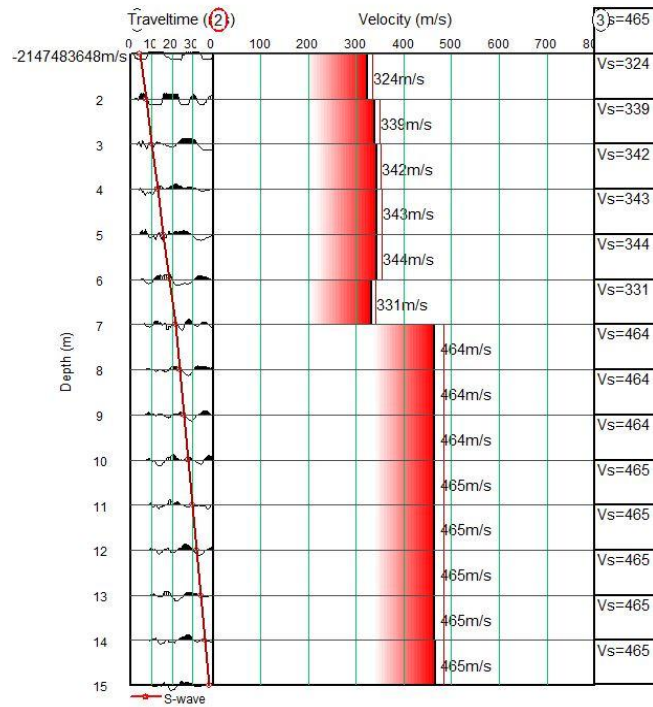


Figura 10. Velocidad de la onda "S" (Vs) ensayo Down Hole



Con el valor de velocidad de onda cortante V_s es posible aproximar el módulo cortante G y el módulo de elasticidad E del suelo mediante fórmulas empíricas.

Módulo cortante:

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Módulo cortante para grandes deformaciones:

$$G_{stat} = R G_{max}$$

Tabla 2. Factor de reducción R para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984)

Tipo de Suelo	Factor de Reducción, R
Grava	0,20
Grava Arenosa	0,19
Arena Suelta	0,18
Arena media densa	0,15
Arena densa	0,12

Módulo de elasticidad:

$$E_{stat} = 2(1+\nu)G_{stat}$$

Para una relación de Poisson $\nu = 0.3$:

$$E_{stat} = 2,6G_{stat}$$

A continuación, se muestra el cálculo de módulo de elasticidad con las velocidades de onda obtenidas del ensayo Down Hole realizado en el sondeo 4

Tabla 3. Módulos de elasticidad obtenidos del ensayo Down Hole

Prof. (m)	V_s (m/s)	Densidad (KN/m ³)	G_{max} (Mpa)	G_{stat} (Mpa)	E (Mpa)
2	324	17.86	187.49	28.12	73.12
3	339	17.86	205.25	30.79	80.05
4	342	17.86	208.90	31.33	81.47
5	343	17.86	210.12	31.52	81.95
6	344	17.86	211.35	31.70	82.43
7	331	17.86	195.68	29.35	76.31
8	464	18.44	397.01	59.55	154.83
9	464	18.44	397.01	59.55	154.83

Prof. (m)	Vs (m/s)	Densidad (KN/m3)	Gmax (Mpa)	Gstat (Mpa)	E (Mpa)
10	464	18.44	397.01	59.55	154.83
11	465	18.44	398.72	59.81	155.50
12	465	18.44	398.72	59.81	155.50
13	465	18.44	398.72	59.81	155.50
14	465	19.10	412.99	61.95	161.07
15	465	19.10	412.99	61.95	161.07

Conclusiones del ensayo de onda sísmica

- La velocidad se encuentra entre $760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$ por lo cual se concluye que en el perfil de suelo para el sitio donde se realizó la medición según la NSR-10, es perfil **C**.

1.2 MASW –PROYECTO MENZULY

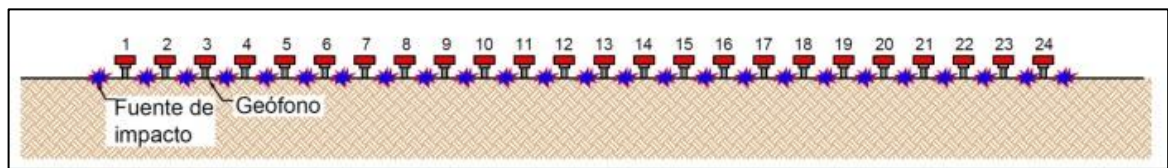
La empresa Geotecnología realizó el estudio geotécnico del lote para el proyecto Menzuly, el cual se encuentra localizado en la vereda Guayanas del municipio de Floridablanca en el departamento de Santander.

Figura 11. Localización del proyecto.



Descripción del ensayo. Se realizó 1 ensayo MASW de 172,50 metros de longitud utilizando un arreglo lineal de separaciones uniformes entre geófonos y generando ondas mecánicas en diferentes posiciones a lo largo del trazado de la línea sísmica, con el objeto de determinar los perfiles 2-D de onda cortante (S) en el suelo. Para la ejecución de los ensayos MASW se utilizó un equipo Geode de 24 canales de GEOMETRICS Inc. con 24 geófonos.

Figura 12. Arreglo utilizado para el ensayo MASW 2D



Fotografía 5. Toma de datos ensayo MASW.



Fotografía 6. Generación de impacto mecánico con martillo de 16 Lb.



1.2.1 Interpretación y análisis del ensayo MASW. Después de la realización del ensayo MASW se procesan los datos en la oficina, utilizando el software SEISIMAGER 2D se realiza la inversión de la dispersión para obtener el modelo de velocidad de onda de cortante. Con el perfil de onda de corte Vs se determina el perfil de suelo para diseño sismo resistente.

Figura 13. Perfil pseudo-2D del ensayo MASW

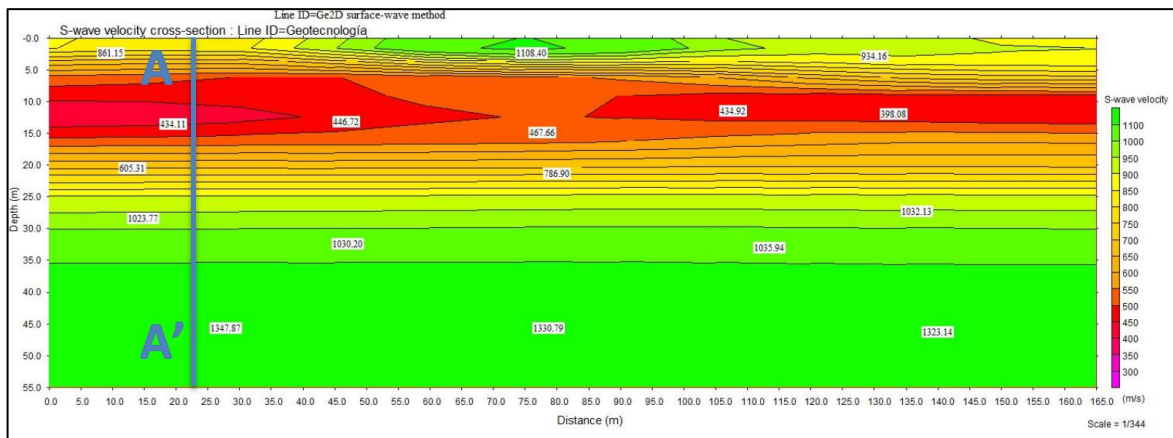
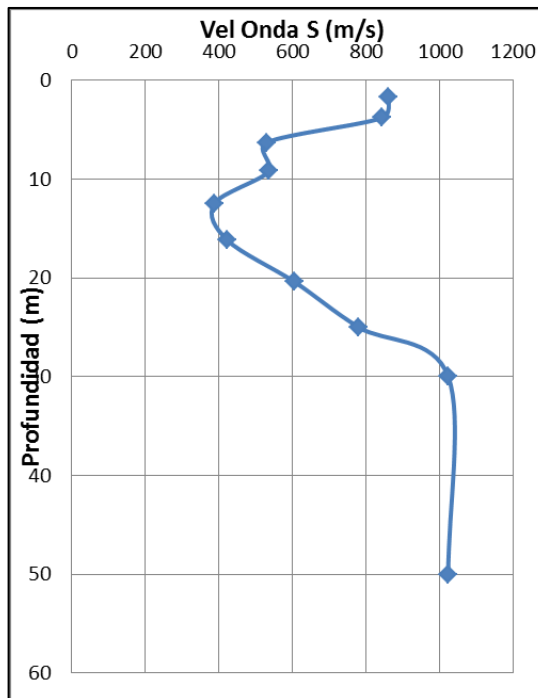


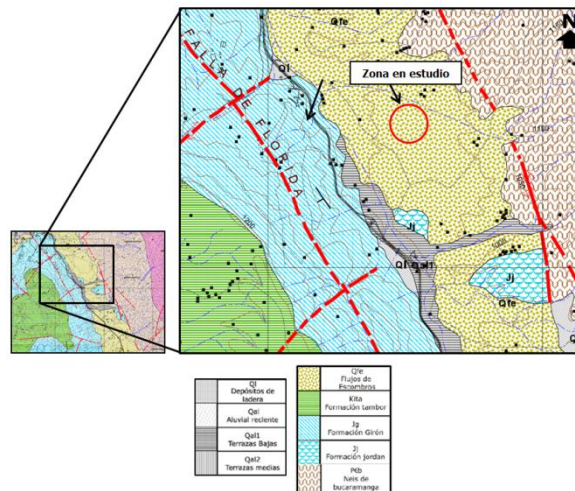
Figura 14. Columna A-A' de velocidad del subsuelo



Con los valores de velocidad de onda cortante V_s obtenidos y en compañía del tutor de la práctica se observan velocidades promedio de onda “S” entre 360 m/s y 760 m/s hasta los 30 metros, lo cual permite clasificar el suelo como perfil de suelo C.

De acuerdo al plano geológico y a las visitas de campo realizadas a la zona del lote en estudio se tiene que afloran suelos de un depósito coluvial (Qc) al cual le infrayacen suelos de Flujos de escombros (Qfe).

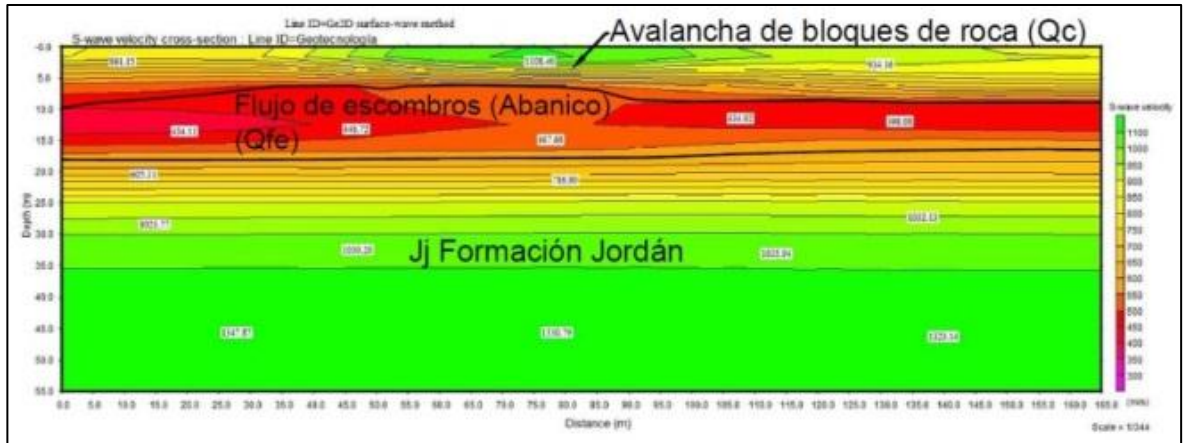
Figura 15. Editado del Mapa Geológico Escala 1:25000 del Estudio de Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga.



