

**ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE TOMOGRAFIA ELECTRICA A UN SECTOR
DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**CHRISTIAN DUVAN AROS RUEDA
EDWIN HARVEY BUENO LOPEZ**

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

2015

**ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE TOMOGRAFIA ELECTRICA A UN SECTOR
DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**CHRISTIAN DUVAN AROS RUEDA
EDWIN HARVEY BUENO LOPEZ**

**Trabajo de grado modalidad investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil**

**Director
WILFREDO DEL TORO
Ingeniero Civil, M. Sc, PhD.**

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

2015

DEDICATORIA

Nada que escriba acá alcanzará a describir el infinito amor que me has brindado siempre, gracias por apoyarme incondicionalmente, te amo Mamá.

CHRISTIAN DUVAN AROS RUEDA

DEDICATORIA

Un logro realizado, una meta cumplida, tantos años de sacrificios han dado sus frutos, gracias por todo ese apoyo incondicional y esa tolerancia y paciencia que me tuvieron, porque sin ustedes esto jamás hubiera sido posible, Papás.

EDWIN HARVEY BUENO LÓPEZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por su formación integral en todas las áreas del conocimiento.

A la Escuela de Ingeniería Civil por la excelente labor de formar profesionales comprometidos con la sociedad.

Al grupo de investigación Geomatica por su colaboración en el préstamo de los equipos para realizar los ensayos y a su auxiliar Yuseth Gómez.

Al profesor Wilfredo del Toro por su paciencia para brindarnos su atenta ayuda para poder sacar adelante este proyecto.

A los Ingenieros Carlos Buenahora y Sergio Arguello por sus acertados consejos a la hora de enfocar las ideas para estructurar este proyecto.

A los compañeros Víctor Suarez y Saúl Chacón por su desinteresada ayuda para realizar los ensayos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	15
1. “CARACTERIZACION DEL AMB (AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA).	17
1.1 INTRODUCCIÓN	17
1.1.1 Descripción General	17
1.2 GEOLOGIA	17
1.2.1 Características de las unidades geológicas	19
1.3 GEOTECNIA	20
1.3.1 Características geotécnicas	20
1.3.2 Problemas geotécnicos	20
1.4 ZONIFICACIÓN SISMICA	21
2. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA Y GEOTECNICA DEL LOTE	22
2.1 UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL LOTE	22
2.2 EXPLORACIÓN GEOTECNICA (ENSAYO DE SPT Y LABORATORIO)	22
3. TOMOGRAFIA	25
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y METODOLOGIA	25
3.2 ELECCION DE CONFIGURACION DE LA TOMOGRAFIA	26
3.2.1 Configuración de Dipolo-Dipolo	26
3.2.2 Configuración Wenner	28
3.3 REALIZACION DEL ENSAYO	29
3.3.1 Equipo	30
3.3.2 Procesamiento	31
4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	36
4.1 PERFIL CON BASE EN LOS SPT	36
4.2 RESULTADOS DE LA TOMOGRAFIA	37
5.2.1 Configuración Wenner	39
5.2.2 Configuración dipolo-dipolo	42

5.2.3 Relación perfil con base en los SPT y el perfil de tomografía eléctrica	44
6. CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFIA	48
ANEXOS	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación del lote en el mapa geológico del AMB	18
Figura 2. Mapa geotécnico del AMB	20
Figura 3. Lote estudiado	22
Figura 4. Localización de sondeos	24
Figura 7. Equipo usado en el levantamiento de Tomografías Eléctricas 2D	30
Figura 8. Línea de Tomografía	31
Figura 9. Armado transversal del cable conector	33
Figura 10. Armado especial cable conector	33
Figura 11. Perfil Geotécnico	36
Figura 12. Tabla Resistividades	38
Figura 13. Perfil de resistividad real Wenner.	41
Figura 14. Perfil de resistividad real Dipolo-Dipolo.	43
Figura 15. Perfil de relación entre SPT y Tomografía.	45

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Clasificación geológica	49
Anexo B. Registros de sismos en el Departamento de Santander	50
Anexo C. Sondeo 1	51
Anexo D. Sondeo 4	53
Anexo E. Sondeo 6	54
Anexo F. Sondeo 7	57

RESUMEN

TITULO: ESTUDIO GEOFISICO MEDIANTE TOMOGRAFIA ELECTRICA A UN SECTOR DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA*

AUTORES: CHRISTIAN DUVAN AROS RUEDA IC.CHRISTIANAROS@GMAIL.COM
EDWIN HARVEY BUENO LOPEZ ING.CIVIL.EDWIN87@GMAIL.COM**

PALABRAS CLAVES: PROSPECCIÓN, TOMOGRAFÍA, RESISTIVAD ELÉCTRICA, CONDICIONES LITOLÓGICAS, ZONAS DE FALLA GEOLÓGICA, CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.

CONTENIDO:

La presente investigación consistió primeramente en un estudio de la caracterización del área metropolitana de Bucaramanga (AMB), en el cual se hace énfasis en las zonas de falla geológica de la ciudad, (en las que podemos encontrar las dos principales fallas las cuales son la falla Bucaramanga- Santa Marta y la falla del Suarez), en las condiciones litológicas y en la zonificación sísmica; seguidamente se describe la ubicación y características del lote ubicado entre el barrio Dangond y el barrio El Porvenir , esto apoyado en la zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga realizado por el Ingeominas, para luego hacer un análisis comparativo de dos métodos de prospección: los ensayos de SPT y los ensayos geo eléctricos, por medio de las tomografías eléctricas, para lo cual es vital tener un conocimiento previo de la funcionalidad de la resistividad eléctrica en el suelo y como ésta se puede propagar en él, además de los factores que la puedan afectar, también es de gran importancia estar familiarizado con las diversas configuraciones a la hora de colocar los electrodos y su real alcance. Para nuestro caso utilizaremos las configuraciones Wenner y dipolo-dipolo. Posteriormente sacaremos conclusiones de la correlación realizada en la investigación.

* Proyecto de grado

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

SUMMARY

TITLE: GEOPHYSICAL TOMOGRAPHY STUDY BY AN ELECTRIC FIELD OF METROPOLITAN AREA BUCARAMANGA*

AUTHORS: CHRISTIAN DUVAN AROS RUEDA IC.CHRISTIANAROS@GMAIL.COM
EDWIN HARVEY BUENO LOPEZ ING.CIVIL.EDWIN87@GMAIL.COM**

KEYWORDS: EXPLORATION, TOMOGRAPHY, ELECTRICAL RESISTIVITY, GEOLOGICAL CHARACTERISTICS, GEOLOGICAL FAULT ZONE, GEOTHECNICAL CHARACTERISTICS.

CONTENTS:

This research was primarily on a study of the characterization of metropolitan Bucaramanga (AMB), in which the emphasis is in the areas of geological fault of town (where we can find the two main faults which are the Santa Marta Bucaramanga fault and failure Suarez) in the geological characteristics and seismic zoning ; SPT tests and electrical geo trials , through electrical tomography for : then the location and characteristics of the lot located between the neighborhood and the neighborhood Dangond El Porvenir , this supported in geotechnical earthquake zoning indicative of the metropolitan area of Bucaramanga by the Ingeominas, then make a comparative analysis of two prospecting methods described which is vital to have prior knowledge of the functionality of the electrical resistivity in the soil and how it can be spread on it, and the factors that may affect , is also very important to be familiar with the various settings when placing the electrodes and its real scope . For our case we use the Wenner and dipole- dipole configurations. Later we will draw conclusions from the correlation performed in research.

* Graduation Project

** Faculty of Engineering Physics and Mechanics. School of Civil Engineering. Director: Wilfredo Rodríguez Del Toro.

INTRODUCCION

En toda obra de ingeniería civil, sin importar la magnitud del proyecto, se necesita un prolijo conocimiento del terreno y de los materiales sobre el cual se asentarán las cimentaciones de la estructura a realizar.

Es por esta razón que a través de los años se ha ido innovando en las técnicas de prospección, para hacer un análisis más concienzudo de las nuevas necesidades geológicas y geotécnicas que los proyectos demandan.

Es en este escenario que las técnicas geo eléctricas han surgido como una gran variante para suplir estas necesidades. Siendo la tomografía eléctrica la mayor exponente de estas técnicas en la actualidad, por sus diversas aplicaciones a la hora de investigar el sub suelo.

Recientemente en la escuela de Ingeniería Civil UIS se ha implementado dicha técnica con el fin de evaluar la calidad de los materiales del subsuelo en las diversas obras que son desarrolladas en el departamento de Santander. Este proyecto generado por la escuela se implementa en la búsqueda de soluciones prácticas desde el punto de vista económico y técnico. Además de ser un método de sencilla aplicación, el cual no tiene mayor complejidad en su montaje sobre el terreno, tiene como ventaja que permite la reducción de costos de la exploración y genera una importante calidad de información para los estudios.

La tomografía eléctrica es una técnica geo eléctrica (modelada en 2D, en la actualidad se está avanzando en el modelo en 3D) basado en el empleo de métodos numéricos utilizando elementos finitos o diferencias finitas para medir la resistividad eléctrica del sub suelo dentro de un medio espacial limitado, teniendo en cuenta un gran número de medidas hechas desde la superficie del terreno. A

partir de la configuración geométrica, del número y de la separación de los electrodos del equipo, pero sobre todo de la resistividad del espacio es que se puede determinar la profundidad de penetración de esta técnica.

Cabe destacar la importancia de la resistividad eléctrica en esta técnica y su debida utilización, en la que podemos encontrar tres diversas formas de propagar la corriente eléctrica en el sub suelo: la conducción electrónica (relacionada a materiales con electrones libres, como el metal), la conducción dieléctrica (relacionada a materiales poco conductivos) y la conducción electrolítica (relacionada al movimiento de iones en el terreno). Siendo esta ultima la forma en la que se basan las técnicas de resistividad debido a que es la de mayor importancia.

Dentro de esta técnica podemos resaltar las configuraciones geométricas más utilizadas al momento de ubicar los electrodos, las cuales son Wenner, Schlumberger, la variante Wenner- Schlumberger y Dipolo-Dipolo.

Entre las ventajas se pueden mencionar el poder encontrar los posibles focos de filtración y como caracterizar el problema, asimismo la facilidad a la hora de tomar datos y procesarlos en campo con la ayuda de un ordenador portátil le confiere una gran versatilidad para enfrentar situaciones adversas presentadas durante el proceso.

