

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y LABORATORIO**



JUAN CAMILO JEREZ GÓMEZ



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE
OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y LABORATORIO**



JUAN CAMILO JEREZ GÓMEZ

**Trabajo de grado para optar al título de
Magister en Geotecnia**

**DIRECTOR:
Ing. MSc. HEBENLY CELIS LEGUIZAMON**

**CODIRECTOR:
ING. MIGUEL ROBERTO SILVA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

A mi madre, que la amo, gracias por estar siempre a mi lado y brindarme su inmenso cariño y apoyo incondicional en todo momento.

A mi padre que lo quiero mucho, gracias por su gran apoyo para poder llegar a esta nueva meta.

A mis hermanas y familiares que compartieron conmigo a lo largo de este camino mis alegrías, tristezas y me animaron con sus palabras y consejos.

A mis amigos, compañeros, y personas importantes para mí.

Juan Camilo Jerez Gómez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a mi directora de proyecto la Ing. M Sc. Hebenly Celis Leguizamon y a mi Codirector el Ing. Miguel Roberto Silva, por su colaboración y apoyo en todo lo que estuvo a su alcance y sus valiosos comentarios y recomendaciones.

Al cuerpo en general de profesores, por compartir sus valiosos conocimientos y experiencias, que contribuyeron con mi proceso de formación tanto integral como intelectual, para mi futuro desarrollo profesional.

A todos mis amigos, compañeros y personas que contribuyeron en mi formación integral como estudiante y brindaron su constante apoyo.

Al Ingeniero Miguel Roberto Silva y a la Empresa Construsuelos de Colombia S.A.S por la asesoría y la gran colaboración en el desarrollo de los ensayos de campo y de laboratorio que hicieron posible el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	17
1. GENERALIDADES	18
1.1 Objetivos	18
1.1.1. Objetivo general	18
1.1.2. Objetivos específicos	18
1.2 Justificación.....	18
1.3 Alcance del proyecto y actividades realizadas	19
1.4 Normatividad	20
1.5 Localización de los sondeos	20
1.5.1 Sitio No. 1(Calle 20 No. 31-81)	20
1.5.2 Sitio No. 2 (Calle 21 No. 29-55)	21
1.5.3 Sitio No. 3 (Calle 14 No. 25-30)	21
2. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	24
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL	24
2.1.1 Estratigrafía regional.....	25
2.1.2 Geología estructural regional.....	28
2.1.3 Geomorfología regional	28
2.2 GEOLOGÍA LOCAL	29
2.2.1 Litoestratigrafía local.....	29
2.2.2 Geología estructural local	30
2.2.3 Geomorfología local.....	30
2.3 HIDROGEOLOGÍA	30
3. ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR (SPT), ENSAYOS DE LABORATORIO Y FACTORES DE CORRECCIÓN POR ENERGIA.....	32
3.1 Ensayo de penetración estándar (SPT)	32
3.1.1 Ensayo de penetración estándar manual	32
3.1.2 Ensayo de penetración estándar normatizado (ASTM D1586-11)	33
3.2 Ensayos de Laboratorio	36

3.2.1 Ensayo de Corte Directo	37
3.2.2 Ensayo Triaxial.....	38
3.3 Factores de afectación de los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT)	40
3.4 Factores de corrección del ensayo de penetración estandar (SPT) por perdidas de energía.....	45
3.4.1 Factor de corrección de sobrecarga.....	46
3.4.2 Factor de Corrección por energía	47
3.4.3 Factor de Corrección por longitud de las varillas	48
3.4.4 Factor de Corrección por el diámetro de la perforación.....	49
3.4.5 Factor de Corrección del revestimiento	50
3.4.6 Factor de Corrección del bloque de impacto	50
3.4.7 Factor de Corrección de la frecuencia del número de golpes.....	51
3.4.8 Factor de Corrección del amortiguador del martillo	51
4. RESULTADOS DE LOS SONDEOS Y DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO	53
4.1 Resultados de los ensayos de laboratorio.....	53
4.1.1 Resumen ensayos de laboratorio.....	53
4.2 Corrección por energía del número de golpes: N_{60} y $N_{1,60}$	54
4.3 Resultados del ensayo Triaxial	56
4.4 Caracterización Geotécnica.....	57
5. CALCULO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE	60
5.1 Cálculo del ángulo de fricción	60
5.2 Calculo de la Capacidad de Soporte	62
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	66
6.1 Comparación de los resultados obtenidos para el ángulo de fricción	66
6.2 Comparación de los resultados de capacidad de soporte de los suelos	68
7. CONCLUSIONES	69
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	73