Con base en esta geología local podemos identificar tres mantos en el perfil MASW obtenido:

- 0,0 a 5,0 metros bloques de rocas ígneas y metamórficas de gran tamaño en matriz de arenas (Qc).
- 5,0 a 15,0 metros Flujos de escombros y Abanicos aluviales compuestos por arenas arcillosas con bloques (Qfe).
- Más de 15,0 metros suelos residuales y rocas de la Formación Jordán (Jj) la cual aflora en la zona de Floridablanca.

Figura 16. Interpretación del perfil MASW.



1.2.2 Informe geotécnico. Bajo la supervisión del tutor de la práctica y con la asesoría del líder de geofísica de la empresa se participó en la realización del capítulo de exploración geofísica el cual se adjunta en el informe geotécnico.

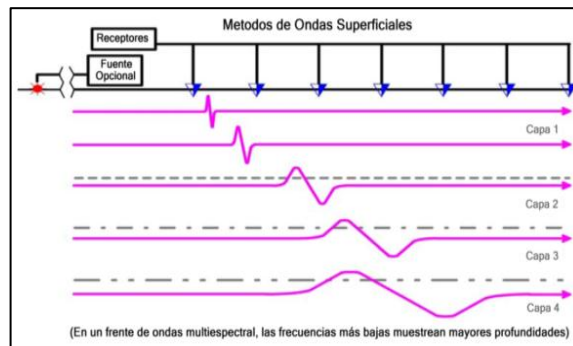
En este capítulo del informe se sintetizaron las actividades realizadas como auxiliar de geofísica así como los conocimientos adquiridos durante las capacitaciones:

Descripción del ensayo MASW. El ensayo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consiste en generar una onda mecánica (R) a partir del impacto de una porra de 16 Lb sobre una platina metálica.

El concepto técnico que se utiliza para la interpretación del ensayo se relaciona con el hecho de que las ondas superficiales disminuyen exponencialmente en amplitud con la profundidad y son dispersivas, es decir, que las componentes de diferentes frecuencias viajan a diferentes velocidades.

Al profundizarse la amplitud es menor, la longitud de onda es mayor y la Velocidad aumenta [2].

Figura 17. Características de las ondas superficiales (R) en relación a la profundidad.



Las ondas Rayleigh tienen una velocidad muy cercana a las de la onda "S" su velocidad es aproximadamente 9/10 de la velocidad de la onda de corte [3].

La dispersión de las ondas (R) permite obtener el perfil sísmico del suelo teniendo en cuenta que las ondas con mayor longitud de onda penetran más profundamente en el suelo y poseen velocidades mayores. [2]

Las velocidades y longitudes de onda se obtienen midiendo los tiempos de recorrido a determinadas frecuencias utilizando el sismógrafo. Se obtienen de esta forma las curvas Vs – Frecuencia o curvas de dispersión.

A cada velocidad se les asigna una profundidad realizando una inversión completa utilizando el Software SEISIMAGER.

El ensayo realizado tiene una longitud de 172,50 de separaciones uniformes de 7,5 m entre geófonos.

Tabla 4. Coordenadas de la línea MASW

Geófono	Este	Norte
1	1'111.192,11	1'271.043,94
24	1'111.026,51	1'271.092,32

Figura 18. Localización general de la línea MASW

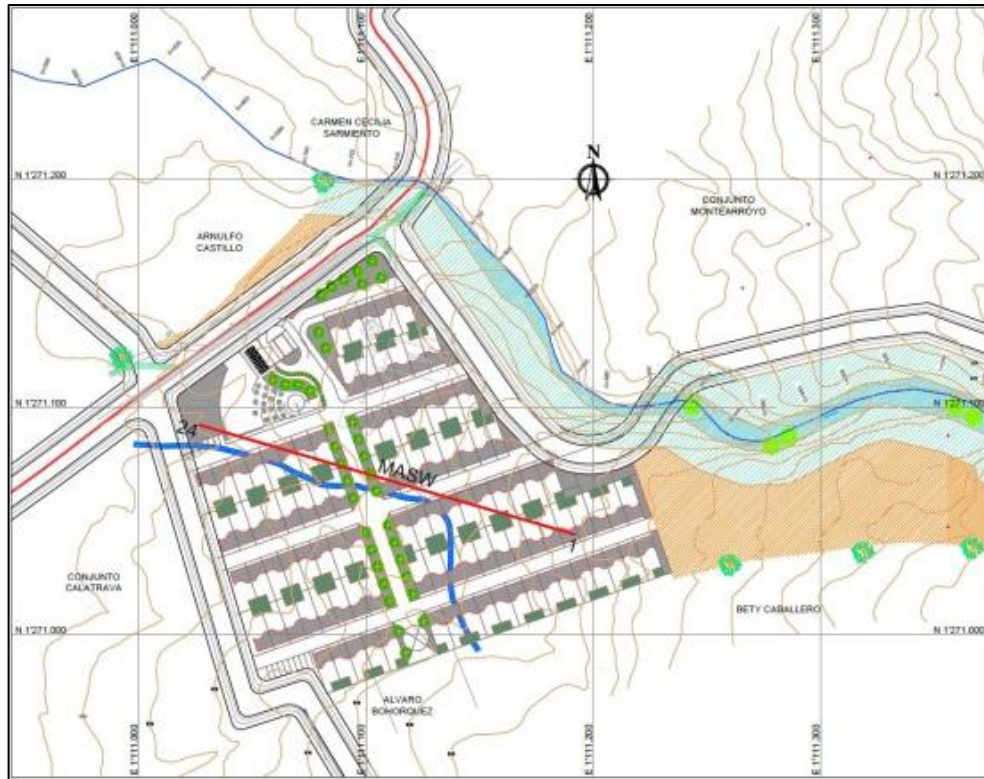
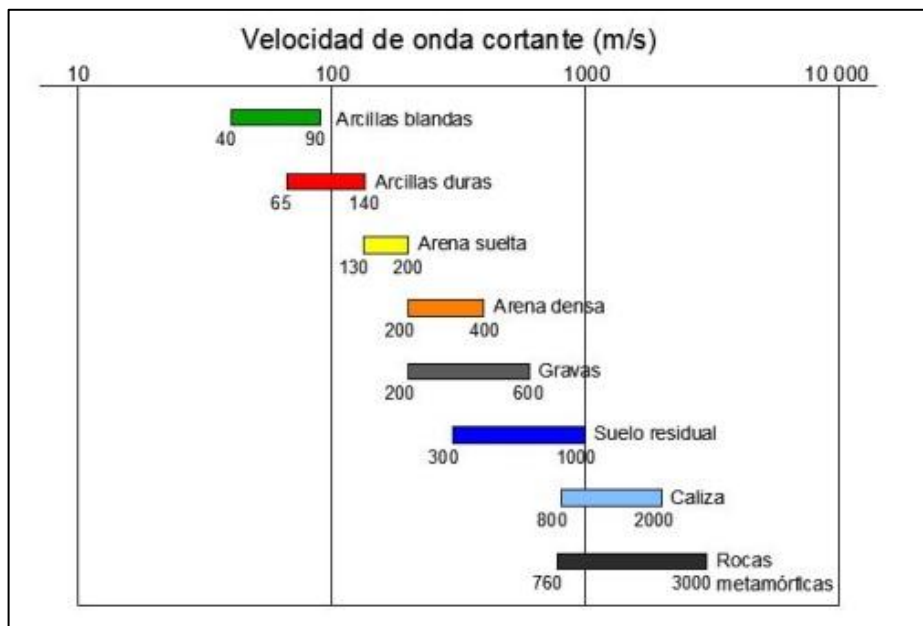
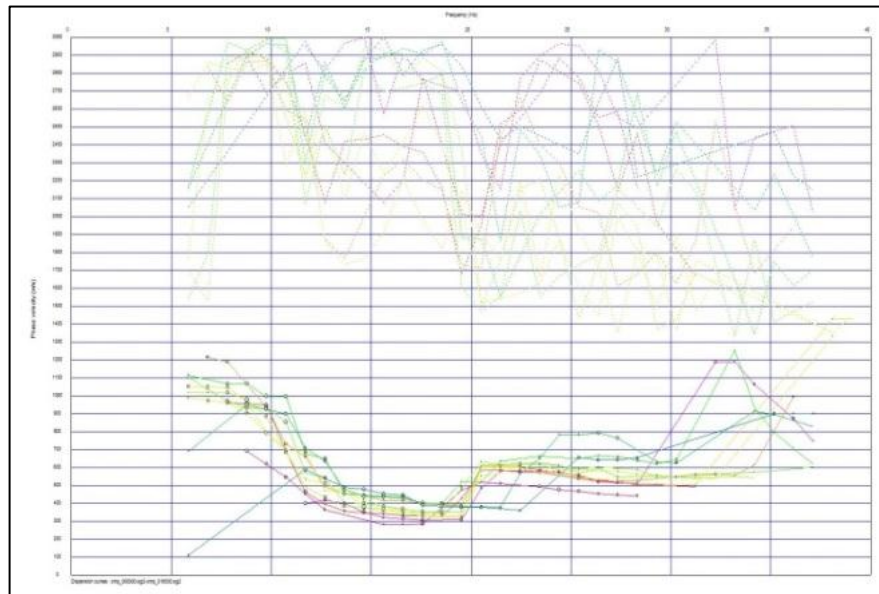


Figura 19. Valores típicos de velocidad de onda de cortante V_s



Una vez realizados los ensayos se genera un espectro de frecuencia contra tardanza (Inverso de la velocidad) el cual se llama espectro p-f. En este espectro, utilizando el software WaveEq (Surface Wave Analysis) se detecta el primer modo de vibración de las ondas Rayleigh. Una vez se detecta el espectro p-f se elabora la gráfica de periodos contra velocidad de fase de onda Rayleigh y finalmente mediante un modelo de optimización se calcula la curva de dispersión del perfil del suelo.

Figura 20. Curva de dispersión ensayo MASW 1



Aplicaciones. El ensayo MASW realizado tiene las siguientes aplicaciones:

- Determinar los perfiles de suelo por correlación con los valores de la velocidad de ondas superficiales.
- Detectar la presencia de mantos de suelos duros o blandos en el perfil estratigráfico.
- Definir los parámetros del suelo para los análisis de cimentos de equipos vibratorios.
- Proporcionar un medio de mapeo de las variaciones laterales y verticales de una o más propiedades [4]

Equipo utilizado para realizar el ensayo MASW. Para realizar el ensayo MASW se utilizó el equipo GEODE de 24 canales – GEOMETRICS INC. Con 24 geófonos de 4,5 MHz, de propiedad de Geotecnología S.A.S.

Una vez tomados los datos se utilizó el software Pickwin versión 4.4.1.0 y Wave Eq versión 2.5.1.5 para su procesamiento y posterior interpretación.

Fotografía 7. Equipo de MASW.



Procedimiento para la realización del ensayo MASW. El procedimiento general del ensayo se resume en los siguientes pasos:

- Definición del punto de inicio de la línea. Consiste en identificar un punto con la ayuda de un plano topográfico, o por medio de inspección visual, que sirva como punto de partida para trazar la línea de forma que ocupe el área a explorar.
- Limpieza de la línea y fijación de las estacas generales o banderolas. Desde un punto de partida fijo de inicio, comenzar a dar línea con la ayuda del equipo topográfico, nivel de precisión o nivel de mano y estacas, e ir despejando el área de trabajo.
- Medición de la línea. Desde el punto de partida extender la cinta métrica a lo largo de la línea de trabajo marcada.