La principal desventaja, además del elevado costo del equipo, es que si hay alta presencia de material muy resistivo en la superficie, se impide una buena lectura en la utilización de esta técnica.

Podemos concluir que la finalidad de esta investigación es realizar un perfil en 2D distancia-profundidad en la cual se pueda identificar las cualidades hidrogeológicas, geológicas y geotécnicas del terreno.

1. “CARACTERIZACION DEL AMB (AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA).¹

1.1 INTRODUCCIÓN

El área del lote estudiado se encuentra localizada en la zona de Limos Rojos del abanico aluvial de Bucaramanga.

1.1.1 Descripción General. Corresponde a la zona más urbanizada de Bucaramanga (sector no erosionado), e incluye los barrios del Tejar, Diamante y Provenza hasta el barrio El Bosque.

El drenaje es subparalelo y la zona está asociada a una geoforma de origen aluvial que corresponde a un gran abanico, de baja pendiente sobre el cual se encuentra cimentada la ciudad de Bucaramanga. Este sector se encuentra conformado por el miembro Limos Rojos (Qblr) de la formación Bucaramanga.

Los suelos subsuperficiales corresponden a arenas gravo-arcillosas, cementadas por óxidos de hierro sobre mantos gravosos y algo conglomeráticos; estos suelos presentan generalmente cohesiones y capacidades de soporte altos.

1.2 GEOLOGIA

El entorno geológico de la ciudad de Bucaramanga está conformada por la formación Bucaramanga quien esta compuesta por los siguientes miembros:

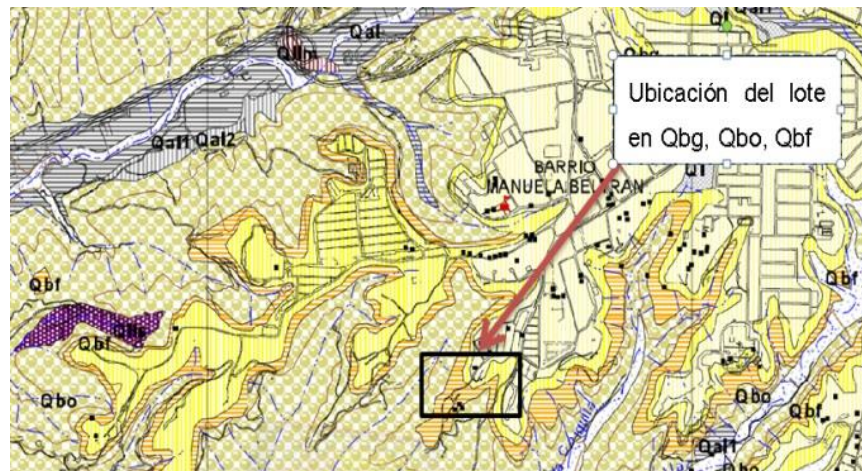
- La Terraza de Bucaramanga (Miembros limos rojos).

¹ Zonificación sismo geotectónica indicada del Área Metropolitana de Bucaramanga. [Citado 7 de Diciembre de 2014]

- Rocas ígneas y metamórficas meteorizadas.
- Suelos residuales de rocas ígneas.
- Depósitos de coluvión.

El lote de estudio se encuentra ubicado geológicamente entre el barrio Porvenir y el barrio Dangond.

Figura 1. Ubicación del lote en el mapa geológico del AMB



Fuente: Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga

Ver anexo 1 Clasificación geológica.

La siguiente secuencia por debajo de los limos rojos:

Miembro gravoso Qbg: Deposito fluviotorrencial con niveles gravosos, gravoarenosos y gravalodosos. Cantos subredondeados a subangulares de areniscas y rocas ígneas, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido.

Miembro finos Qbf: Depósitos con niveles arcillo-limosos plásticos de colores grises a verdes hacia la base. Hacia el techo predominan niveles areno-limosos y limoarenosos arcoscicos de colores amarillentos a pardo amarillento.

Miembro órganos Qbo: Deposito fluviotorrencial compuesto por una serie monótona de fragmentos gruesos polimicticos, de aspecto conglomeratico, en alternancia con capas y lentes arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura.

1.2.1 Características de las unidades geológicas

1. Terraza de Bucaramanga (Miembro Limos Rojos

Este nivel superior de la formación Bucaramanga está compuesto por arenas limosas y arcillosas con fragmentos de rocas ígneas y metamórficas y bloques de areniscas de variada granulometría y coloración.

2. Rocas ígneas y metamórficas meteorizadas

Las rocas ígneas meteorizadas predominantes en el sector corresponden a granitos y cuarzomonzonitas con variaciones en proporción de minerales máficos. Las rocas metamórficas presentan diferente grado de meteorización con diferenciación de grano y composición. La roca encontrada se clasifica en GR (granitics).

3. Suelos residuales de rocas ígneas

Corresponden a arcillas arenosas y arenas limosas color amarillo y marrón con algunos niveles arenosos de grano grueso de color amarillo. En profundidad se presentan suelos areno-limosos de color verde.

4. Depósitos de coluvión

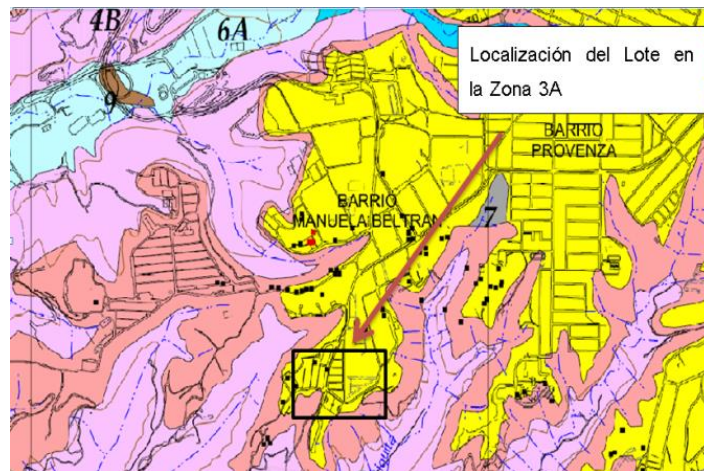
Corresponden a suelos compuestos por arcillas arenosas húmedas de color marrón y amarillo con alto contenido de gravas de variada litología, fragmentos de neis meteorizados y bloques de areniscas cuarzosas.

1.3 GEOTECNIA

De acuerdo con la zonificación sísmica al análisis de los mapas geotécnicos el lote se encuentra dentro de la zona 3 A que corresponde a:

Limos rojos del abanico aluvial de Bucaramanga.

Figura 2. Mapa geotécnico del AMB



Fuente: Zonificación sismo geotécnica del área metropolitana de Bucaramanga.

1.3.1 Características geotécnicas. Los suelos subsuperficiales corresponden a arenas gravo-arcillosas, cementadas por óxidos de hierro sobre mantos gravosos y algo conglomeráticos; estos suelos presentan generalmente cohesiones y capacidades de soporte altos. Como se comentó inicialmente, corresponde a la zona en donde se encuentra el mayor asentamiento humano de la ciudad y por tanto, la zona donde se han realizado la mayoría de los estudios de suelos.

1.3.2 Problemas geotécnicos. A profundidades generalmente superiores a los 5 metros aparecen niveles freáticos localizados por encima de los mantos arcillosos o de finos del abanico de Bucaramanga. Estos niveles freáticos afloran en el pie

de los escarpes verticales, en el perímetro de la meseta, generando focos de erosión acelerada.

Esta zona no presenta limitaciones geotécnicas importantes, sin embargo, debe tenerse en cuenta que en algunos sectores los niveles freáticos se encuentran poco profundos y algunas áreas han sido rellenadas con suelos sueltos y basuras.

1.4 ZONIFICACIÓN SISMICA

De la red sismológica nacional de Colombia se extrajo la información de los últimos sismos registrados en la zona metropolitana de Bucaramanga desde 01 de Junio de 1993 hasta el 07 de Octubre de 2014, en total resultaron 86 registros encontrados, de los cuales solo se clasifica los que tienen una magnitud mayor a 2MI, siendo en total 34 registros a tener en cuenta.

Según los registros de sismos en el Departamento de Santander los sismos analizados entre el 06/04/1998 y 22/05/2014 se obtuvieron Magnitudes registradas que oscilaban entre 2.0 a 3.2 MI (Magnitud Local) y con 80 a 164 Km de profundidad. Para más información (**Ver anexo 2**)

2. CARACTERIZACIÓN GEOLOGICA Y GEOTECNICA DEL LOTE

2.1 UBICACIÓN Y CARACTERISTICAS DEL LOTE

La ubicación del lote de este proyecto se encuentra localizada entre el barrio el Porvenir y el barrio Dangón, como se muestra en la imagen a continuación:

Figura 3. Lote estudiado



Fuente: Propia

De acuerdo en el mapa, el terreno se encuentra cerca de una zona de escarpe, muy cercana a una cañada. El terreno donde se hicieron los ensayos si bien se encuentra cercana a la zona de escarpe, es una zona sin cambio de cotas, se podría decir que es un terreno llano.

2.2 EXPLORACIÓN GEOTECNICA (ENSAYO DE SPT Y LABORATORIO)

El ensayo S.P.T (Standard Penetration Test) es un tipo de prueba de penetración dinámica cuyo objetivo es determinar la compacidad y capacidad de soporte del suelo en los cuales se requieren realizar estudios geotécnicos.

Es el ensayo más empleado en la realización de sondeos y se lleva a cabo en el fondo de la perforación generada. Básicamente consiste en medir el número de golpes (N) que serán necesarios para introducir una cuchara (cilíndrica y hueca) o también conocida como una “toma-muestras” (diámetro exterior 51 mm e interior 35mm) dentro de un estrato de suelos cuyo fin será tomar una muestra de su interior claramente ya alterada.