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas de los vértices del lote	20
Tabla 2. Coordenadas de los vértices del lote.....	21
Tabla 3. Coordenadas de los vértices del lote.....	21
Tabla 4. Observaciones de Navfac (1982) al ensayo SPT.	40
Tabla 5. Observaciones de Broms y Flodin (1988) al ensayo SPT.	42
Tabla 6. Observaciones de Tokimatsu (1988) al ensayo SPT.....	43
Tabla 7. Observaciones de Decourt (1990) al ensayo SPT.....	44
Tabla 8. Observaciones de Kulhawy y Trautmann (1996) al ensayo SPT.....	44
Tabla 9. Factores de Corrección de Sobrecarga.	46
Tabla 10. Factor de Corrección por Energía (De seed et al., 1985)	48
Tabla 11. Factor de Corrección por longitud de las varillas (Tokimatsu, 1988).	48
Tabla 12. Factor de corrección por el diámetro de la perforación.....	49
Tabla 13. Factores de corrección del revestimiento (según Youd e Idriss, 1997).....	50
Tabla 14. Factor de corrección según el bloque de impacto (Tokimatsu, 1988).	51
Tabla 15. Factor de corrección de la frecuencia del conteo de golpes.....	51
Tabla 16. Factor de corrección del amortiguador del martillo (Decourt, 1990) .	51
Tabla 17. Ensayos de laboratorio realizados.....	53
Tabla 18. Resumen ensayos de laboratorio sitio 1.....	53
Tabla 19. Resumen ensayo corte directo sitio 1.....	54
Tabla 20. Resumen ensayos de laboratorio sitio 2.....	54
Tabla 21. Resumen ensayo corte directo sitio 2.....	54
Tabla 22. Resumen ensayos de laboratorio sitio 3.....	54
Tabla 23. Resumen ensayo corte directo sitio 3.....	54
Tabla 24. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 1 – Sondeo normatizado.....	55
Tabla 25. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 1 – Sondeo manual.....	55
Tabla 26. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 2 – Sondeo normatizado.....	55
Tabla 27. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 2 – Sondeo manual.....	55
Tabla 28. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 3 – Sondeo normatizado.....	56
Tabla 29. Valores de N y N _{1,60} , Sitio 3 – Sondeo manual.....	56
Tabla 30. Resultados de los ensayos triaxiales realizados por INGEOMINAS	56
Tabla 31. Valores de $\emptyset$, Sitio 1 – Sondeo normatizado	60
Tabla 32. Valores de $\emptyset$, Sitio 1 – Sondeo manual	60
Tabla 33. Valores de $\emptyset$, Sitio 2 – Sondeo normatizado	61

Tabla 34. Valores de ϕ , Sitio 2 – Sondeo manual	61
Tabla 35. Valores de ϕ , Sitio 3 – Sondeo normalizado	61
Tabla 36. Valores de ϕ , Sitio 3 – Sondeo manual	61
Tabla 37. Calculo de capacidad admisible, Sitio 1	62
Tabla 38. Calculo de capacidad admisible, Sitio 2	63
Tabla 39. Calculo de capacidad admisible, Sitio 3	64
Tabla 40. Comparación del ángulo de fricción del SPT normalizado	66
Tabla 41. Comparación del ángulo de fricción del SPT manual	67
Tabla 42. Comparación de la Capacidad de Soporte de cada sitio	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización regional.....	20
Figura 2. Localización regional.....	21
Figura 3. Localización regional.....	22
Figura 4. Diagrama de bloques tectónicos en el área de Bucaramanga.	24
Figura 5. Unidades geológicas en el sector nororiental de Bucaramanga.	25
Figura 6. Geoformas regionales en el Área Metropolitana de Bucaramanga. ...	29
Figura 7. Perfil hidrogeológico de la meseta de Bucaramanga.	31
Figura 8. Penetrometro Estándar (Cuchara Partida).	34
Figura 9. Esquema general del equipo de perforación.....	34
Figura 10. Definiciones del número de vueltas del cable y del ángulo.....	36
Figura 11. Esquema del equipo triaxial cíclico.	39
Figura 12. Valores de Cn (Álvaro Gonzales, 1999).....	47
Figura 13. Caracterización geotécnica Sitio 1.....	57
Figura 14. Caracterización geotécnica Sitio 2.....	58
Figura 15. Caracterización geotécnica Sitio 3.....	59

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Pág.