- Definición de longitud de la línea. Previo al tendido de la cinta métrica se puede establecer la longitud de la línea, es importante corroborar que la cinta este totalmente sobre la superficie del suelo ya que es posible que se presenten puentes que alteran la medición real.
- Definición de espaciamiento de geófonos. En este paso se tiene en cuenta que tenemos 2 cables de 12 conexiones cada uno tiene marcaciones numéricas que indican el orden de la conexión de cada geófono, para definir la separación es importante tratar de no proponer líneas que den separaciones con decimales debido a que la precisión para ubicarlos puede ser menor.
- Colocación de geófonos de 4.5 MHz de acuerdo a las separaciones establecidas previamente. En cada uno de los geófonos se ubica una tabla de marcación que sirve como referencia para identificar el número del receptor.
- Elaboración de listado de geófonos. En este listado se registra el número del geófono y la separación entre estos, con el fin de tener clara la posición inicial en caso de que deban ser desplazados.
- Colocación de los cables y conexión de los geófonos. Se extienden los cables sobre las líneas de trabajo teniendo en cuenta que se extiendan a un solo costado de la línea.
- Adecuación del sitio de trabajo haciendo las respectivas conexiones del Sismógrafo (Geode) y computador portátil para el ensayo.
- Encendido del equipo con la caja de sincronización Geode-Computador portátil.
- Inicio del programa Seismodule Controller.
- Configuración del software de acuerdo a las características del ensayo y tipo de arreglo utilizado.
- Generación de 5 impactos mecánicos utilizando un martillo de 16Lb en las posiciones establecidas.
- Revisión de datos registrados en el computador.

Resultados del ensayo MASW. Utilizando el software SEISIMAGER 2D se realiza la inversión de la dispersión para obtener el modelo de velocidad de onda de cortante. Con el perfil de onda de corte Vs se determina el perfil de suelo para diseño sismo resistente.

Figura 21. Perfil pseudo-2D del ensayo MASW

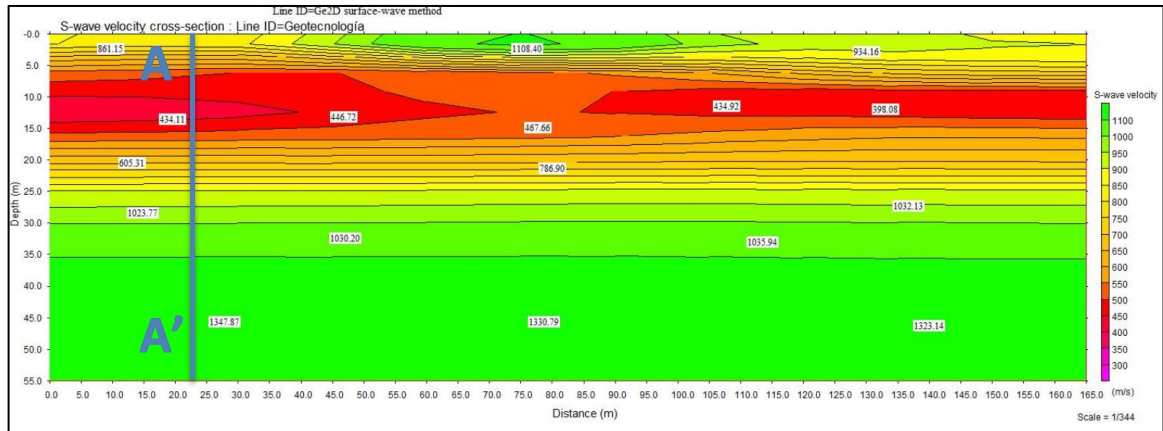
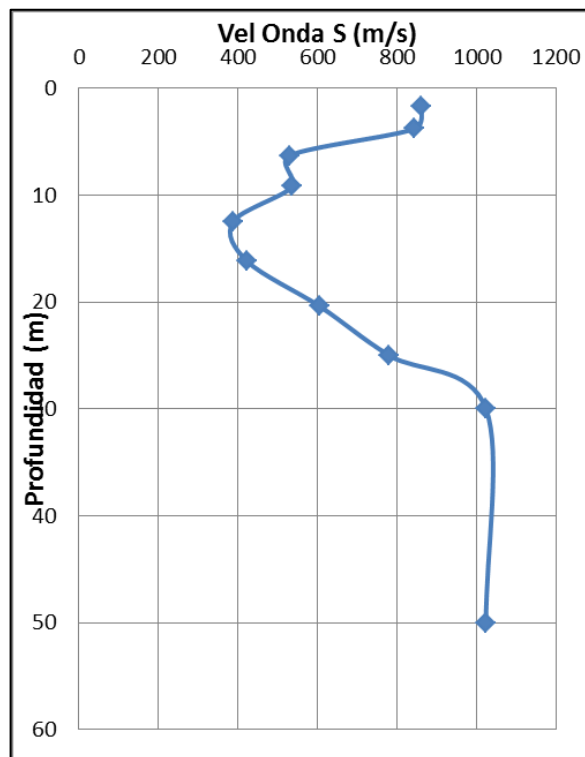


Figura 22. Columna A-A' de velocidad del subsuelo



Con el valor de velocidad de onda cortante V_s es posible aproximar el módulo cortante G y el módulo de elasticidad E del suelo mediante fórmulas empíricas.

Módulo cortante:

$$G_{max} = \rho V_s^2$$

Módulo cortante para grandes deformaciones:

$$G_{stat} = R G_{max}$$

Tabla 5. Factor de reducción R para la determinación del módulo cortante estático (Massarsch 1984)

Tipo de Suelo	Factor de Reducción, R
Grava	0,20
Grava Arenosa	0,19
Arena Suelta	0,18
Arena media densa	0,15
Arena densa	0,12

Módulo de elasticidad:

$$E_{stat} = 2(1+\mu)G_{stat}$$

Para una relación de Poisson $\mu = 0.3$:

$$E_{stat} = 2,6G_{stat}$$

A continuación, se muestra el cálculo de módulo de elasticidad con las velocidades de onda obtenidas del ensayo MASW.

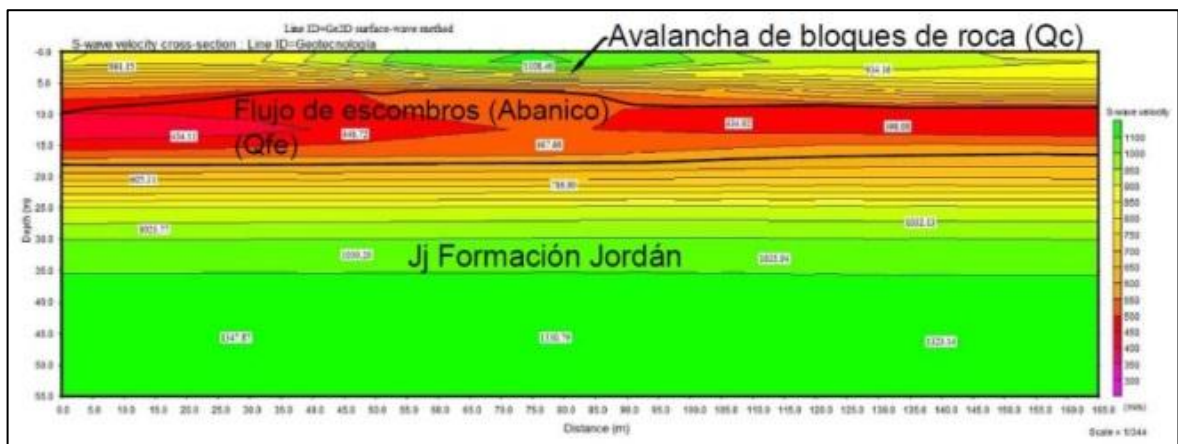
Tabla 6. Módulos de elasticidad obtenidos de la columna de velocidades A-A'

Prof (m)	V_s (m/s)	Densidad (KN/m ³)	G_{max} (Mpa)	G_{stat} (Mpa)	E (Mpa)
1,7	861	18,3	1356,62	203,49	529,08
3,8	843	17,86	1269,22	190,38	495,00
6,3	530	17,86	501,69	75,25	195,66
9,2	536	17,86	513,11	76,97	200,11
12,5	387	17,86	267,49	40,12	104,32
16,2	423	17,86	319,57	47,94	124,63
20,4	605	18,44	674,95	101,24	263,23
25	780	18,44	112,89	168,28	437,54
30	1023	18,44	1929,80	289,47	752,62
50	1023	18,44	1929,80	289,47	752,62

De acuerdo a los resultados obtenidos se observan tres mantos en el perfil MASW obtenido:

- 0,0 a 5,0 metros bloques de rocas ígneas y metamórficas de gran tamaño en matriz de arenas (Qc).
- 5,0 a 15,0 metros Flujos de escombros y abanicos aluviales compuestos por arenas arcillosas con bloques (Qfe).
- Más de 15,0 metros suelos residuales y rocas de la Formación Jordán (Jj) la cual aflora en la zona de Floridablanca.

Figura 23. Interpretación del perfil MASW.



Conclusiones del ensayo MASW

- La totalidad de los valores obtenidos de velocidad de onda cortante vs en los ensayos MASW son superiores a 360 m/s, lo cual equivale a que la totalidad de los perfiles de suelo ensayados, corresponden a materiales densos a muy densos (Perfil tipo **C**).
- Se observan altas velocidades de onda cortante Vs hasta los 5,0 metros aproximadamente, los cuales corresponden a bloques de roca depositados, seguido a estos se encuentran niveles de materiales blandos con relación a los materiales encontrados, hasta los 15,0 metros aproximadamente,

posteriormente un suelo firme correspondiente a suelos residuales y seguido de estos se encuentra la roca.

1.3 RE-MI - PROYECTO HOSPITAL Y PUENTE RÍO FRÍO

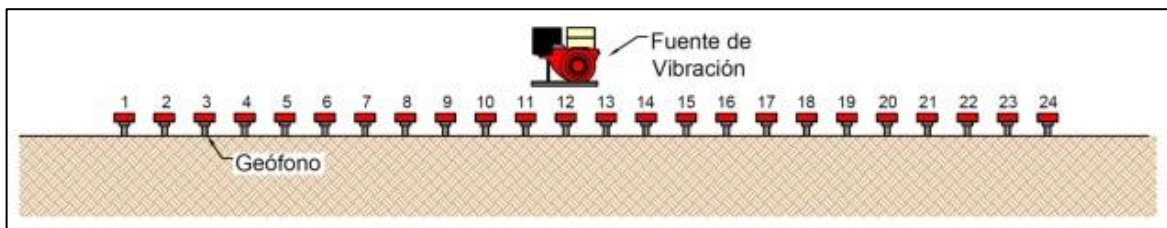
La empresa realizó el estudio geotécnico preliminar de un lote ubicado sobre el margen derecho del Río Frío al sur de la urbanización San Jorge 2, en el municipio de Girón del departamento de Santander.

Figura 24. Localización del Proyecto.



Se realizó un ensayo de Refracción Microtemor (ReMi) para determinar la velocidad de onda de cortante.