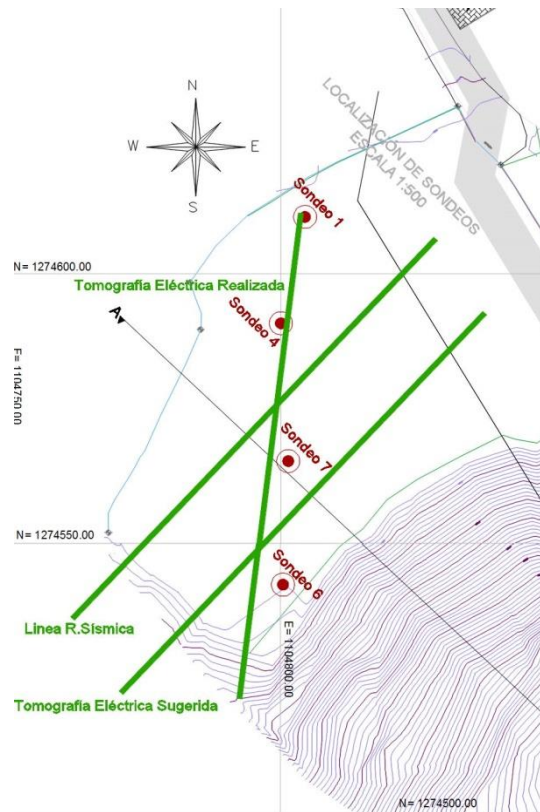
“Este ensayo se realiza en depósitos de suelo arenoso y de arcilla blanda; no es recomendable llevarlo a cabo en depósitos de grava, roca o arcilla consolidada, debido a los daños que podría sufrir el equipo de perforación al introducirlo dentro de dichos estratos”.²

En la siguiente figura se puede apreciar la localización de los sondeos realizados en el lote estudiado, inicialmente se sugirió una línea de tomografía paralela a la línea de refracción sísmica, pero una vez en el terreno se tuvo que modificar debido a que dicha línea sugerida tenía una distancia muy corta para realizar el ensayo, entonces se decidió hacer una línea diagonal que abarcara más cantidad de terreno.

De acuerdo a la línea de tomografía realizada se tomaran en cuenta los 4 ensayos de SPT ejecutados para realizar una clasificación del material.

² ENSAYO SPT; [Disponible en: http://www.academia.edu/7943017/ENSAYO_SPT] [Citado 13 de Noviembre de 2014]

Figura 4. Localización de sondeos



Fuente: E.D. Ingeotecnia S.A.S

En los **anexos 3 al 6** se puede apreciar la variación de la estratificación del subsuelo estudiado. Desde los 0 metros hasta una profundidad variable que esta entre 0,5- 14 metros se encuentra suelo de relleno compuesto por arenas limosas y arenas arcillas algo permeables, de consistencia media. Luego desde una profundidad que varía entre los 6-10,5 hasta los 13-14 metros se encuentra bloques de roca de arenisca de grano fino, muy resistente. Por ultimo desde los 11-12,5 hasta los 14,5-24,5 metros se encuentra en el subsuelo material de suelo aluvial compuesto por limos arenosos, arcillas arenosas, arcillas plásticas.

3. TOMOGRAFIA

3.1 DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO Y METODOLOGIA

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica basada en la modelización 2-D de la resistividad del terreno mediante el empleo de técnicas numéricas (elementos finitos o diferencias finitas). Para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de la resistividad dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno. Las profundidades de penetración de los métodos eléctricos están directamente relacionadas con la configuración geométrica de la adquisición, número y separación de los electrodos y dependen de la resistividad del medio.

El objetivo de este método se basa en obtener una sección 2-D de resistividades reales del subsuelo, modelo a partir del cual podremos determinar la presencia o no de filtraciones de agua en profundidad, mediante la localización de áreas en donde tengamos una disminución anómala del valor de la resistividad del terreno. Para ello será preciso el empleo de un programa de inversión, con el que transformar las resistividades aparentes obtenidas de la campaña de campo, a valores de resistividad real.

Esta técnica geofísica consiste en obtener una serie de medidas de resistividad aparente con un micro dispositivo tetraelectródico determinado y con una separación constante entre electrodos; e ir variando las distancias entre los pares de electrodos emisor-receptor por múltiplos de un valor, de tal forma que el resultado final será una sección o corte con calicatas a varios niveles de profundidad.

Además esta técnica proporciona conjuntamente información lateral y en profundidad. El sistema consta de un resistímetro o unidad básica, un selector de electrodos y un juego de cables multiconectores que permiten utilizar hasta 64 electrodos conmutables de forma totalmente automática a través del selector de electrodos y controlado por la unidad básica de control.

Un factor clave de esta técnica es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio requiere la obtención de un número muy elevado de datos, con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral y también que las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

3.2 ELECCION DE CONFIGURACION DE LA TOMOGRAFIA

Como se ha mencionado la tomografía eléctrica es un método geofísico para el análisis del subsuelo el cual permite medir la conductividad eléctrica desde su superficie y así de este modo llegar a obtener un modelo bidimensional geoeléctrico del terreno. Para llegar a obtener dichos resultados se utilizan las configuraciones Wenner, Dipolo-Dipolo y Schlumberger ya que son las más utilizadas, para la elaboración del proyecto se tuvo en cuenta las dos primeras configuraciones, que para nuestro alcance brindan unos mejores resultados más convincentes de la distribución de los materiales del subsuelo, lo que permite que se realice una caracterización del terreno más coherente a la realidad, esto debido a que poseen una mayor sensibilidad a los cambios tanto verticales como horizontales de la resistividad.

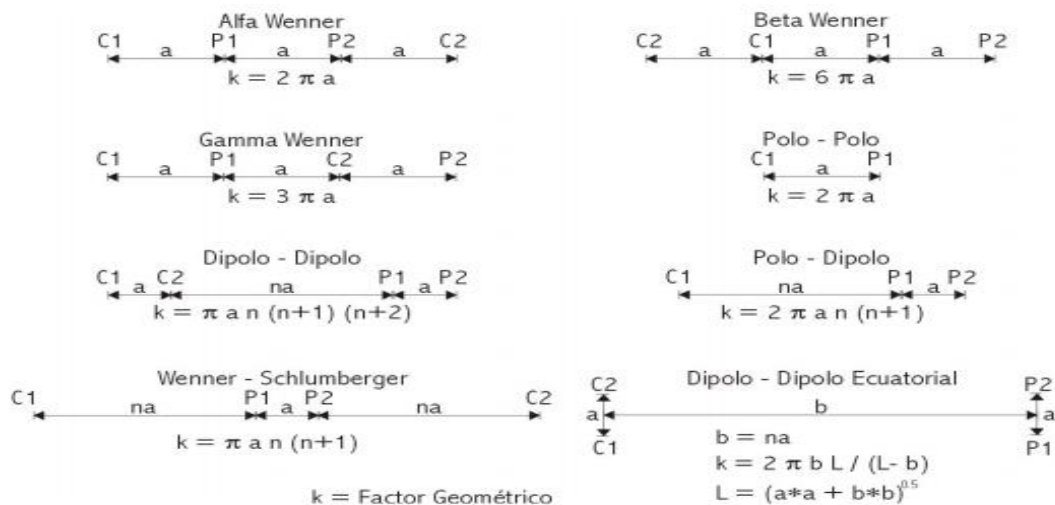
3.2.1 Configuración de Dipolo-Dipolo. “Este conjunto ha sido, y es todavía, ampliamente usado en sondeos de resistividad y PI (Polarización Inducida) a causa del bajo acoplamiento entre la corriente y los circuitos potenciales; esto es

debido a que los efectos de la cargabilidad son afectados notablemente por la señal de acoplamiento inductivo”.³

El espaciamiento entre los electrodos, C1-C2, es determinado como “a” al igual que la distancia entre los electrodos potenciales P1-P2. Este arreglo tiene otro factor denominado “n” en la Figura 5. Este es la relación de la distancia entre los electrodos C1 y P1 y la separación de dipolo “a” C2-C1 (o P2-P1).

Para relevamientos con este dispositivo, el espaciamiento “a” se mantiene inicialmente fijo y el factor “n” se aumenta desde 1, 2, 3 y hasta 15 veces a fin de aumentar la profundidad de investigación. Cuando se acompaña con la medida de IP, “n” normalmente no sobrepasa el valor de 8 debido a la fuerte atenuación de la cargabilidad.

Figura 5. Diferentes dispositivos usados en sondeos eléctricos de resistividad 1D, 2D y 3D con sus correspondientes factores geométricos.



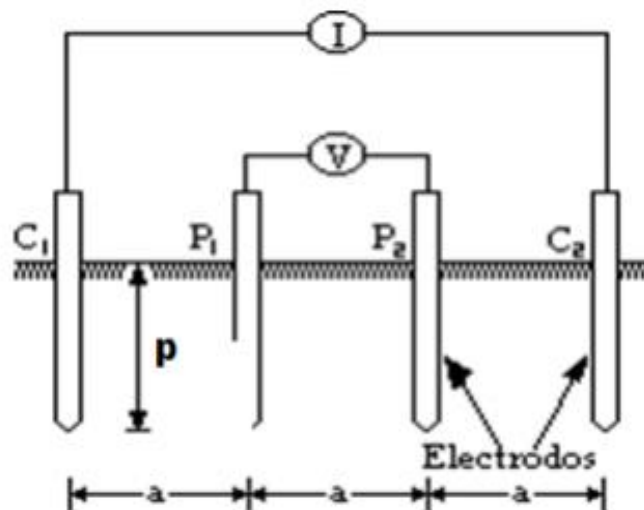
³ Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (Tomografía eléctrica 2d y 3d). [Disponible en: <http://www.geotomosoft.com/Articulo.pdf>] [Citado 13 de Diciembre de 2014]

Fuente: Sanz Alzate, Jorge Humberto. Medición resistividad resistencia de puesta a tierra. Medidas de resistencia eléctrica de subsuelo

Así el dispositivo Dipolo-Dipolo es muy sensible a cambios de resistividad horizontal, pero relativamente insensible a cambios verticales, de modo que es útil en estructuras verticales tales como muros enterrados, cavidades y plumas contaminantes, pero relativamente pobre en estructuras horizontales tales como capas sedimentarias.”

3.2.2 Configuración Wenner. Para entender la resistividad del terreno debe medirse por el método universal de cuatro puntos el cual fue elaborado y desarrollado por el Dr Frank Wenner (1915). Esta práctica ha de ser la más segura para captar y medir la resistividad promedio de volúmenes de suelos naturales de gran proporción, profundidad y áreas ruidosas superando en calidad a la técnica Dipolo-Dipolo la cual es útil para la detección de anomalías superficiales ya que si se hacen estudios a grandes profundidades los datos serían poco confiables dejando como resultado ser la configuración Wenner la indicada para el análisis del proyecto.

Figura 6. Esquema de montaje por el Método de Wenner



Fuente: Orrego, Karen Lorena; Tabares, Lina María. Análisis Metodología Box-Cox para medir resistividad del terreno.