Fotografía 1. Sitio 1. Vista frontal.....	22
Fotografía 2. Sitio 1. Vista Interior	22
Fotografía 3. Sitio 2. Vista Frontal	22
Fotografía 4. Sitio 2. Vista Interior	22
Fotografía 5. Sitio 3. Vista Frontal	23
Fotografía 6. Sitio 3. Vista Interior	23
Fotografía 7. Martillo Anular (Donut) utilizado en el proyecto.	48
Fotografía 8. Varilla de 3 metros de longitud utilizada en el proyecto.....	49
Fotografía 9. Diámetro de la perforación de 2.5 pulgadas.....	49
Fotografía 10. Tomamuestras con revestimiento (con Liner).	50

LISTA DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Ángulo de Fricción vs Profundidad SPT Normalizado	66
Gráfica 2. Ángulo de Fricción vs Profundidad SPT Manual	67

LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO A. Resultados de los sondeos	73
ANEXO B. Resultados de los ensayos de clasificación	77
ANEXO C. Resultados de los ensayos de corte directo reinterpretados.....	84
ANEXO D. Ensayos Triaxial	88

RESUMEN

TITULO: COMPARACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS MEDIANTE ENSAYOS DE PENETRACIÓN Y LABORATORIO*

AUTORES:

JUAN CAMILO JEREZ GÓMEZ**

PALABRAS CLAVES:

Ensayo de penetración estándar (SPT), Ensayo de Corte Directo, Ensayo Triaxial.

DESCRIPCIÓN:

Se realizó una validación de los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) mediante comparaciones entre sondeos de campo realizados con dos metodologías diferentes y ensayos de laboratorio realizados a las muestras extraídas en los sondeos de campo. Para la realización de los sondeos de campo se adoptaron las dos metodologías más utilizadas en Bucaramanga de este ensayo, que son, el ensayo manual y el ensayo normatizado; lo cual para el ensayo manual no se siguió ningún tipo de procedimiento especial, mientras que el ensayo normatizado se realizó con el procedimiento recomendado por las normas del I.N.V.E.-111-07 del instituto nacional de vías (INVIAS) y la norma ASTM-D-1586-11 de la ASTM International. Se realizaron correcciones por pérdida de energía a los resultados obtenidos con los ensayo de penetración estándar según recomendaciones de diversos autores. Se evaluaron y compararon las capacidades de soporte para cada uno de los sondeos de campo y para los ensayos de corte directo y triaxial. En general para los suelos de Bucaramanga se presenta una sobreestimación de la capacidad de soporte hallada con el ensayo de penetración manual con respecto a las capacidades de soporte halladas con el ensayo normatizado; y al igual que para los ensayos de penetración manual, las capacidades de soporte halladas con el ensayo de corte directo presentan una variación bastante grandes con respecto a las capacidades de soporte halladas con el ensayo de penetración normatizado.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Directora Ing. M Sc. Hebenly Celis Leguizamon, Codirector Ing. Miguel Roberto Silva.