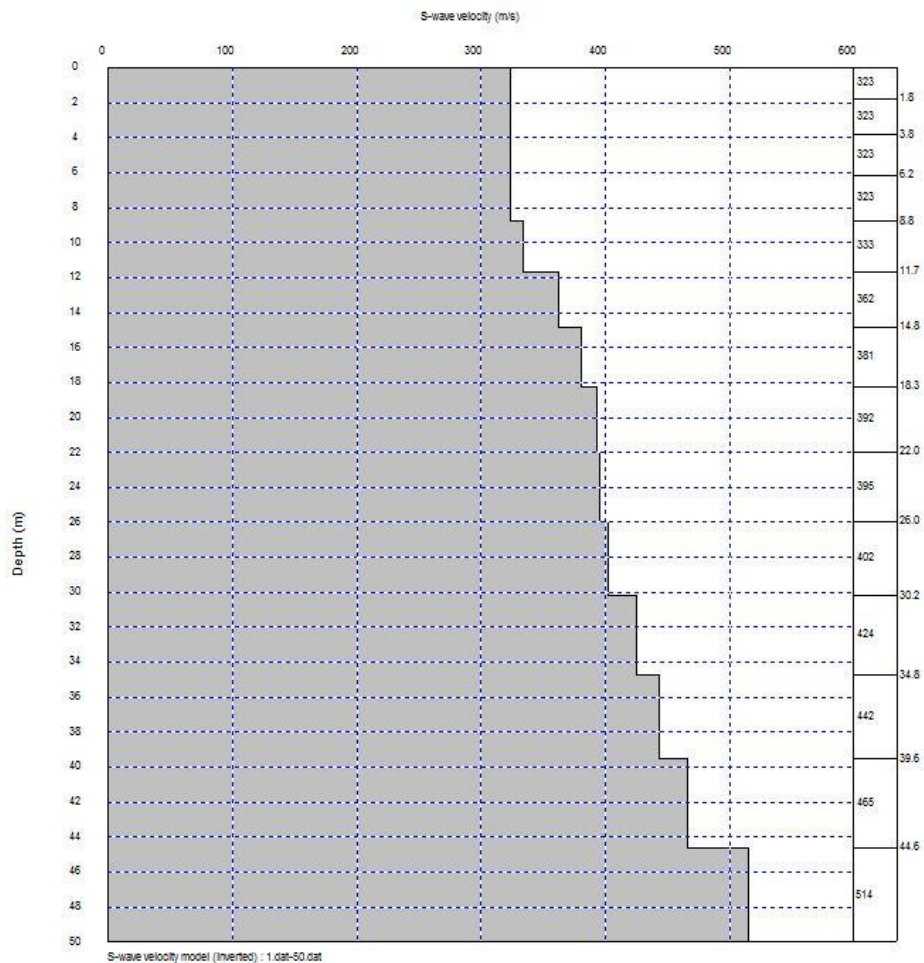
Figura 25. Arreglo utilizado para el ensayo ReMi.



Descripción del ensayo. El Método de Refracción Microtremor (ReMi) es un método para mediciones in situ de perfiles de velocidad de ondas de corte Vs usando registros de ruido ambiental. Pudiéndose generar un perfil del subsuelo 1-D basándose en la velocidad con la profundidad.

1.3.1 Interpretación y análisis del ReMi. A continuación, se muestra el resultado del perfil de Velocidad de onda de corte.

Figura 26. Perfil unidimensional de Vs –Profundidad.



Valores de velocidad de onda cortante en profundidad

Para el ensayo ReMi las velocidades Vs varían en la siguiente forma:

Tabla 7. Valores de velocidad Vs – Profundidad

Profundidad (m)		Vs (m/s)
Desde	hasta	
0.0	1.8	323
1.8	3.8	323
3.8	6.2	323
6.2	8.8	323
8.8	11.7	333
11.7	14.8	362
14.8	18.3	381
18.3	22.0	392
22.0	26.0	395
26.0	30.2	402
30.2	34.8	424
34.8	39.6	442
39.6	44.6	465
44.6	50.0	514

La velocidad promedio Vs hasta 30 metros de profundidad es de 363,66 m/s. Este valor se encuentra entre 360 m/s y 760 m/s por lo tanto el perfil de suelo para diseño sismo resistente es **C**; sin embargo, los valores de Vs son muy cercanos al límite inferior del perfil C y es posible que en un estudio detallado el perfil de suelo se clasifique como D.

1.3.2 Informe geotécnico. Bajo la supervisión del tutor de la práctica y con la asesoría del líder de geofísica de la empresa se participó en la realización del capítulo de exploración geofísica el cual se adjunta en el informe geotécnico.

En este capítulo del informe se sintetizaron las actividades realizadas como auxiliar de geofísica así como los conocimientos adquiridos durante las capacitaciones:

Descripción del ensayo ReMi. Se realizó un ensayo de Refracción Microtemor (ReMi) para determinar la velocidad de onda cortante. En el cual se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 184 metros, conformado por 24 geófonos espaciados uniformemente cada 8,0 metros.

Tabla 8. Coordenadas de la línea ReMi.

Geófono	Este	Norte
1	1'100.940,672	1'272.767,418
24	1'101.123,101	1'272.743,430

Figura 27. Localización general de la línea ReMi.



Equipo utilizado para realizar el ensayo ReMi. Para realizar el ensayo ReMi se utilizó el equipo GEODE de 24 canales – GEOMETRICS INC. Con 24 geófonos de 4,5 MHz, de propiedad de Geotecnología S.A.S.

Una vez tomados los datos se utilizó el software Pickwin versión 4.4.1.0 y Wave Eq versión 2.5.1.5 para su procesamiento y posterior interpretación.

Fotografía 8. Equipo de ensayo Re-Mi.



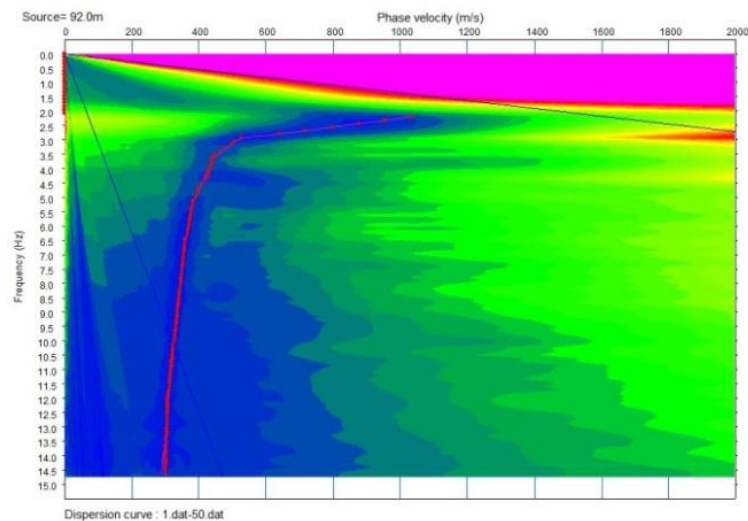
Procedimiento para la realización del ensayo ReMi

- Definición del punto de inicio de la línea. Consiste en identificar un punto con la ayuda de un plano topográfico, o por medio de inspección visual, que sirva como punto de partida para trazar la línea de forma que ocupe el área a explorar.
- Limpieza de la línea y fijación de las estacas generales o banderolas. Desde un punto de partida fijo de inicio, comenzar a dar línea con la ayuda del equipo topográfico, nivel de precisión o nivel de mano y estacas, e ir despejando el área de trabajo de la vegetación.
- Medición de la línea. Desde el punto de partida extender la cinta métrica a lo largo de la línea de trabajo marcada.
- Definición de longitud de la línea. Previo al tendido de la cinta métrica se puede establecer la longitud de la línea, es importante corroborar que la cinta este totalmente sobre la superficie del suelo ya que es posible que se presenten puentes que alteran la medición real.
- Definición de espaciamiento de geófonos. En este paso se tiene en cuenta que tenemos 2 cables de 12 conexiones cada uno tiene marcaciones numéricas que indican el orden de la conexión de cada geófono, para definir la separación es importante tratar de no proponer líneas que den separaciones con decimales debido a que la precisión para ubicarlos puede ser menor.
- Colocación de geófonos de 4.5 MHz de acuerdo a las separaciones establecidas previamente. En cada uno de los geófonos se ubica una tabla de marcación que sirve como referencia para identificar el número del receptor.
- Elaboración de listado de geófonos. En este listado se registra el número del geófono y la separación entre estos, con el fin de tener clara la posición inicial en caso de que deban ser desplazados.
- Colocación de los cables y conexión de los geófonos. Se extienden los cables sobre las líneas de trabajo teniendo en cuenta que se extiendan a un solo costado de la línea.

- Adecuación del sitio de trabajo haciendo las respectivas conexiones del Sismógrafo (Geode) y computador portátil para el ensayo.
- Encendido del equipo con la caja de sincronización Geode-Computador portátil.
- Inicio del programa Seismodule Controller.
- Configuración del software de acuerdo a las características del ensayo y tipo de arreglo utilizado.
- Adquisición de datos manualmente en el programa Seismodule Controller.
- Revisión de datos registrados en el computador.

Resultados del ensayo ReMi. Una vez realizado el registro en campo, el primer paso del análisis ReMi consiste en generar un espectro de energía de componentes del movimiento en función de frecuencias contra tardanzas (inverso de la velocidad), llamado espectro profundidad frecuencia. En este espectro p-f se detecta con facilidad el primer modo de vibración de las ondas Rayleigh, que es un trazo que va de la esquina superior izquierda hacia la inferior derecha, y se escogen manualmente puntos de dispersión en la frontera inferior, que sirven para el posterior proceso de inversión. A continuación, se muestra el resultado del espectro:

Figura 28. Espectro Velocidad – Frecuencia.

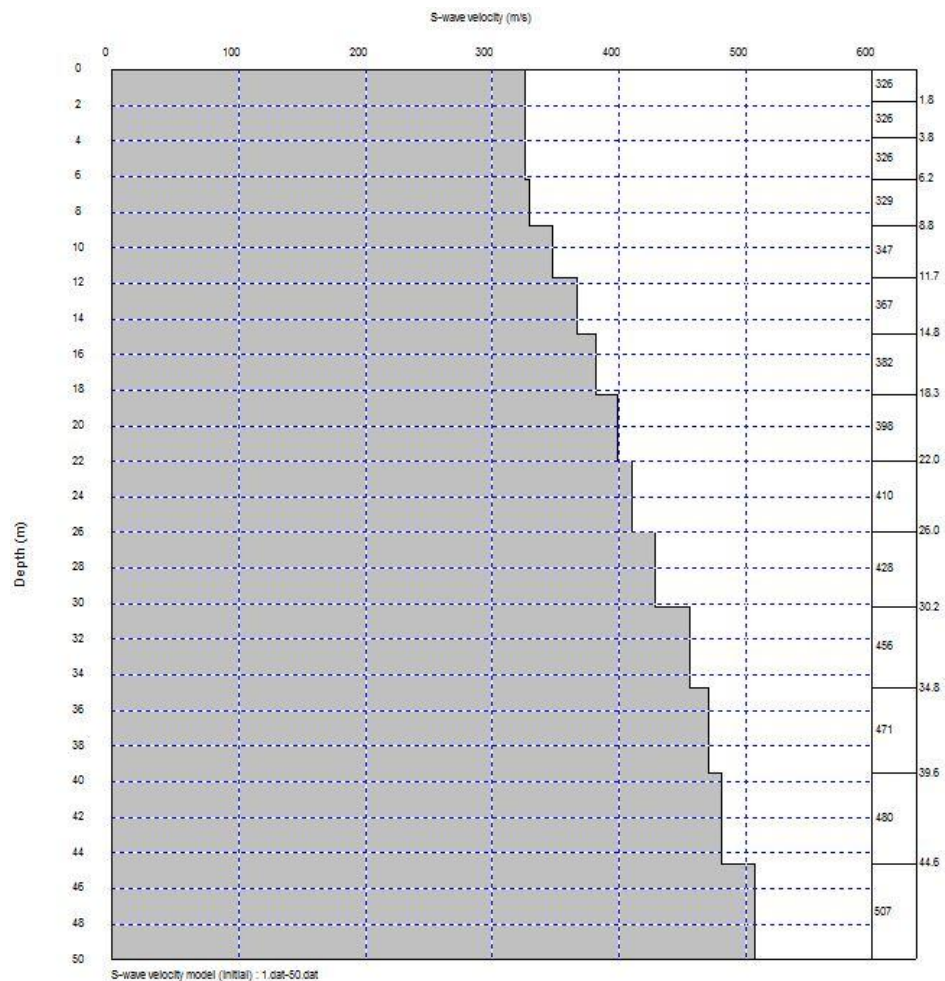


Perfil unidimensional de velocidad de onda de corte y profundidad.