Este método permite calcular la resistividad aparente del terreno al colocar cuatro electrodos en el suelo trazados en línea recta con igual distancia <<a>> uno del otro [4] “y enterrados a una profundidad que debe ser igual y menor al 5% del espaciamiento de los electrodos, luego estos se conectan a los bornes del instrumento de medida denominado telurómetro o Megger mediante cables aislados respectivos.

La configuración de Wenner presenta las siguientes ventajas:

- La interpretación de los valores de R medidos en terreno, es más directa en términos de resistividad aparente. Esto permite visualizar con facilidad la tendencia del grafico de campo.
- Los instrumentos pueden ser de menor sensibilidad que los empleados con la configuración de Schlumberger, Dipolo-Dipolo, ya que a medida que se separan los electrodos de Corriente, también lo hacen los de potencial.”

3.3 REALIZACION DEL ENSAYO

Para la realización del ensayo contamos con el respaldo de la Universidad Industrial de Santander, por medio del grupo de investigación Geomática, que nos facilitó el uso del SuperSting R8 con Wi-Fi para poder realizar las tomografías en el lote utilizado y a su vez el apoyo de un auxiliar que hace sus prácticas en dicho grupo.

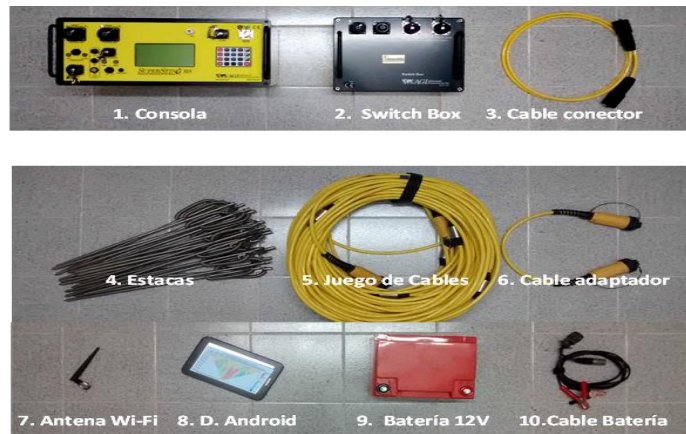
“El equipo de SuperSting R8 con Wi-Fi es un medidor de resistividad, polarización inducida y auto-potencial. Dispone de 8 canales, es decir, durante la medición, para cada inyección de corriente, la diferencia de potencial es medida en 8 electrodos de manera simultánea, lo que agiliza el proceso de medición”.

Para la realización del ensayo se siguieron una serie de pasos para obtener un óptimo desempeño del estudio.

3.3.1 Equipo. Para la planeación del ensayo, es básico conocer previamente el equipo SuperSting R8 con Wi-Fi, el cual consiste en los siguientes instrumentos:

1. Consola
2. Switch Box
3. Cable
4. Estacas
5. Juego de cables
6. Cable adaptador
7. Antena Wi-Fi
8. D. Android
9. Batería 12V
10. Cable.

Figura 7. Equipo usado en el levantamiento de Tomografías Eléctricas 2D



Fuente: Manual para levantamiento de Tomografías Eléctricas 2D.”

3.3.2 Procesamiento

1. Definir la línea por donde se realizará la tomografía de acuerdo con los objetivos del ensayo

Figura 8. Línea de Tomografía



Fuente: Propia

2. Medir la línea definida para decidir cada cuanto colocar los espaciamentos entre los pines.
3. Con la ayuda de una cinta métrica ubicar los pines de acuerdo al distanciamiento definido anteriormente, puede variar entre los 10 y 20 cms de profundidad, se debe desajustar los resortes de los pines a la hora de clavarlos en el suelo.
4. Se procede a extender el cable, teniendo en cuenta no causar enredos entre ellos, pues de un buen manejo en el orden de los cables depende que la medición sea exitosa.

Hay dos formas de extender los cables en campo:

- Si hay un buen espacio transversal a los pines y la distancia entre ellos es pequeña se puede hacer un armado como el que indica la figura.

Figura 9. Armado transversal del cable conector



Fuente: Manual para levantamiento de Tomografías Eléctricas 2D

- Si no hay suficiente espacio transversal y tampoco espacio entre los pines se recomienda hacer un armado como indica la figura 8.

Figura 10. Armado especial cable conector



Fuente: Propia

5. Se procede a unir los cables a los pines, para esto se estiran los resortes, de tal forma que se puedan enganchar con facilidad el cable, una vez se ubica el cable en el pin, se estira de vuelta el resorte hasta la parte posterior para asegurar, es

de sumo cuidado percatarse que la parte metálica del cable tenga contacto con los pines.

6. Teniendo ya el armado de los cables a los pines, se hace la conexión de los cables a la Switch Box, esto se hace de tal forma que en donde dice Low address se conecta la cabeza del cable que termina en el pin 28 y para la parte que dice High address section se conecta la cabeza del cable que comienza en el pin 29, usando un cable adaptador para este último pin.

7. Se conecta la Swith Box a la SuperSting con el respetivo cable conector, luego se conecta el equipo a la batería de 12 V, por razones de seguridad se conecta primero al polo positivo y luego al negativo.

8. Se enciende el equipo, se instala la antena Wi-Fi y se transfiere el archivo de comando al equipo.

9. Cuando ya está el archivo de comando cargado exitosamente, se procede a usar la Tablet como el control remoto del SuperSting.

10. Se prueba la conexión de los cables enviando corriente a todos los pines, si el test sale exitoso se procede a iniciar la medición. Por el contrario si sale algún error, se debe revisar si está mal conectado algún pin o está mal enterrado al suelo.

11. Luego el SuperSting irá tomando datos y le mostrará en pantalla: el número de la medición en que va, la corriente inyectada, la resistividad y el porcentaje de error de cada punto medido. El tiempo faltante para que termine la medición se muestra en la esquina superior derecha de la pantalla.

12. Una vez termina la toma de datos se procede a descargar los datos al dispositivo android.

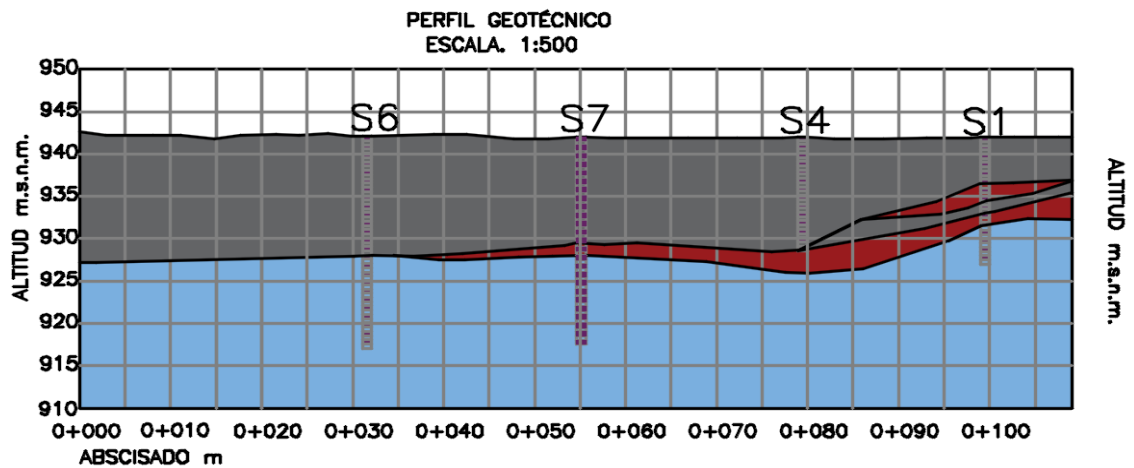
13. Por ultimo se apaga el equipo, se desconectan los cables de los pines, se recogen ordenadamente para guardarse en las cajas que venían, se limpian las estacas y se guarda todo el equipo.

4. ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 PERFIL CON BASE EN LOS SPT

De acuerdo con los 4 sondeos realizados en la zona de estudio se obtiene el perfil geotécnico:

Figura 11. Perfil Geotécnico



	Suelos de relleno, compuestos en su mayoría por arenas limosas.
	Bloques de roca compuesta por arenisca de grano fino.
	Suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas.

Fuente: Propia

En el perfil se puede apreciar que la zona gris es una zona de relleno del terreno, compuesta en su mayoría por arenas limosas, que de acuerdo a su profundidad varía su permeabilidad, color y otras características, la zona roja es donde los sondeos encontraron roca de arenisca de grano fino, muy resistente y la zona

celeste corresponde a suelos aluviales compuestos por arena arcillosas, con una permeabilidad media.

4.2 RESULTADOS DE LA TOMOGRAFIA

Luego de la realización del ensayo de tomografía se procedió a hacer la generación de las imágenes de resistividad o tomogramas, esto a través del software Earth Imager 2D.

Para esto se tiene que configurar un método de inversión para hallar las resistividades reales del subsuelo.

Existen 4 métodos de inversión, siendo estos los siguientes:

- Forward Modeling Only : Produce una sección de resistividad aparente a partir del modelo de resistividad inicial
- Damped Least Squares: Es un método rápido, pero ofrece una sección irregular y aproximada, debido a su falta de restricciones de rugosidad.
- Smooth Model Inversion: Es un método estable y seguro, es recomendable para todo tipo de datos.
- Robust Inversion: Tiene buen desempeño en datos con ruido y determina con efectividad los límites de resistividad.

Para este caso en particular se decidió trabajar con el Smooth Model Inversión por ser el método más recomendable, además de brindar una buena confiabilidad en los resultados a analizar.

En la realización de los perfiles de resistividades reales se puede agregar si se desea la topografía del lugar a analizar para que las resistividades encontradas se ajusten a la realidad de los cambios topográficos, en nuestro caso no se hizo este

procedimiento por la falta de variación en las cotas del terreno, era imperceptible algún cambio de nivel, siendo así realizado el perfil.

Una vez se generen las imágenes de resistividad o tomogramas se analiza cada metodología, en este caso las dos metodologías usadas: Wenner y Dipolo-Dipolo, para esto nos basamos en la tabla de Knodel en la cual se hace una estratificación de acuerdo a la resistividad del subsuelo.