ABSTRACT

TITLE: COMPARISON OF SHEAR STRENGTH PARAMETERS OBTAINED BY PENETRATION TESTING AND LABORATORY*

AUTHORS:

JUAN CAMILO JEREZ GÓMEZ **

KEYWORDS:

Standard Penetration Test (SPT), Direct Shear Test, Triaxial Test

DESCRIPTION:

Validation of the results of the standard penetration test (SPT) was performed by comparisons between field surveys conducted with two different methodologies and laboratory tests on cores from field surveys. To carry out field surveys in the two most used Bucaramanga this test methodologies, which are manual and test normed test is adopted; which for manual testing was not followed any special procedure, while the normed test was performed with the standards recommended by the INVE -111- 07 of the National Institute of roads (INVIAS) and the standard method ASTM D -1586 - 11 ASTM International. Energy loss corrections to the results obtained with the standard penetration test as recommended by various authors were performed. Were evaluated and compared support capabilities for each of the field surveys and for testing direct shear and triaxial. Overall for the soils of Bucaramanga an overestimation of carrying capacity found with manual penetration testing with respect to the support capabilities found in normed test is presented; and as for manual penetration testing, support capabilities found with the direct shear test have a pretty big change from support capabilities found in normed test penetration.

* Grade Project.

** Faculty of Physical- Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director Ing. M. Sc. Hebenly Celis Leguizamon, Codirector Ing. Miguel Roberto Silva.

INTRODUCCIÓN

El ensayo de penetración estándar SPT (Estándar Penetración Test) tiene sus inicios en el año de 1902 cuando Charles R. Grow desarrollo la técnica de hincar en el suelo un tubo de 1 pulgada de diámetro exterior para obtener muestras de suelo. Muchos años más tarde y después de pasar por varios aportes de diversos autores en el año de 1948 los investigadores Karl Terzaghi y Ralph B. Peck publican en su libro llamado “Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica” las primeras referencias de la metodología y el uso adecuado del Ensayo de Penetración Estándar.

El SPT indica una medida de resistencia de los suelos a la penetración a partir de un numero de golpes (N) y una muestra alterada de suelo que se toma en el momento de la penetración y que sirve para dar una clasificación y conocer propiedades de los suelos; este ensayo es útil en una amplia variedad de suelos que van desde arenas densas o sueltas hasta arcillas débiles o compactadas.

Existen varios tipos de correlaciones que nos dan una medida de capacidad admisible de carga y propiedades de los suelos a partir del SPT, es debido a esto y a la sencillez de su realización, que en el municipio de Bucaramanga este es el ensayo más utilizado para la exploración del subsuelo.

Este trabajo evalúa y compara las capacidades de soporte halladas con el ensayo de penetración manual, el ensayo de corte directo, el ensayo triaxial y el ensayo de penetración estandar normatizado realizado según las normas del I.N.V.E.-111-07 del instituto nacional de vías (INVIAS) y la norma ASTM D-1586-11 de la ASTM International.

GENERALIDADES

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Determinar la incidencia de diferentes procedimientos en la estimación de parámetros de resistencia al cortante de suelos aluviales del miembro limos rojos de la Formación Bucaramanga, mediante comparación entre el Ensayo de penetración estándar (SPT) normatizado ASTM D-1586, el procedimiento manual y ensayos de resistencia de laboratorio.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar la resistencia en un suelo mediante la ejecución de tres pruebas de campo implementando el ensayo de penetración estándar (Spt) de acuerdo a la norma ASTM D-1586.
- Determinar la resistencia en un suelo mediante la ejecución de tres pruebas de campo implementando el ensayo de penetración estándar (Spt) manual (No normatizado).
- Determinar la resistencia al cortante en un suelo mediante ensayos de Corte Directo consolidado drenado a muestras obtenidas en los ensayos de SPT.
- Identificar las diferencias en los resultados obtenidos con los métodos propuestos y establecer los principales factores que podrían afectar las medidas de los ensayos mencionados con anterioridad.

1.2 Justificación

El ensayo de penetración estándar (SPT) es una de las pruebas de campo más utilizadas en nuestro entorno para definir algunas de las principales características y parámetros de resistencia del suelo, este ensayo se encuentra normatizado desde 1967 por la “American Society for Testing and Materials (ASTM)” como “Standard Test Method for Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils (ASTM D 1586)”.

Pese a la normatización que rige a este ensayo se ha notado que en muchos de los casos en la ciudad de Bucaramanga no se tienen en cuenta todos los procedimientos a seguir en el desarrollo del mismo y debido a esto, actualmente se podrían estar subestimando o sobrestimando los parámetros de resistencia al cortante de suelo que se obtienen a partir de correlaciones con el número de golpes del ensayo; se hace necesario determinar la influencia

de los diferentes procedimientos de ejecución del ensayo de penetración estándar (SPT) en la estimación de parámetros de resistencia al cortante en el miembro limos rojos de la formación Bucaramanga.