Finalmente, mediante un modelo de optimización no lineal o interactivo, se calcula la curva de dispersión de un perfil dado de suelos, la cual se compara con la curva medida período-velocidad de fase de onda Rayleigh. Se realiza un procedimiento iterativo hasta que la curva medida y calculada coincidan, y para esta condición se establecen los espesores de los diferentes estratos y la velocidad de onda de corte (V_s).

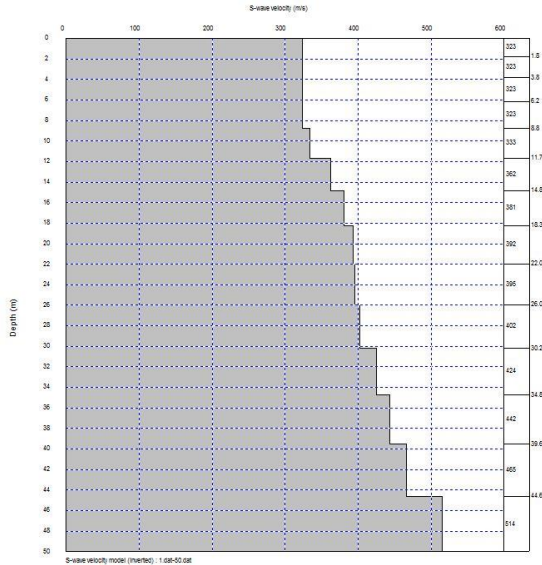
A continuación, se muestra el modelo inicial de velocidad de onda de onda de corte.

Figura 29. Perfil unidimensional inicial de V_s – Profundidad



A continuación, se muestra el resultado del perfil de Velocidad de onda de corte.

Figura 30. Perfil unidimensional de Vs –Profundidad.



Valores de velocidad de onda cortante en profundidad. Para el ensayo ReMi las velocidades Vs varían en la siguiente forma:

Tabla 9. Valores de velocidad Vs – Profundidad

Profundidad (m)		Vs (m/s)
desde	hasta	
0.0	1.8	323
1.8	3.8	323
3.8	6.2	323
6.2	8.8	323
8.8	11.7	333
11.7	14.8	362
14.8	18.3	381
18.3	22.0	392
22.0	26.0	395
26.0	30.2	402
30.2	34.8	424
34.8	39.6	442
39.6	44.6	465
44.6	50.0	514

Conclusiones del ensayo ReMi

- La velocidad promedio V_s hasta 30 metros de profundidad es de 363,66 m/s.
- En el perfil de 50 metros se observa que las velocidades aumentan con la profundidad.
- De acuerdo a la clasificación de los perfiles de suelo del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 y las características del proyecto, los resultados del ensayo ReMi permiten concluir que el perfil de suelo para diseño sismo resistente es **C**; sin embargo, los valores de V_s son muy cercanos al límite inferior del perfil C y es posible que en un estudio detallado el perfil de suelo se clasifique como D.

1.5 TOMOGRAFÍA GEOELÉCTRICA- PROYECTO SANTA MARÍA DE LOS ANDES

La empresa realizó el estudio geotécnico del lote para el proyecto Santa María de los Andes, el cual se encuentra localizado en la calle 13 número 16 – 51 en el sector norte del área urbana del municipio de Bucaramanga en el departamento de Santander.

Figura 31. Localización del Proyecto.



Descripción del ensayo. Se realizaron tres (3) ensayos de tomografía geoelectrica.

El ensayo de tomografía geoelectrica consiste en la colocación de una corriente eléctrica a través del suelo y la realización de mediciones de la resistividad del material. Utiliza arreglos con una gran cantidad de electrodos para elaborar perfiles de resistividad aparente a lo largo de los ejes de los electrodos. [5]

La tomografía es una técnica empleada para obtener una sección de un sólido. En cada ensayo se midió la resistividad eléctrica R de los materiales del suelo.

El propósito de la tomografía geoelectrica es determinar los cambios litológicos laterales y en profundidad, aprovechando el contraste de la resistividad entre los diferentes materiales de la misma formación o las diferentes formaciones; la resistividad del terreno depende principalmente de la composición mineralógica, el contenido de agua, el porcentaje de saturación, la porosidad y las características de los líquidos y gases que rellenan los poros.

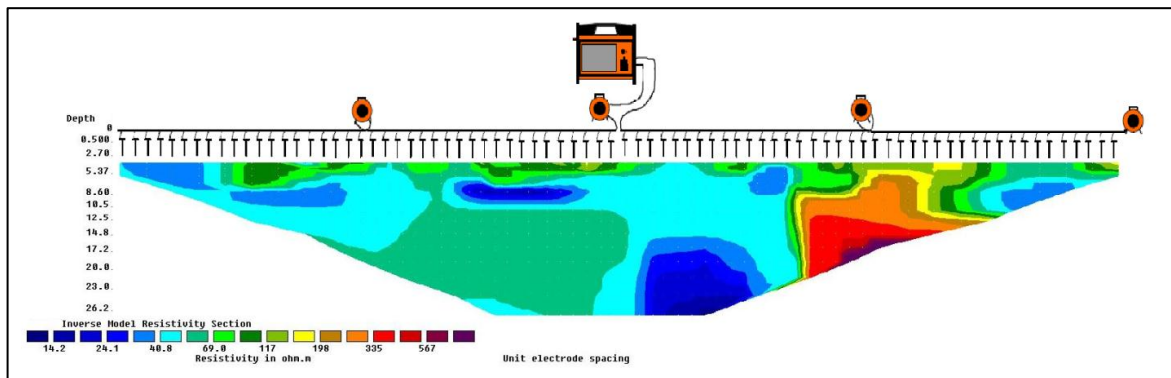
En campo se determina la distribución de la resistividad eléctrica de la superficie del terreno haciendo mediciones de la resistividad aparente y en esa forma retrocalcular la resistividad real.

Para la realización del ensayo se sitúan al mismo tiempo 81 electrodos en el terreno siguiendo una alineación.

Se conectan a un multicable, el cual a su vez está unido a un resistivímetro y un selector de electrodo.

Según la posición de los electrodos, la corriente penetra más o menos en el terreno.

Figura 32. Esquema general de la realización del ensayo de Tomografía geoelectrica.

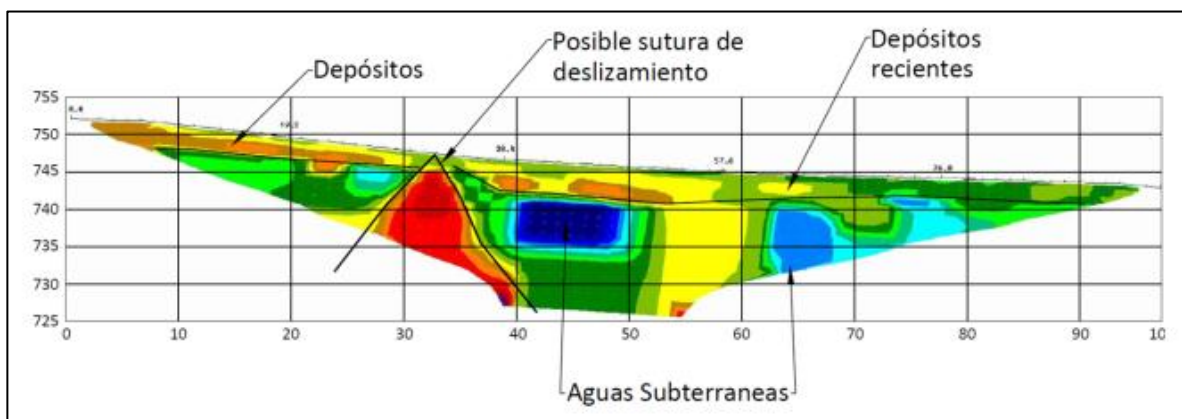


1.5.1 Interpretación y análisis.

Interpretación de tomografía geoelectrica No. 1. En la tomografía No. 1 se observa un punto en el cual confluyen una falla geológica y la posible sutura de un deslizamiento antiguo identificado como una fisura de alta pendiente.

Adicionalmente se observan zonas de concentración de corrientes de agua subterránea y algunos rellenos de origen antrópico.

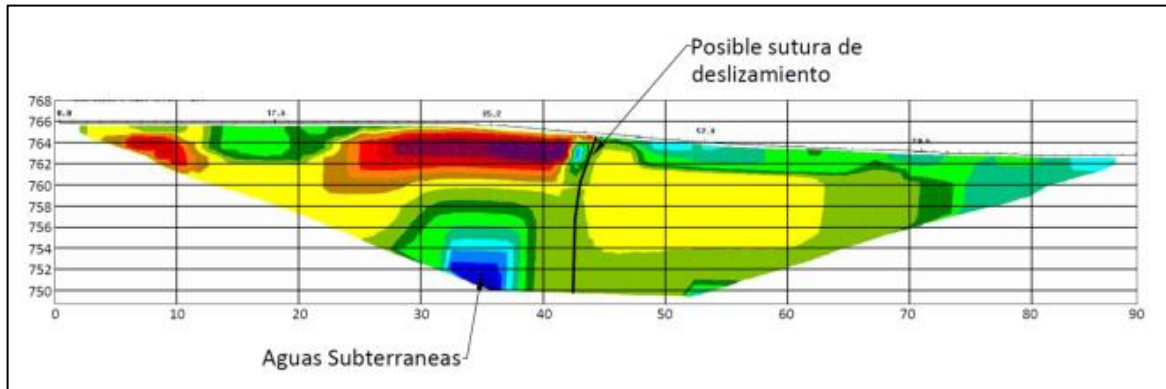
Figura 33. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1.



Interpretación de tomografía geoelectrica No. 2. En la tomografía No. 2 se observa un cambio brusco de litología en la mitad del arreglo correspondiente

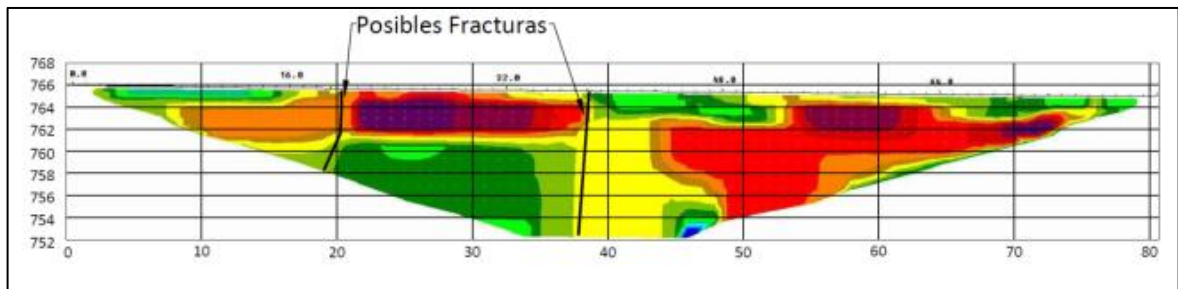
parcialmente a un relleno de origen antrópico y posiblemente a la sutura de un deslizamiento antiguo.

Figura 34. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 2.