Figura 12. Tabla Resistividades

Material	Resistividad (Ωm)	
	mínima	máxima
Grava	50 (saturada de agua)	$>10^4$ (seca)
Arena	50 (saturada de agua)	$>10^4$ (seca)
Limo	20	50
Marga	30	100
Arcilla (mojada)	5	30
Arcilla (seca)		>1000
Turbas, Fango	15	25
Arenisca	<50 (húmeda)	$>10^5$ (compacta)
Caliza	100 (húmeda)	$>10^5$ (compacta)
Esquisto	50 (húmeda)	$>10^5$ (compacta)
Roca ígnea y metamórfica	<100 (erosionada, húmeda)	$>10^5$ (compacta)
Sal de roca	30 (húmeda)	$>10^5$ (compacta)
Residuos domésticos e industriales	<1	>1000 (plastic)
Agua natural	10	300
Agua de mar (35% NaCl)	0,25	
Salmuera	$<0,15$	

Fuente: Knodel, Manual para levantamiento de Tomografías Eléctricas 2D

“Según la relación entre geología y resistividad; 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 bajo estudio; para ello

describiremos brevemente los valores de resistividad de las rocas más comunes, de algunos materiales de suelo y de sustancias químicas.”⁴

5.2.1 Configuración Wenner. Para analizar el tomograma se enumeran los diferentes cambios de resistividades y a continuación se describen detalladamente.

La resistividad aumenta de acuerdo al tamaño del grano y a la dureza del material. Teniendo en cuenta el tipo de litología presente en la zona de estudio, las resistividades altas indicarían posible material de roca o material fino en estado seco y duro, mientras que las bajas resistividades se asocian con material limoso y/o arcilloso, se presume que hay presencia de humedad en la zona.

1. Posible material de roca, procedente del relleno compuesto por arenas limosas, con presencia de grava gruesa y media.

Estos cambios de resistividades de color rojizo están comprendidos entre los 157 y 317 ohm-m a una profundidad aproximada de 7 m.

2. Resistividad moderada, posible material limoso.

Estos cambios de resistividades de color verde están comprendidos entre los 50 y 113 ohm- a una profundidad media de 7 mts y con profundidad media de 20 m en la zona identificada con el número 4.

3. Zona central de baja resistividad posiblemente material fino en estado húmedo.

Estos cambios de resistividades de color azul celeste están comprendidos entre los 19.2 y 50 ohm-m y se puede correlacionar con los limos encontrados en los SPT a una profundidad aproximada de 22 m.

⁴ Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (Tomografía eléctrica 2d y 3d). [Disponible en: <http://www.geotomosoft.com/Articulo.pdf>] [Citado 13 de Diciembre de 2014]

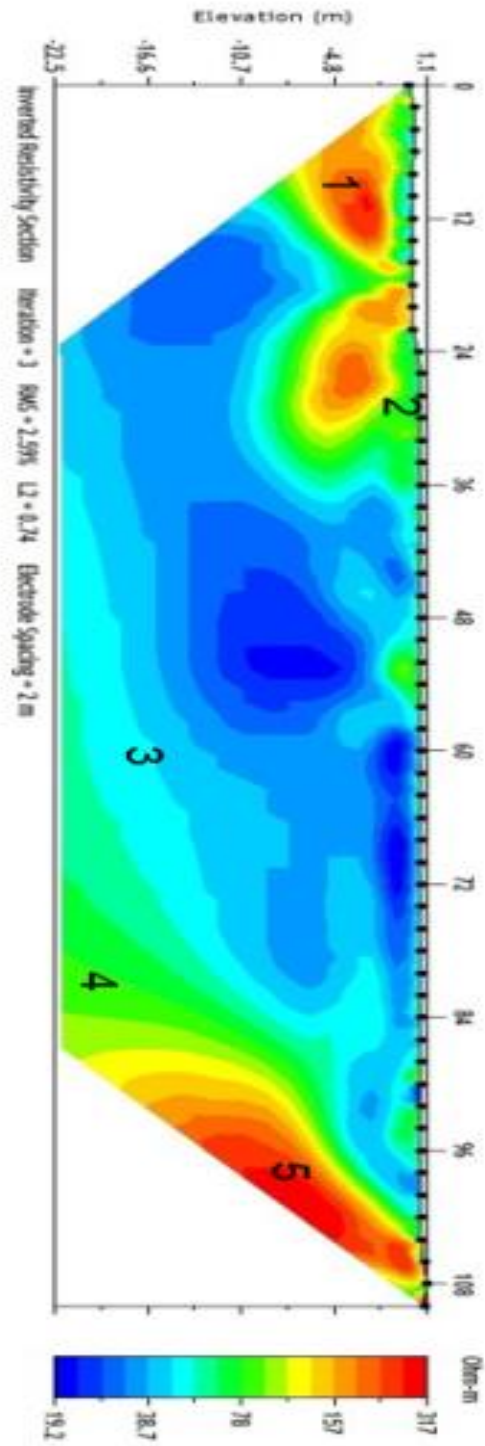
4. Resistividad moderada, posible material limoso o arcillas menos húmedas. Estos cambios de resistividades de color verde están comprendidos entre los 50 y 113 ohm-m a una profundidad aproximada de 22.5m.

5. Se presenta alta resistividad, esto se puede deber por tres razones:

- Al momento de realizar el ensayo había un montículo de arena en ese sector, esto pudo producir un ruido que afecto la medición.
- Posible material de roca.
- Material fino en estado seco.

Estos cambios de resistividades de color rojizo están comprendidos entre los 157 y 317 ohm-m a una profundidad aproximada de 20 m.

Figura 13. Perfil de resistividad real Wenner.



Fuente: Propia Ver Anexo 7

5.2.2 Configuración dipolo-dipolo. Para analizar el tomograma que se aprecia en el anexo se enumera los diferentes cambios de resistividades y a continuación se describen detalladamente.

1. Se presenta la resistividad más alta del tomograma, posible material de roca. Estos cambios de resistividades están comprendidos entre los 203 y 766 ohm- a una profundidad aproximada de 6 m.

2. Hay una resistividad baja, posiblemente material arcilloso. Estos cambios de resistividades están comprendidos entre los 4 y 14.3 ohm-m a una profundidad aproximada desde los 5 hasta los 22.1 m.

3. Hay una resistividad media que puede ser por material limoso en la zona. Estos cambios de resistividades están comprendidos entre los 34.4 y 120 ohm-m aproximadamente a una profundidad aproximada de 21.1 m.

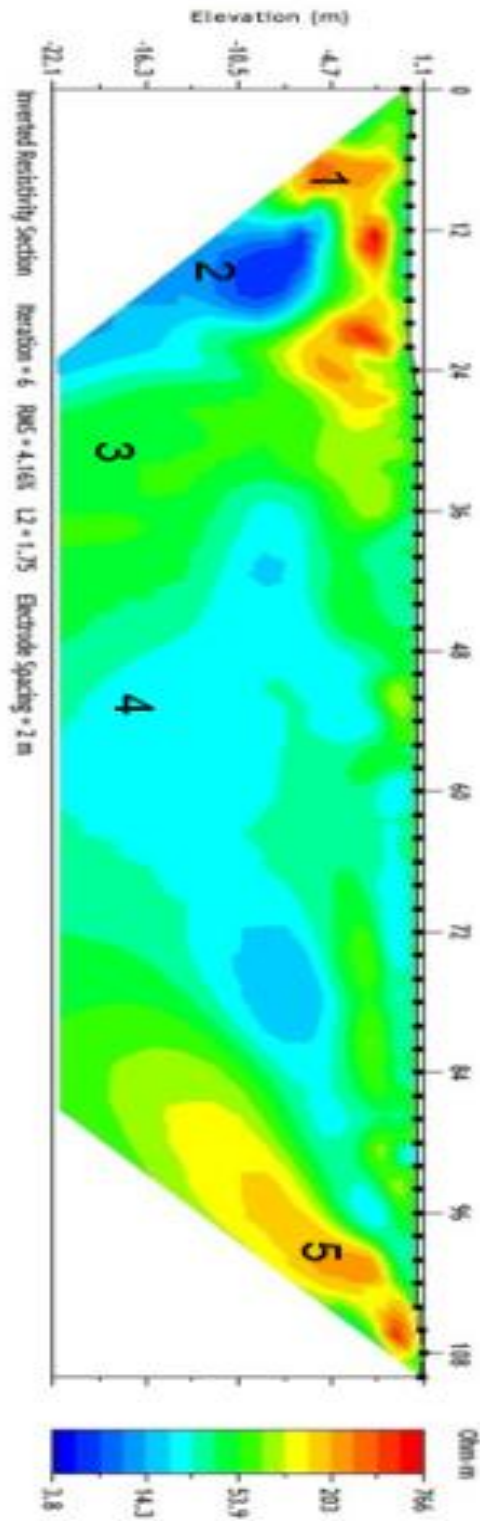
4. Se encuentra resistividad baja moderada que por limos con baja permeabilidad. Estos cambios de resistividades están comprendidos entre los 14.3 y 35 ohm-m a una profundidad aproximada de 4 hasta los 22.1 m.

5. Resistividad moderadamente alta, lo más probable es que sea material de roca en una profundidad de 5 metros.

Estos cambios de resistividades están comprendidos entre los 75 y 203 ohm-auna profundidad aproximada de 16.3 m.

Luego de analizar ambas configuraciones se puede ver claramente bastantes similitudes en los tomogramas, pero la configuración Wenner se ajusta más al perfil determinado mediante los sondeos, esto debido a que tiene una mayor precisión a profundidad en la interpretación de datos que la configuración dipolo-dipolo, que es más recomendable para estudios de poca profundidad y mayor detalle.

Figura 14. Perfil de resistividad real Dipolo-Dipolo.



Fuente: Propia Ver Anexo

5.2.3 Relación perfil con base en los SPT y el perfil de tomografía eléctrica.

Luego de realizar el perfil geotécnico con base en los ensayos de spt y posteriormente hacer el perfil de tomografía eléctrica con las configuraciones wenner y dipolo – dipolo se procede a relacionar estos ensayos mediante sus perfiles.

Se analiza la estratificación de ambos perfiles y se decide que el mejor perfil que se ajusta a los ensayos de spt es el de la configuración wenner, debido a su mayor coincidencia en los materiales encontrados.