Surge la necesidad de comparar los parámetros de resistencia obtenidos a partir de diferentes correlaciones con el número de golpes de ensayos realizados utilizando procedimiento estándar ASTM D-1586 y procedimientos manuales no normatizados, con parámetros de resistencia obtenidos mediante ensayos triaxiales y de corte directo de muestras inalteradas obtenidas de bloques.

En esta investigación se realizara un estudio de las características, y variabilidad de los suelos a partir de las dos metodologías a utilizar para el SPT, lo que se pretende es proponer algunas correcciones e indicaciones que se deben tener en cuenta una vez se hagan los análisis comparativos de los resultados obtenidos con las dos formas de muestreo en campo, con lo cual podremos llegar a inferir en cambios en las metodologías utilizadas actualmente en esta ciudad.

Finalmente también obtendremos otros parámetros del suelo como lo son la fricción, cohesión y resistencia al cortante en los suelos, etc., mediante el uso de otros ensayos como lo son el ensayo de corte directo y triaxial para complementar los datos obtenidos con el SPT.

1.3 Alcance del proyecto y actividades realizadas

El alcance de este proyecto incluye las actividades tendientes a comparar el procedimiento del método manual del ensayo de penetración estándar (SPT), con el normatizado por la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Para la ejecución del estudio se realizaron entre otras las siguientes actividades:

- Visitas a los sitios de los sondeos, en donde se identificaron todos los aspectos que inciden directa e indirectamente en el proyecto, se analizaron características tales como: altura sobre el nivel del mar, pendientes, humedad del suelo superficial, presencia de rocas en la superficie, evidencias de erosión y/o formación de cárcavas, drenaje, vegetación, entre otras.
- Análisis de la Caracterización geológica y geomorfológica del sitio.
- Sondeos a percusión y a rotación con recuperación de muestras de acuerdo al Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente NSR-10.
- Ensayos de laboratorio de mecánica de suelos para definir las propiedades de los materiales.

1.4 Normatividad

- Para la ejecución del estudio se tuvieron en cuenta las siguientes Normas:
- Reglamento de construcción sismoresistente NSR-10.
- Standard test method for Standard Penetration Test (SPT) and split-barrel sampling of soils (ASTM D1586).
- Normas INVIAS (I.N.V.E.) y/o ASTM para la realización de ensayos de campo y laboratorio.

1.5 Localización de los sondeos

Los sitios de localización de los sondeos se encuentran en la comuna 3 y 13 (San Francisco y Oriental), al oriente del área urbana del municipio de Bucaramanga, en el departamento de Santander.

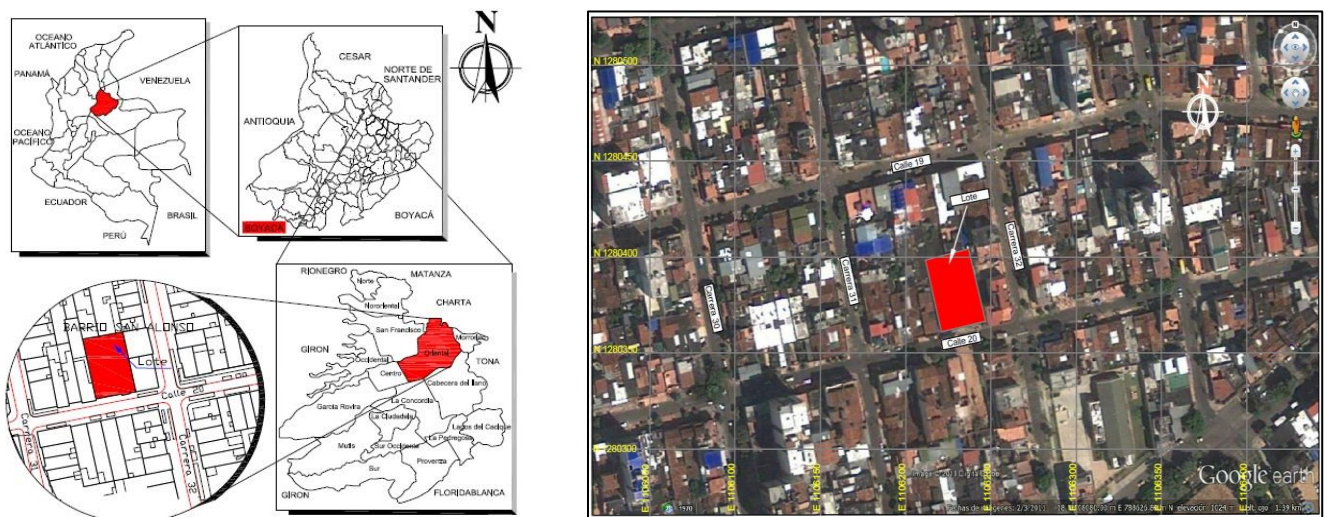
1.5.1 Sitio No. 1(Calle 20 No. 31-81)