Interpretación de tomografía geoelectrica No. 3. En la tomografía No. 3 se observan posiblemente suturas de un deslizamiento antiguo.

Figura 35. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 3.



1.5.2 Informe geotécnico. Bajo la supervisión del tutor de la práctica y con la asesoría del líder de geofísica de la empresa se participó en la realización del capítulo de exploración geofísica el cual se adjunta en el informe geotécnico.

En este capítulo del informe se sintetizaron las actividades realizadas como auxiliar de geofísica, así como los conocimientos adquiridos durante las capacitaciones:

Tomografías Geoeléctricas. Para la ejecución del estudio geoelectrico se efectuaron cinco etapas de trabajo que concluyeron en las siguientes actividades:

- Reconocimiento lito-estratigráfico y estructural: realizado en el área del proyecto, con el fin de reconocer la geología local, estratigrafía, geomorfología, inclinación de los estratos en superficie y verificar e identificar la existencia y localización de fuentes hídricas.
- Diseño de adquisición: efectuada con la visita puntual en el sitio de estudio para determinar la ubicación, longitud y arreglo a utilizar en las tomografías de acuerdo al tipo de información requerida para el proyecto.
- Adquisición de datos: en cada uno de los lugares definidos para realizar las tomografías se realiza el montaje del equipo y la adquisición de los datos, en el sitio se puede observar el modelo de resistividad aparente.
- Valoración de información: revisión bibliográfica y análisis de la información geológica, geomorfológica y geotécnica existente del sitio de estudio y sectores aledaños.
- Procesamiento e interpretación: con los datos adquiridos y utilizando el software de inversión y modelación, se lleva a cabo el procesamiento de los datos adquiridos y se correlacionan los resultados con la información regional y local.

Equipo utilizado en el ensayo de tomografía geoelectrica. Para realizar los ensayos se utilizó un equipo Terrameter LS de ABEM con pantalla LCD de 8,4", 2 puertos KPT de 32 pines para 2D, GPS incorporado y 81 electrodos, de propiedad de Geotecnología S.A.S.

Para el procesamiento de los datos y visualización de los resultados se utilizó el Software RES2DINV,

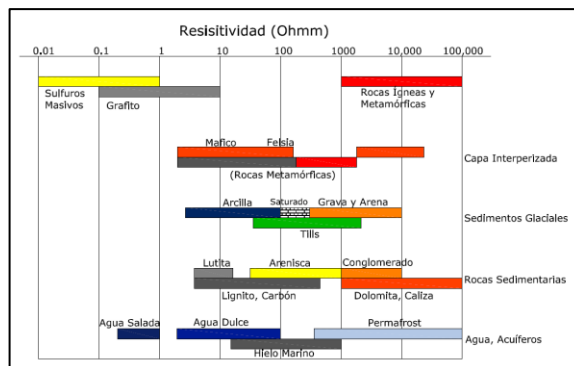
Fotografía 9. Equipo de tomografía geoelectrica.



Fundamento teórico. Uno de los métodos novedosos más utilizados en los últimos años es la tomografía geoelectrica 2D ya que se puede conocer la geología moderadamente compleja de la zona de estudio.

El concepto técnico que se utiliza para la interpretación del ensayo se relaciona con el hecho que cada material de suelo o roca posee una resistividad característica que varía no sólo con el tipo de suelo, sino también con la temperatura, la humedad, contenido de sal, y la compacidad. La literatura indica que los valores de resistividad tierra varían de 0,01 a 1 $\Omega \cdot m$ para el agua de mar y hasta 10 9 $\Omega \cdot m$ para la piedra arenisca. La resistividad de la tierra aumenta lentamente con temperaturas decrecientes desde 25 ° C a 0 ° C. [6]

Figura 36. Resistividades características de los materiales



Como se puede observar en la figura anterior las rocas ígneas y metamórficas típicamente tienen altos valores de resistividad, la capacidad de estas rocas para impedir el paso de la corriente eléctrica depende mucho del grado de fracturación que posee y del porcentaje de agua que rellena las fracturas del terreno.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido de agua, lo que normalmente hace disminuir los valores de resistividad.

Los suelos mojados y el agua fresca del terreno tienen valores aún más bajos.

En los suelos arcillosos, las resistividades son normalmente menores que las correspondientes al suelo arenoso.

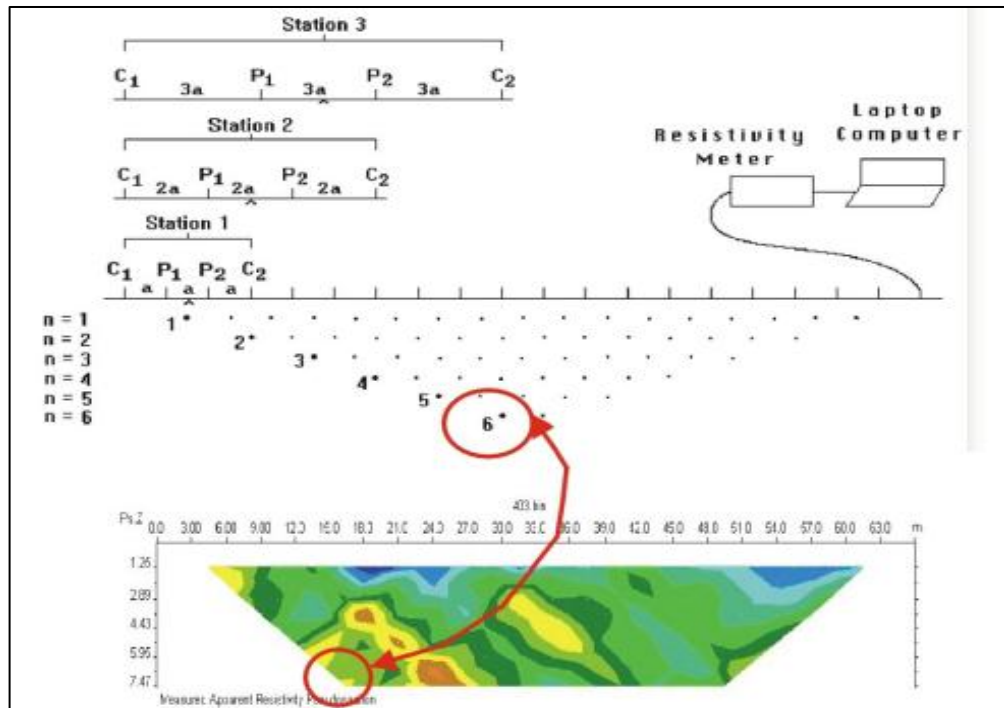
La resistividad del agua del terreno varía desde 10 a 100 ohm,m; dependiendo de la concentración de sales disueltas, Nótese que el bajo valor (alrededor de los 0,2 ohm,m) en el agua de mar se debe al alto contenido de sal, esto hace que los métodos de resistividad sean técnicas ideales para la planimetría de la interfase de estructuras con contenido de agua fresca y salina.

Algunos de los compuestos de hidrocarburos, tal como el Xileno, tienen resistividades muy altas.

Interpretación de las pseudosecciones. Para representar las mediciones de una tomografía geoelectrica, se utiliza el método de contorneado o pseudosección.

En estos casos, la ubicación horizontal del punto de medición se pone en el medio entre los electrodos del arreglo o dispositivo utilizado, La ubicación vertical del punto de medición se dispone a una distancia que es proporcional a la separación entre los electrodos.

Figura 37. Secuencia de medidas en la tomografía geoelectrica.



La técnica de la tomografía eléctrica emplea los valores de resistividad aparente medidos con los dispositivos geoelectricos sobre la superficie del terreno para generar imágenes del subsuelo donde se representan los valores de la resistividad verdadera de las diferentes zonas del subsuelo.

La relación entre la resistividad aparente y la resistividad verdadera, es una relación compleja.

Para determinar la resistividad verdadera del subsuelo a partir de los valores de la resistividad aparente, se aplica la técnica de la "inversión". [7]

Utilizando el software se ejecuta un proceso de inversión con el cual se obtiene una distribución de la resistividad real llamada imagen invertida de resistividad; este proceso emplea algoritmos matemáticos basados en el empleo de mínimos cuadrados o elementos finitos.

Las investigaciones de resistividad dan una imagen de la distribución de resistividad del subsuelo.

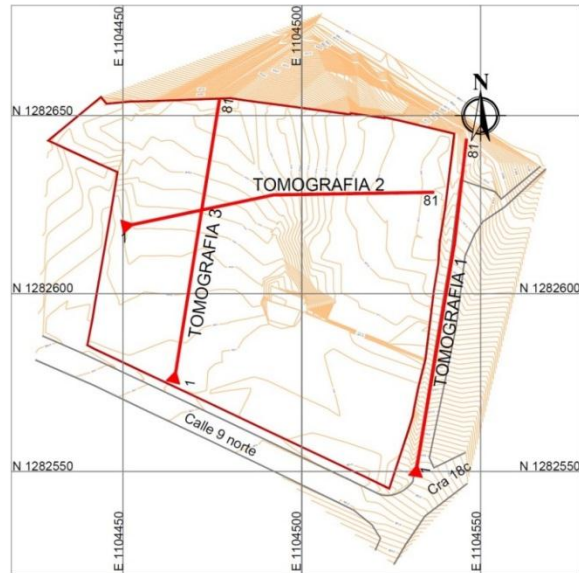
Para convertir esa imagen en una estructura geológica, es muy importante y necesario conocer como varía este parámetro en los diferentes tipos de materiales que constituyen el subsuelo y en las estructuras geológicas del área estudiada.

Procedimiento para la realización del ensayo

- Definición del punto de inicio de la línea, Consiste en identificar un punto con la ayuda de un plano topográfico, o por medio de inspección visual, que sirva como punto de partida para trazar la línea de forma que ocupe el área a explorar.
- Limpieza de la línea y fijación de las estacas generales o banderolas, Desde un punto de partida fijo de inicio, comenzar a dar línea con la ayuda del equipo topográfico, nivel de precisión o nivel de mano y estacas, e ir despejando el área de trabajo de vegetación.
- Medición de la línea, Desde el punto de partida extender la cinta métrica a lo largo de la línea de trabajo marcada.
- Definición de longitud de la línea, Previo al tendido de la cinta métrica se puede establecer la longitud de la línea, es importante corroborar que la cinta este totalmente sobre la superficie del suelo ya que es posible que se presenten puentes que alteran la medición real.
- Definición de espaciamiento entre electrodos, En este paso se tiene en cuenta que tenemos 4 carretes de 21 conectores cada uno con marcaciones numéricas que indican el orden de la conexión de electrodo, para definir la separación es importante tratar de no proponer líneas que den separaciones con decimales debido a que la precisión para ubicarlos puede ser menor.
- Colocación de los electrodos.
- Conexión entre cables y electrodos utilizando caimanos.

- Adecuación del sitio de trabajo haciendo las respectivas conexiones del Terrameter y la batería.
- Se inicia la creación del proyecto en el equipo de medición, definiendo el tipo de arreglo y el espaciamiento de los electrodos.
- Configuración de los parámetros del Terrameter, estos parámetros ya están preconfigurados solamente se debe tener en cuenta que tipo de ensayo se va a hacer para cambiar las respectivas características.
- Creación de la nueva estación (Roll all one) para la primera medición,
- Se inicia la medición con el test de electrodos.
- Una vez se identifiquen los electrodos que no tienen una buena conexión se procede a revisar y adicionar agua con sal en caso de ser necesario.
- Adquisición de datos.
- Terminada la medición 1, se procede a posicionar y adecuar el lugar de la medición 2, hacer la respectiva conexión de los cables a usar (para este caso se usarán los cables 1, 2, 3 y 4); de los cuales se conectan los cables 1-2 y 3-4 por medio de uniones.
- Creación de la nueva estación (Roll all one) para la segunda medición.
- Se inicia la medición con el test de electrodos.
- Conocidos los electrodos no tienen una adecuada conexión se procede a revisar y adicionar agua con sal en caso de ser necesario.
- Adquisición de datos en la segunda estación.
- Terminada la medición 2, se procede a posicionar y adecuar el lugar de la medición 3, hacer la respectiva conexión de los cables a usar (para este caso se usarán los cables 2, 3 y 4; de los cuales se conectan los cables 3-4 utilizando uniones.
- Creación de la nueva estación (Roll all one) para la tercera medición.
- Terminadas las tres mediciones se procede a recoger y almacenar el equipo.