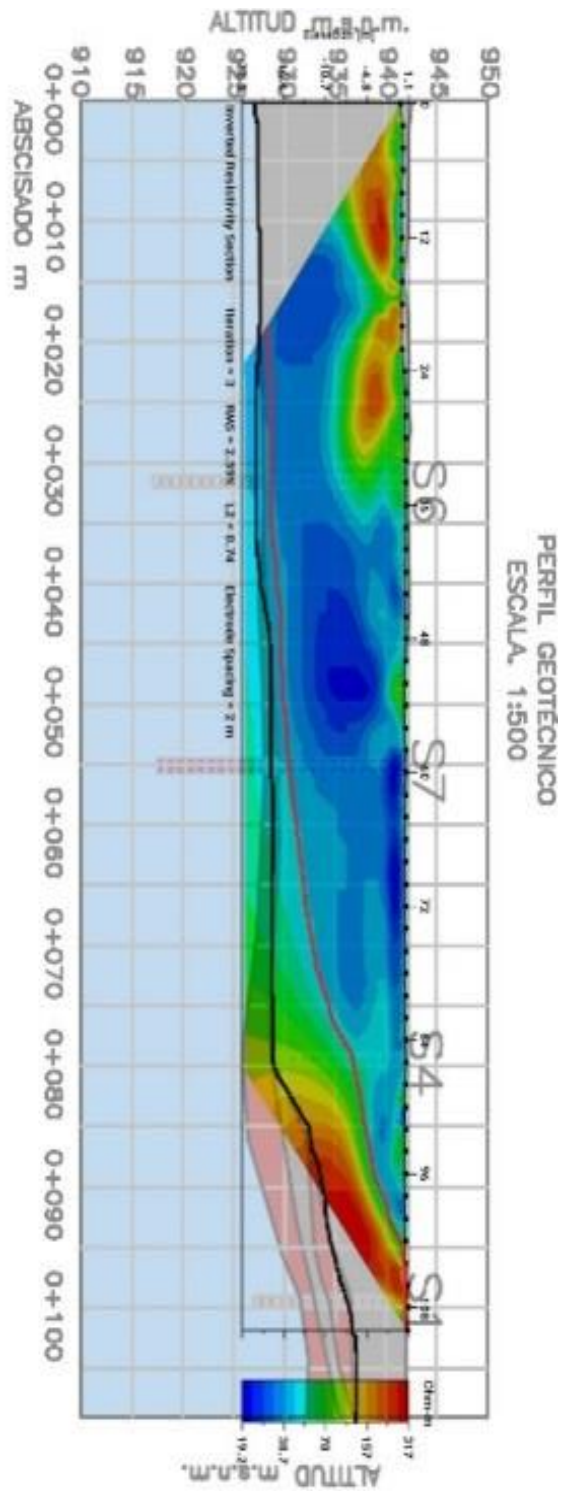
Luego de trazar ambas líneas, la de color negro es la línea de los sondeos SPT y la línea de rojo es la línea de tomografía, se puede apreciar una gran similitud en el terreno, hay una buena aproximación en la relación de la configuración Wenner con el perfil geotécnico, se analiza una profundidad de aproximadamente 20 metros, en la zona del sondeo 1 se puede ver que hay material de roca, en el tomograma se observa que la resistividad es bastante alta, lo cual indica que hay una incidencia en el resultado.

En la zona del sondeo 4 empieza a descender el material de relleno, lo cual se indica en el descenso de ambas curvas, luego aumenta la resistividad y se vuelve a encontrar fragmentos de roca.

En la zona central se encuentra el sondeo 7, se mantiene constante la profundidad de relleno respecto al sondeo 4, en el tomograma se ve baja resistividad posiblemente material arcilloso en estado húmedo, concuerda ambos perfiles.

En el sondeo 6 ya no se encuentran fragmentos de roca, ya es homogéneo la zona de relleno de arenas limosas, debajo de las líneas trazadas en los perfiles se puede indicar que se encuentra los suelos aluviales.

Figura 15. Perfil de relación entre SPT y Tomografía.



Fuente: Propia Ver Anexo 8

6. CONCLUSIONES

- A partir de la zonificación sísmo geotécnica del área metropolitana de Bucaramanga hecha por el Ingeominas, se pudo realizar la caracterización del lote escogido para hacer el estudio geofísico, esto para realizar un análisis eficaz del terreno ya que es de vital importancia caracterizar la zona geológica y geotécnicamente, con el fin de hacer un análisis comparativo con el método geofísico.

-Se interpretó los resultados obtenidos luego de realizar el ensayo de tomografía mediante el software Earth Imager 2D, se usó el método de inversión Smooth Model Inversion por ser el más estable y seguro, el cual se recomienda para todo tipo de datos.

-Se realizó un perfil geotécnico con los SPT obtenidos del lote, hay que indicar que este perfil es algo impreciso en ciertas zonas porque faltó información de más sondeos, por ejemplo hubiese sido interesante tener un ensayo de SPT entre la abscisa K0+000 y K0+020, para definir con mayor certeza el tipo de material en esa zona.

-Si bien se realizó un estudio geofísico del área metropolitana de Bucaramanga mediante las tomografías eléctricas, hizo falta información de los sondeos de SPT para correlacionar con más certeza ambos métodos, aún así se puede decir que los estudios geofísicos presentan una alternativa a la hora de analizar las condiciones litológicas a profundidad y lateralmente del subsuelo.

-Si se analiza el perfil de relación entre SPT y tomografía se puede concluir que si no se tiene adversidades en la toma de datos, se puede hacer una buena aproximación entre ambos métodos, para este caso se encuentra coincidencias en

la zona del sondeo 1, donde la alta resistividad en el tomograma tiene relación con el SPT, donde hubo rechazo, esto lleva a concluir que hay material muy duro o roca. Por otra parte en la zona central de los sondeos 4 y 7 hay relación en la superposición, se puede afirmar que hay presencia de arenas limosas, presuntamente con una considerable presencia de humedad, lo que indicaría que hay una baja permeabilidad; hay una buena cercanía en la estratificación del subsuelo, pero pudo ser mejor el resultado, debido a que cuando se realizó el ensayo de tomografía se presentaron dificultades en ciertas zonas, como algún ruido producido por montículos de arena.

-Luego de realizar el ensayo se recomienda que para mediciones en terrenos de considerable profundidad se utilice la configuración Wenner, debido a que es más segura para captar y medir la resistividad promedio de volúmenes de suelos naturales de gran proporción, profundidad y áreas ruidosas superando en calidad a la técnica Dipolo-Dipolo, que se sugiere para exploraciones más superficiales.

BIBLIOGRAFIA

Zonificación sismo geotectónica indicada del área metropolitana de Bucaramanga, [citado 7 de diciembre del 2014].

Ensayo SPT; http://www.academia.edu/7943017/ENSAYO_SPT, [citado 13 de diciembre de 2014].

Técnicas prácticas para investigación de resistividad en dos y tres dimensiones (tomografía eléctrica 2d y 3d); <http://www.geotomosoft.com/Articulo.pdf>, [citado 13 de diciembre de 2014].

CÁRDENAS VALENCIA, Juan David. GALVIS GARCÍA Esteban; Manual para la interpretación del perfil de resistividad obtenido al realizar el estudio de la resistividad del suelo a partir de las configuraciones del método de Wenner; Pregrado; Universidad Tecnológica de Pereira, 2011.

GÓMEZ, Yuseth; Manual para el levantamiento de tomografías eléctricas en 2D; Pregrado; Universidad Industrial de Santander, 01 de Enero del 2014.

ANEXOS

Anexo A. Clasificación geológica

FORMACION BUCARAMANGA		Qblr Miembros limos rojos	Arenas arcillosas gravosas y limos de colores rojizos, amarillentos y naranjas, existen esporadicos bloques angulares grandes, de arenisca, asociados superficialmente a este miembro
		Qbg Miembro gravoso	Deposito fluvioaluvial con niveles gravosos, gravoarenosos y gravolodosos. Cantos subredondeados a subangulares de areniscas y rocas igneas, en matriz areno-arcillo-limosa, color pardo rojizo, rojizo y ocre pálido
		Qbf Miembros finos	Depositos con niveles arcillo-limosos plásticos de colores grises a verdes hacia la base. Hacia el techo predominan niveles areno-limosos y limoarenosos arcóscicos de colores amarillento a pardo amarillento.
		Qbo Miembro organos	Deposito fluvioaluvial compuesto por una serie monotona de fragmentos gruesos polimicticos, de aspecto conglomeratico, en alternancia con capas y lentes limo arenosos, con variaciones laterales y verticales en composición y textura.

Fuente: Zonificación sismo geotécnica indicativa del área metropolitana de Bucaramanga