Figura 38. Localización general de las tomografías geoelectricas



Tomografía geoelectrica No.1

Descripción del arreglo. Se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 96 metros, conformado por 81 electrodos espaciados uniformemente cada 1,20 metros.

Tabla 10. Coordenadas de la línea de tomografía No.1

Localización	Este	Norte
Inicio	1'104.531	1'282.548
Fin	1'104.546	1'282.643

Fotografía 10. Tomografía geoelectrica 1.



Gráficas de resistividad línea de tomografía geoelectrica No. 1. A continuación. se muestra el resultado de la tomografía geoelectrica No 1:

Como resultado del procesamiento se obtienen 3 pseudosecciones de la tomografía geoelectrica:

La primera muestra los datos de resistividad aparente medida en el terreno, la segunda la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo y la tercera la resistividad del terreno obtenida a partir de las dos secciones anteriores calculada con el algoritmo del modelo inverso por mínimos cuadrados.

Figura 39. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 1.

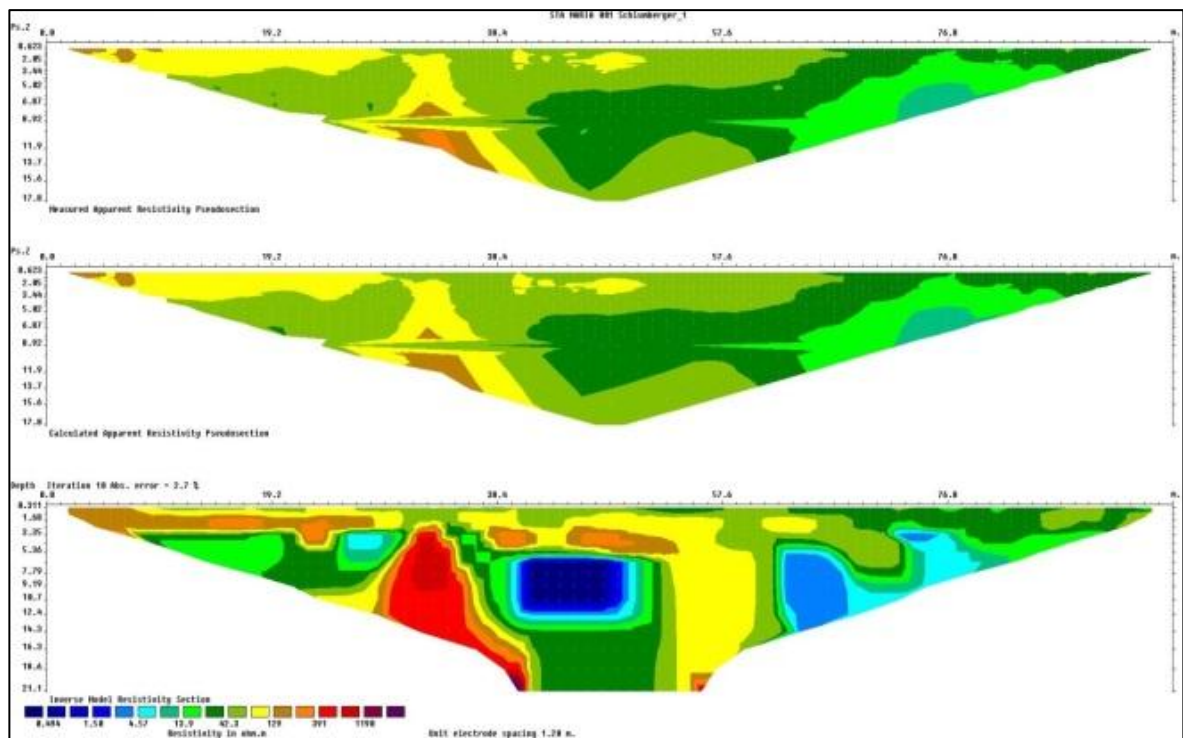
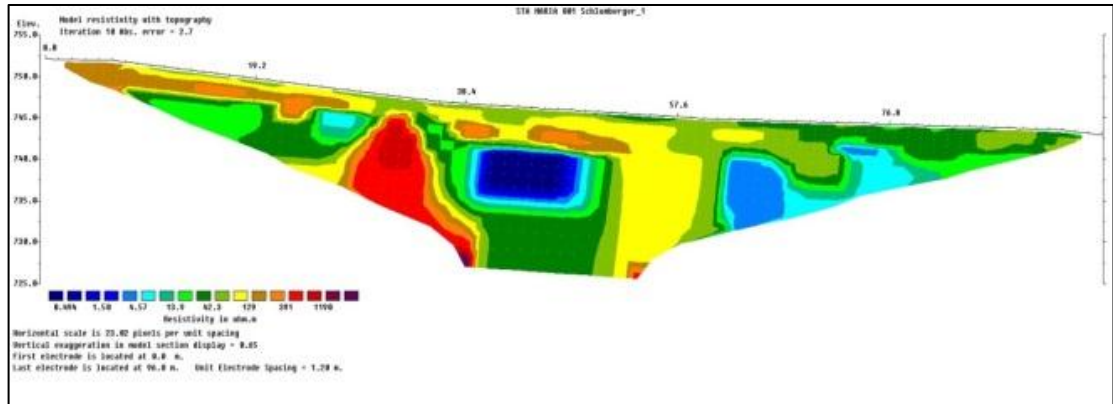


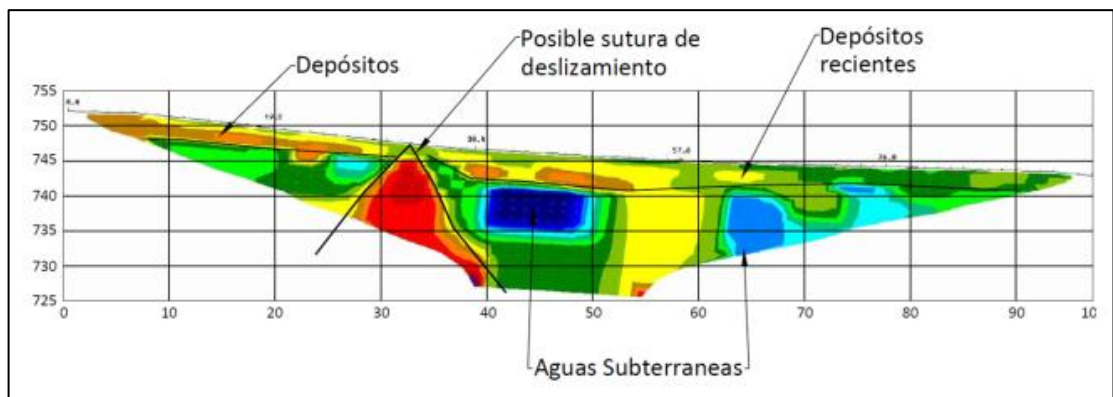
Figura 40. Localización regional Resistividad real tomografía geoelectrica No. 1.



Interpretación de tomografía geoelectrica No. 1. En la tomografía No. 1 se observa un punto en el cual confluyen una falla geológica y la posible sutura de un deslizamiento antiguo identificado como una fisura de alta pendiente.

Adicionalmente se observan zonas de concentración de corrientes de agua subterránea y algunos rellenos de origen antrópico.

Figura 41. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 1.



Tomografía geoelectrica No.2

Descripción del arreglo. Se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 88 metros, conformado por 81 electrodos espaciados uniformemente cada 1,10 metros.

Tabla 11. Coordenadas de la línea de tomografía No.2

Localización	Este	Norte
Inicio	1'104.449	1'282.618
Fin	1'104.536	1'282.628

Fotografía 11. Tomografía geoelectrica 2.



Gráficas de resistividad línea de tomografía geoelectrica No. 2. A continuación, se muestra el resultado de la tomografía geoelectrica No 2:

Como resultado del procesamiento se obtienen 3 pseudosecciones de la tomografía geoelectrica:

La primera muestra los datos de resistividad aparente medida en el terreno, la segunda la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo y la tercera la resistividad del terreno obtenida a partir de las dos secciones anteriores calculada con el algoritmo del modelo inverso por mínimos cuadrados.

Figura 42. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 2

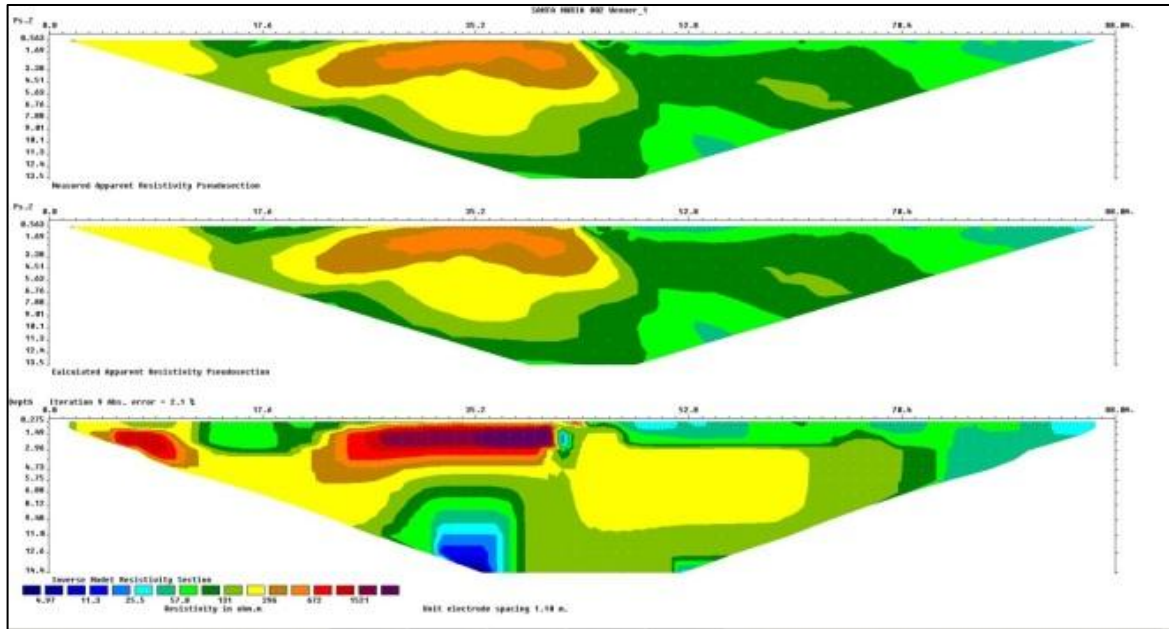
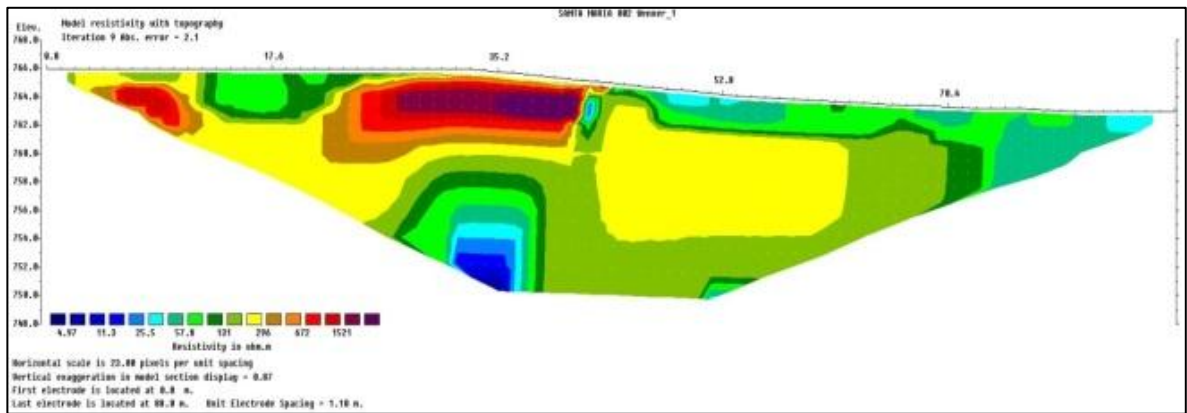
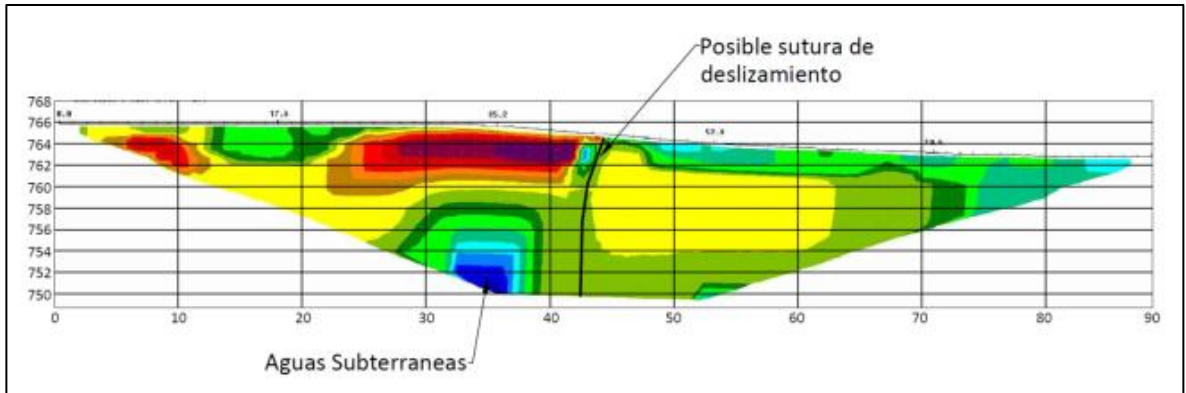