Anexo B. Registros de sismos en el Departamento de Santander

					Parametros de Consulta			
					Fecha Inicial	01/06/1993		
					Fecha Final	07/10/2014		
					Departamento	SANTANDER		
					Municipio	BUCARAMANGA		
					Total Registros	86		
					Red Sismologica Nacional de Colombia			
Fecha aaaa/mm/dd	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	Departamento	Municipio	Profundidad Km	Estado
06/04/1998	08:53:59	2.9	-73.118	7.117	SANTANDER	BUCARAMANGA	140	Revisado
21/11/1998	17:31:00	2.4	-73.164	7.179	SANTANDER	BUCARAMANGA	164	Revisado
22/08/1999	12:35:10	2.6	-73.087	7.184	SANTANDER	BUCARAMANGA	122.4	Revisado
21/08/2000	09:16:36	3.2	-73.066	7.109	SANTANDER	BUCARAMANGA	80	Revisado
24/09/2001	19:02:45	2.3	-73.065	7.125	SANTANDER	BUCARAMANGA	134	Revisado
26/01/2002	05:46:57	2.2	-73.148	7.167	SANTANDER	BUCARAMANGA	134	Revisado
16/05/2002	04:08:25	2.9	-73.101	7.15	SANTANDER	BUCARAMANGA	156.6	Revisado
02/06/2002	20:51:43	2.4	-73.165	7.143	SANTANDER	BUCARAMANGA	126	Revisado
04/10/2002	08:47:17	2.4	-73.062	7.184	SANTANDER	BUCARAMANGA	133.4	Revisado
18/11/2003	04:58:29	2.1	-73.058	7.18	SANTANDER	BUCARAMANGA	152.7	Revisado
19/05/2004	06:56:01	2.1	-73.141	7.171	SANTANDER	BUCARAMANGA	143.6	Revisado
02/05/2005	08:31:22	2.2	-73.028	7.129	SANTANDER	BUCARAMANGA	119.7	Revisado
02/09/2006	08:57:43	2.3	-73.055	7.124	SANTANDER	BUCARAMANGA	155.1	Revisado
29/04/2007	13:13:53	3.1	-73.148	7.156	SANTANDER	BUCARAMANGA	122.8	Revisado
06/07/2007	07:33:31	3	-73.068	7.157	SANTANDER	BUCARAMANGA	142.1	Revisado
06/07/2008	20:23:13	2.2	-73.138	7.103	SANTANDER	BUCARAMANGA	100.1	Revisado
28/07/2008	18:02:57	2.8	-73.107	7.14	SANTANDER	BUCARAMANGA	126	Revisado
05/02/2009	03:28:31	2.4	-73.165	7.149	SANTANDER	BUCARAMANGA	128.7	Revisado
10/03/2009	20:23:50	2.5	-73.096	7.161	SANTANDER	BUCARAMANGA	115.9	Revisado
02/06/2010	16:58:52	2.2	-73.102	7.197	SANTANDER	BUCARAMANGA	145.8	Revisado
02/08/2010	17:30:36	2.1	-73.15	7.106	SANTANDER	BUCARAMANGA	125.5	Revisado
02/08/2010	20:32:16	2.4	-73.059	7.177	SANTANDER	BUCARAMANGA	150.2	Revisado
07/10/2010	13:05:00	2.2	-73.028	7.136	SANTANDER	BUCARAMANGA	107.8	Revisado
29/11/2010	08:19:53	2	-73.047	7.163	SANTANDER	BUCARAMANGA	147.4	Revisado
26/09/2011	00:15:46	2.2	-73.123	7.15	SANTANDER	BUCARAMANGA	142.6	Revisado
28/09/2011	14:16:51	2.1	-73.053	7.181	SANTANDER	BUCARAMANGA	152.9	Revisado
08/11/2011	12:41:12	2	-73.07	7.182	SANTANDER	BUCARAMANGA	145	Revisado
29/07/2012	19:14:29	2.6	-73.094	7.162	SANTANDER	BUCARAMANGA	155.2	Revisado
31/10/2012	02:38:09	2.4	-73.095	7.211	SANTANDER	BUCARAMANGA	159.6	Revisado
04/01/2013	01:46:13	2.1	-73.134	7.161	SANTANDER	BUCARAMANGA	152.8	Revisado
28/09/2013	06:38:16	2	-73.06	7.175	SANTANDER	BUCARAMANGA	152.1	Revisado
05/04/2014	23:36:02	2.5	-73.143	7.134	SANTANDER	BUCARAMANGA	148	Revisado
02/05/2014	02:04:01	2.3	-73.077	7.208	SANTANDER	BUCARAMANGA	158	Revisado
22/05/2014	17:59:33	2	-73.096	7.154	SANTANDER	BUCARAMANGA	154.5	Revisado

Fuente: Red Sismológica nacional de Colombia

Anexo C. Sondeo 1

Ensayo de SPT # 1

N° de Golpes		N SPT					PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL							
0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"	0	5	10	15						20	25	30	35	40	45	50
5	9	18													0.5	SM	[Fotografías de muestras de suelo]	Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo permeables, de consistencia media y densa, algo húmedos, de color abano-marrón claro gris claro. Con presencia de: grava fina, media y gruesa, ladrillo y concreto.
6	5	4												1				
10	10	7												1.5				
7	4	5												2				
6	4	5												2.5				
5	6	5												3				
5	5	6												3.5				
15	14	10												4				
12	13	15												4.5	SS	[Fotografías de muestras de suelo]	Suelos de relleno compuestos por limos arenosos, poco permeables, de consistencia densa, algo húmedos, de color abano-rojo-rosado. Con grava media a gruesa y ladrillo.	
21	22	22												5				
18	23	37												5.5				
RT	RT	RT												6				
RT	RT	RT												6.5				
RT	RT	RT												7				
RT	RT	RT												7.5				
RT	RT	RT												8				
5	8	11												8	SC	[Fotografías de muestras de suelo]	Suelos de relleno compuestos por arenas arcillas, algo permeables, de consistencia media, saturados, de color abano-marrón claro-blanco-rosado. Con presencia de grava fina y media.	
10	17	10												8.5				
13	15	15												9	SS	[Fotografías de muestras de suelo]	Bloques de roca de arenisca de grano fino, muy resistente, de color beige-blanco-gris. Con presencia de suelo.	
RT	RT	RT												9.5				
RT	RT	RT												10			Bloques de roca de arenisca de grano fino, muy resistente, de color beige-blanco-naranja-gris. Con presencia de micas. →	

CONVENCIONES			
[Patrón de líneas horizontales]	Suelo Suelto	[Patrón de líneas diagonales]	Cañada
[Patrón de líneas verticales]	Aluvial	[Patrón de líneas horizontales]	Roca
[Patrón de líneas diagonales]	Coluvial	[Patrón de líneas diagonales]	Relleno
[Patrón de líneas horizontales]	Residual		

Proyecto		Sondeo	1
Localización	Diagonal 105 # 104E - 247 Barrio el Porvenir	Fecha	05-may-14
Cliente		Nivel Freático	6.50 Metros

N° de Golpes			N SPT	PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRAFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL
0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"						Método de Perforación: ROTACIÓN
RT	RT	RT		10.5	SS			←
6	7	10		11	ML			Suelos aluviales compuestos por limos arenosos, poco permeables, medio firmes, saturados, de color abano-marrón claro-blanco. Con gravas finas y gruesas.
11	13	17		11.5				
15	13	15		12	SC			
20	20	22		12.5				
RT	RT	RT		13				
RT	RT	RT		13.5				
RT	RT	RT		14				No se recuperó muestra
9	14	13		14.5				
12	10	11		15				
				15.5				
				16				
				16.5				
				17				
				17.5				
				18				
				18.5				
				19				
				19.5				
				20				


CONVENCIONES

Suelo Suelto	Cañada
Aluvial	Roca
Coluvial	Relleno
Residual	

Fuente: E.D. Ingeotecnia S.A.S

Anexo D. Sondeo 4

Ensayo de SPT # 4

 Construsuelos de Colombia S.A.S. REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO														
PROYECTO:														
CLIENTE:				LOCALIZACION: MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER					Coordenadas X Y					
Tipo sondeo PERCUSION Y ROTACION DOBLE BARRIL HQ			Inicio Ejecución 29-10-2013		Fin Ejecución 05-11-2013		SONDEO N° 4	OPERADOR CARLOS CABRERA		SUPERVISOR ING. MIGUEL CAMARGO				
Escala	Litología	Descripción	Cota	N° Golpes Ensayo S.P.T. 6"-12"-18"	Método Perforación	N° Muestra	SUCS	Nivel Freatico	Humedad (%)	L.L (%)	L.P (%)	Ip (%)	Pasa 200 (%)	
0.0	Material de relleno compuesto principalmente por arena arcillosa color marrón moderado, presenta compacidad relativa medianamente densa, presencia de fragmentos líticos provenientes de diferentes litologías.		0.45	3-4-5 de 0,00 a 0,45 m	Spt									
1.0			0.90	5-6-10 de 0,45 a 0,90 m	Spt	1			9.21					
			1.35	5-5-6 de 0,90 a 1,35 m	Spt									
2.0			1.80	7-6-6 de 1,35 a 1,80 m	Spt	2			9.8					
			2.25	6-7-7 de 1,80 a 2,25 m	Spt									
			2.70	5-5-4 de 2,25 a 2,70 m	Spt	3			11.8					
3.0			3.15	6-7-4 de 2,70 a 3,15 m	Spt									
			3.60	4-5-5 de 3,15 a 3,60 m	Spt	4			15.37					
4.0			4.05	6-7-8 de 3,60 a 4,05 m	Spt									
			4.50	8-9-6 de 4,05 a 4,50 m	Spt	5	SC		19.89	24.00	13.24	10.76	38.49	
			4.95	6-5-5 de 4,50 a 4,95 m	Spt									
5.0			5.40	4-4-5 de 4,95 a 5,40 m	Spt	6			7.59					
		5.85	6-7-7 de 5,40 a 5,85 m	Spt										
6.0		6.30	7-6-5 de 5,85 a 6,30 m	Spt	7			9.72						
		6.75	6-5-5 de 6,30 a 6,75 m	Spt										
7.0		7.20	6-7-9 de 6,75 a 7,20 m	Spt	8			15.74						
		7.65	6-5-4 de 7,20 a 7,65 m	Spt										
8.0		8.10	6-8-9 de 7,65 a 8,10 m	Spt	9			14.53						
		8.55	7-8-9 de 8,10 a 8,55 m	Spt										
9.0		9.00	9-10-10 de 8,55 a 9,00 m	Spt	10	SC		15.41	26.00	14.42	11.58	37.11		
		9.45	10-16-29 de 9,00 a 9,45 m	Spt	11			6.04						
10.0	Material de relleno compuesto principalmente por arena arcillosa color marrón moderado, presenta compacidad relativa muy densa, presencia de fragmentos líticos provenientes de diferentes litologías.		9.90	30-40-49 de 9,45 a 9,90 m	Spt	12		5.11						
			11.40	Barrena de 9,90 a 11,40 m	Barrena	13		12.95						
			11.85	40-46-54R de 11,40 a 11,85 m	Spt	14		9.98						
12.0														
13.0			13.35	Barrena de 11,85 a 13,35 m 44R	Barrena Spt	15	SC	20.66	34.00	17.74	16.26	46.43		

Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta Cerrada Nomenclatura: TIPO-SPT: Penetrómetro Estándar (Cuchara Partida), Sk- Tubo Shelby, SUCS-Sistema Internacional Unificada de Clasificación de Suelos, Wn-Contenido de Humedad, Sondeo: ROTACION DOBLE BARRIL HQ Nomenclatura: LL-Límite Líquido, LP-Límite Plástico, IP-Índice Plástico, PASA 200-pasante del tamiz 200, N-Número de golpes SPT (Usando Martillo Donut), NP: Material NO Plástico.

Fuente: Construsuelos de Colombia S.A.S

Anexo E. Sondeo 6

Ensayo de SPT # 6

N° de Golpes		N SPT										PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL			
0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"	0	5	10	15	20	25	30	35	40						45	50	Método de Perforación: ROTACIÓN
12	14	13													0,5	SM			Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo permeables, medio densos, algo húmedos, de color marrón claro-rojo. Con grava gruesa y media, y ladrillo.
12	14	10												1					
6	6	6												1,5					
6	6	6												2					
6	8	6												2,5					
9	7	6												3					
7	10	10												3,5					
15	16	16												4					
15	19	19												4,5					
19	17	17												5					
4	2	2												5,5	SC			Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo permeables, muy sueltos, algo húmedos, de color rojo-marrón claro. Con grava media-gruesa, y ladrillo.	
1	1	3												6					
18	20	26												6,5					
26	16	11												7					
RT	RT	RT												7,5					
RT	RT	RT												8					
9	12	12												8,5					
10	8	10												9					
8	10	8												9,5					
12	12	13												10					

CONVENCIONES

- | | |
|--------------|---------|
| Suelo Suelto | Cañada |
| Aluvial | Roca |
| Coluvial | Relleno |
| Residual | |








Proyecto		Sondeo	6
Localización	Diagonal 105 # 104E - 247 (Barrio el Porvenir)	Fecha	05-sep-14
Cliente		Nivel Freático	No se halló

N° de Golpes			N SPT	PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL
0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"						
7	4	6		10,5	SC			Suelos de relleno compuestos por arenas arcillosas, algo permeables, medio densos, húmedos, de color marrón oscuro-rojo. Con grava media a gruesa y ladrillo.
7	9	9		11				
10	8	16		11,5				
8	14	23		12				
10	8	9		12,5				
7	14	14		13				
6	7	7		13,5				
6	6	8		14	CL-SC		Suelos de relleno compuestos por arenas arcillosas, algo permeables, medio densos a densos, húmedos, de color marrón oscuro-marrón claro. Con grava gruesa.	
5	6	6		14,5				
8	12	12		15				
12	13	16		15,5				
14	13	14		16				
RT	RT	RT		16,5				
7	7	9		17				CL
11	9	10		17,5				
10	13	16		18				
20	20	25		18,5				
20	20	20		19				
20	23	24		19,5	SC		Suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas, algo permeables, muy densos, húmedos, de color gris claro-marrón claro-rojo amarillento. Con gravas finas.	
RT	RT	RT		20				

CONVENCIONES

	Suelo Suelto		Cañada
	Aluvial		Roca
	Coluvial		Relleno
	Residual		

Proyecto		Localización		Sondeo				
		Diagonal 105 # 104E - 247 (Barrio el Porvenir)		6				
Cliente				Fecha				
				18-sep-14				
				Nivel Freático				
				No se halló				
N° de Golpes			N SPT	PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL
0 - 6"	6 - 12"	12 - 18"						Método de Perforación: ROTACIÓN
11	16	19		20,5	SC	[Fotografía de muestra]	Suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas, algo permeables, de medio densos a densos, húmedos, de color rojo-marrón claro-rojo amarillento. Con grava fina.	
19	19	19		21				
9	9	10		21,5				
13	15	16		22	ML	[Fotografía de muestra]	Suelos aluviales compuestos por limos arcillosos, poco permeables, muy firmes, húmedos, de color verde-gris verdoso.	
10	13	16		22,5				
20	22	25		23	SC	[Fotografía de muestra]	Suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas, algo permeables, densos, húmedos, de color gris claro-marrón claro-verde con betas de color blanco. Con grava fina y gruesas, y micas.	
20	24	26		23,5				
26	27	29		24				
18	22	27		24,5				
29	29	31		25				
				25,5				
				26				
				26,5				
				27				
				27,5				
				28				
				28,5				
				29				
				29,5				
				30				

CONVENCIONES	
	Suelo Suelto
	Aluvial
	Coluvial
	Residual
	Cañada
	Roca
	Relleno

Fuente: E.D. Ingeotecnia S.A.S

Anexo F. Sondeo 7

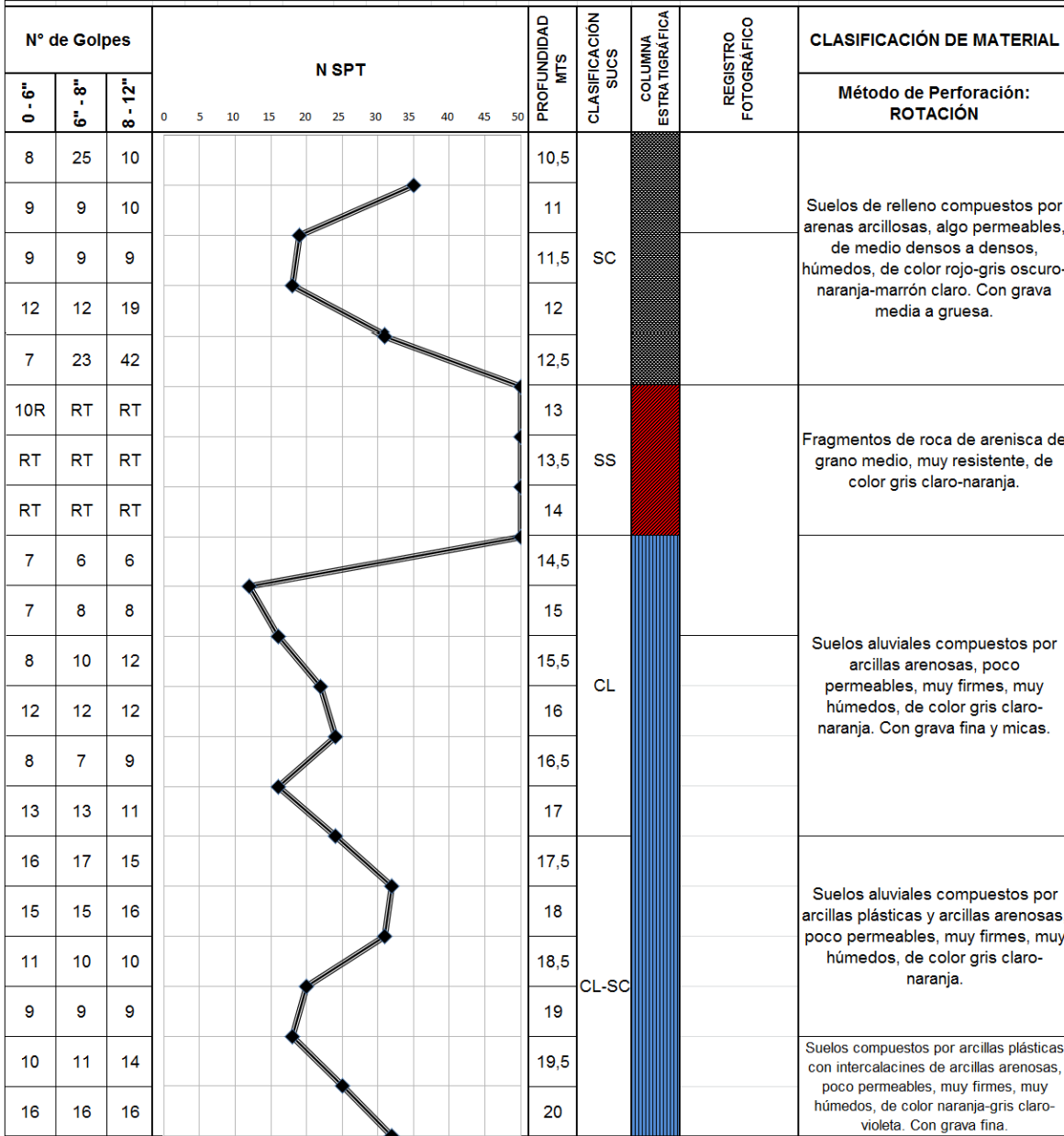
Ensayo de SPT # 7

N° de Golpes		N SPT	PROFUNDIDAD MTRS	CLASIFICACIÓN SUCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL		
0 - 10	10 - 30							30 - 50	
<p style="text-align: right;">F-ED-05 Versión 1 18/11/2013</p> <p style="text-align: center;">ANÁLISIS ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL Y MUESTREO CON TUBO PARTIDO DE LOS SUELOS I.N.V. E - 111</p>									
Proyecto			Sondeo		7				
Localización			Fecha		19-ago-14				
Cliente			Nivel Freático		7.80 Metros				
<p style="text-align: center;">Método de Perforación: ROTACIÓN</p>									
4	4	5	0,5	SM			Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo húmedos, algo permeables, medio densos, de color marrón oscuro-naranja-rojo. Con grava fina y media, y ladrillo.		
6	8	14	1						
8	5	6	1,5						
8	6	3	2						
3	3	3	2,5						
2	2	4	3						
2	3	3	3,5						
3	3	3	4						
4	5	5	4,5						
4	3	3	5						
6	5	6	5,5	SM-SC			Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo permeables, Suelos, algo húmedos, de color naranja-marrón. Con ladrillo, grava fina a media.		
7	6	5	6						
5	6	6	6,5						
6	6	6	7						
6	6	6	7,5						
6	7	6	8						
6	6	6	8,5						
6	6	6	9						
11	11	8	9,5	SM					Suelos de relleno compuestos por arenas limosas, algo permeables, medio densos, húmedos, de color marrón claro. Con grava gruesa y ladrillo.
10	8	6	10						

CONVENCIONES

	Suelo Suelto		Cañada
	Aluvial		Roca
	Coluvial		Relleno
	Residual		

Proyecto		Sondeo	2
Localización		Fecha	08-may-14
Cliente		Nivel Freático	7.80 Metros










CONVENCIONES

	Suelo Suelto		Cañada
	Aluvial		Roca
	Coluvial		Relleno
	Residual		

Proyecto		Sondeo	3
Localización		Fecha	09-may-14
Cliente		Nivel Freático	9.30 Metros

N° de Golpes			N SPT	PROFUNDIDAD MTS	CLASIFICACIÓN SUJCS	COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	REGISTRO FOTOGRAFICO	CLASIFICACIÓN DE MATERIAL
0 - 6"	6" - 8"	8 - 12"						
			0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50					
11	14	15		20,5		[Columna Estratigráfica]		Suelos compuestos por arcillas plásticas con intercalaciones de arcillas arenosas, poco permeables, muy firmes, muy húmedos, de color naranja-gris claro-violeta. Con grava fina.
15	17	20		21	CL-SC			
13	13	13		21,5				
15	17	17		22				
RT	RT	RT		22,5	CL			Suelos aluviales compuestos por arcillas, poco permeables, duros, muy húmedos, de color verde-naranja. Con micas y grava media.
13	18	25		23	SC-CL			Suelos aluviales compuestos por arenas arcillosas e intercalaciones de arcillas, algo permeables, de densos a muy densos, muy húmedos, de color verde-naranja. Con grava fina.
33	33	32		23,5				
25	30	32		24				
41	50	51		24,5				
				25				
				25,5				
				26				
				26,5				
				27				
				27,5				
				28				
				28,5				
				29				
				29,5				
				30				

CONVENCIONES			
	Suelo Suelto		Cañada
	Aluvial		Roca
	Coluvial		Relleno
	Residual		