Figura 43. Resistividad real tomografía geoelectrica No.



Interpretación de tomografía geoelectrica No. 2. En la tomografía No. 2 se observa un cambio brusco de litología en la mitad del arreglo correspondiente parcialmente a un relleno de origen antrópico y posiblemente a la sutura de un deslizamiento antiguo.

Figura 44. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 2.



Tomografía geoelectrica No.3

Descripción del arreglo. Se utilizó un arreglo lineal con una longitud total de 80 metros, conformado por 81 electrodos espaciados uniformemente cada 1,00 metros.

Tabla 12. Coordenadas de la línea de tomografía No.3

Localización	Este	Norte
Inicio	1'104.464	1'282.575
Fin	1'104.476	1'282.654

Fotografía 12. Tomografía geoelectrica 3.



Gráficas de resistividad línea de tomografía geoelectrica No. 3. A continuación se muestra el resultado de la tomografía geoelectrica No 3:

Como resultado del procesamiento se obtienen 3 pseudosecciones de la tomografía geoelectrica:

La primera muestra los datos de resistividad aparente medida en el terreno, la segunda la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo y la tercera la resistividad del terreno obtenida a partir de las dos secciones anteriores calculada con el algoritmo del modelo inverso por mínimos cuadrados.

Figura 45. Resistividad aparente tomografía geoelectrica No. 3.

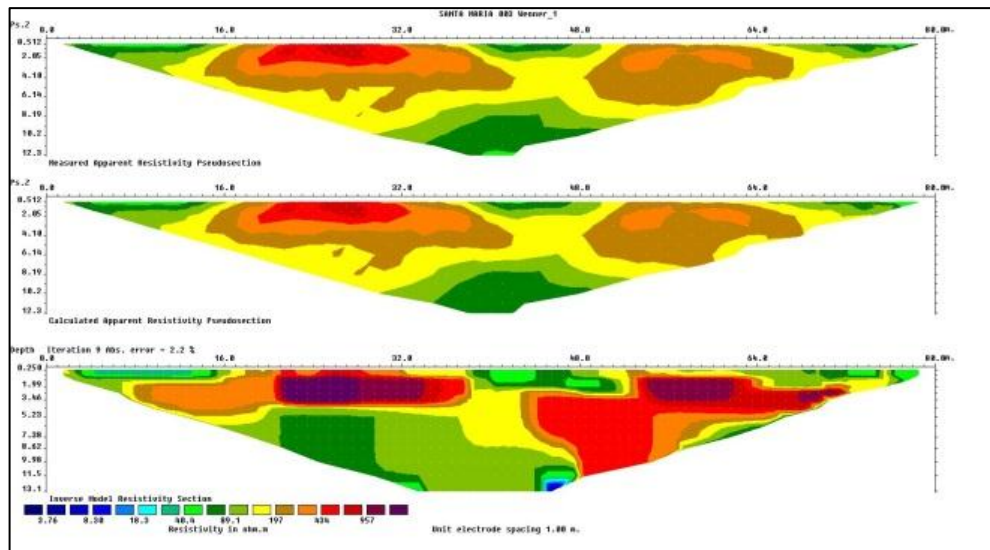
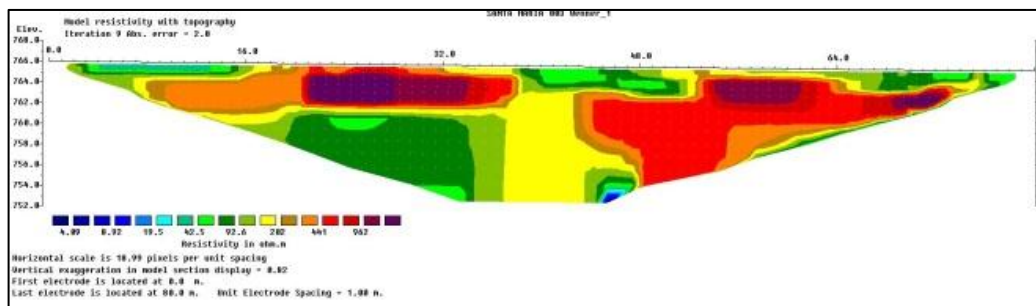
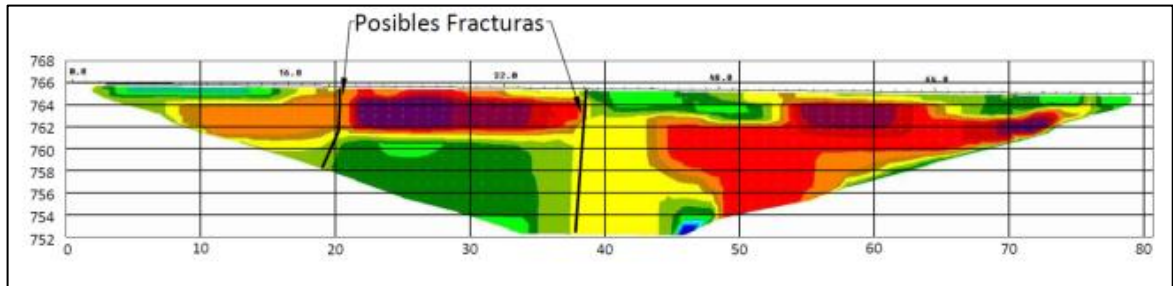


Figura 46. Resistividad real tomografía geoelectrica No. 3.



Interpretación de tomografía geoelectrica No. 3. En la tomografía No. 3 se observan posiblemente suturas de un deslizamiento antiguo.

Figura 47. Interpretación de la tomografía geoelectrica No 3.



2. CONCLUSIONES

Como se observó en el transcurso de la práctica los métodos geofísicos son un complemento de la exploración tradicional, que al combinarse con los ensayos SPT, los ensayos de laboratorio de suelos realizados a las muestras recuperadas y la información existente de la zona de estudio permiten conocer y caracterizar mejor el área a evaluar.

El ensayo Remi, es de gran utilidad en proyectos donde solo se requiera conocer la clasificación del perfil de suelo según la NSR-10, ya que este ensayo permite conocer un valor aproximado de las velocidades de onda cortante V_s .

El ensayo Down Hole también permite clasificar el tipo de suelo y además de ello conocer mejor la estratigrafía del mismo en un punto, puesto que este ensayo mide directamente velocidades de onda S y velocidades de onda P.

El ensayo MasW al igual que el Down Hole y el ReMi permite clasificar el tipo de suelo según su velocidad de onda V_s , y conjuntamente generar una imagen 2d del perfil de velocidades, proporcionando la estratigrafía del lote a una longitud deseada.

Con la tomografía geoelectrica es posible realizar una caracterización estratigráfica de manera óptima del área de estudio, ya que registra datos a mayores profundidades, lo cual permite observar de manera detallada los contactos o fallas. Además, este ensayo suministra información de la resistividad de los materiales, la cual es relevante a la hora de ejecutar proyectos de instalación de torres de redes eléctricas.

Cabe la posibilidad de combinar estos ensayos para obtener mejores resultados, más detallados y precisos de las características que se están estudiando. La elección de los ensayos a realizar y de cuál de ellos brinda mayor información depende principalmente del tipo de proyecto que se realizará en el área estudiada, su localización, características y exigencia de la norma.

Realizar el trabajo de grado en la modalidad de práctica empresarial le permite al estudiante que la ejecuta adquirir experiencia real en las actividades ingenieriles, en este caso en el área de la geotecnia, y compararlo con el conocimiento teórico práctico recibido en el pregrado para así generar criterios y puntos de vista más centrados en la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] ASTM, ASTM D7400-14: Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing. ASTM Standard Guide, 2014, pp.1-2.

[2] A. Ugalde, Terremotos: cuando la tierra tiembla, volumen 10, editorial CSIC, Madrid-España, 2009, p. 63.

[3] Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de perforación y voladuras de roca, segunda edición, editorial IGME, Madrid- España 1994, p. 459.

[4] ASTM, ASTM D6429–99: Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. ASTM Standard Guide, (2011), p. 3.

[5] J. Suárez, Deslizamientos, volumen 1: análisis geotécnico, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009, pp. 482-486.

[6] ANSI/IEEE, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, 1983, p. 8.

[7] M.H.Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2004, pp. 2-35.

BIBLIOGRAFIA

A. Ugalde, Terremotos: cuando la tierra tiembla, volumen 10, editorial CSIC, Madrid-España, 2009, p. 63.

ANSI/IEEE, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, 1983, p. 8.

ASTM, ASTM D6429–99: Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods. ASTM Standard Guide, (2011), p. 3.

ASTM, ASTM D7400-14: Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing. ASTM Standard Guide, 2014, pp.1-2.

Instituto Tecnológico Geominero de España, Manual de perforación y voladuras de roca, segunda edición, editorial IGME, Madrid- España 1994, p. 459.

J. Suárez, Deslizamientos, volumen 1: análisis geotécnico, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2009, pp. 482-486.

M.H.Loke, Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys, 2004, pp. 2-35.