El sitio No. 2 está localizado en la calle 20 número 31-81, en la comuna 13 (Oriental) al oriente del municipio de Bucaramanga, departamento de Santander.

Tabla 1. Coordenadas de los vértices del lote

Esquina noroccidental	1,273,756.56 N	1,106,351.24 E
Esquina nororiental	1,273,743.89N	1,106,436.45 E
Esquina suroccidental	1,273,694.88 N	1,106,427.23 E
Esquina suroriental	1,273,689.04 N	1,106,366.11 E

Figura 1. Localización regional.



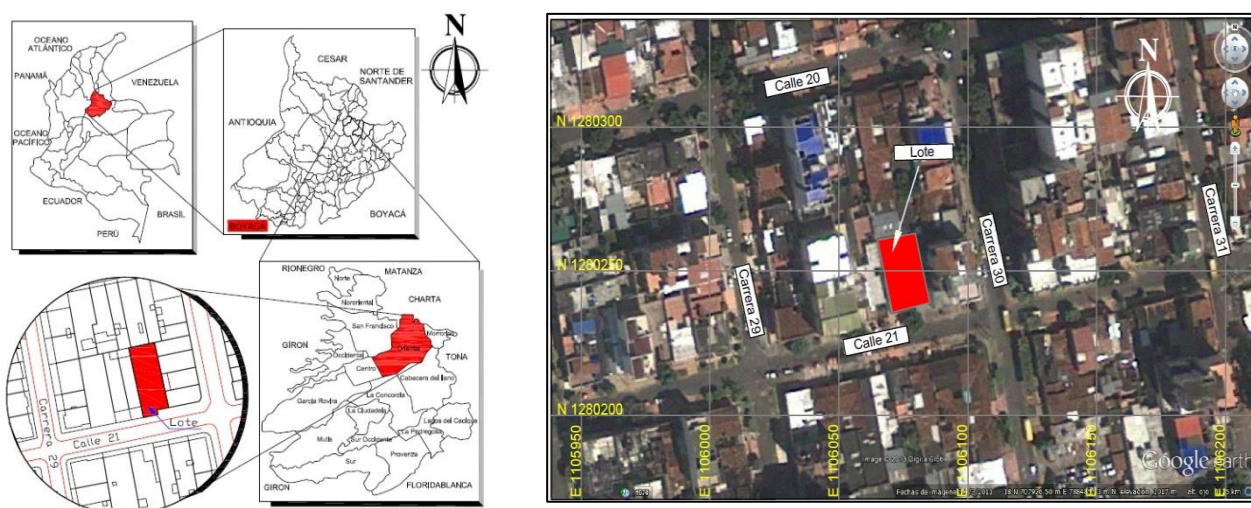
1.5.2 Sitio No. 2 (Calle 21 No. 29-55)

El sitio No. 1 está localizado en la calle 21 número 29-55, en la comuna 13 (Oriental) al oriente del municipio de Bucaramanga, departamento de Santander.

Tabla 2. Coordenadas de los vértices del lote

Esquina noroccidental	1,273,756.56 N	1,106,351.24 E
Esquina nororiental	1,273,743.89N	1,106,436.45 E
Esquina suroccidental	1,273,694.88 N	1,106,427.23 E
Esquina suroriental	1,273,689.04 N	1,106,366.11 E

Figura 2. Localización regional.



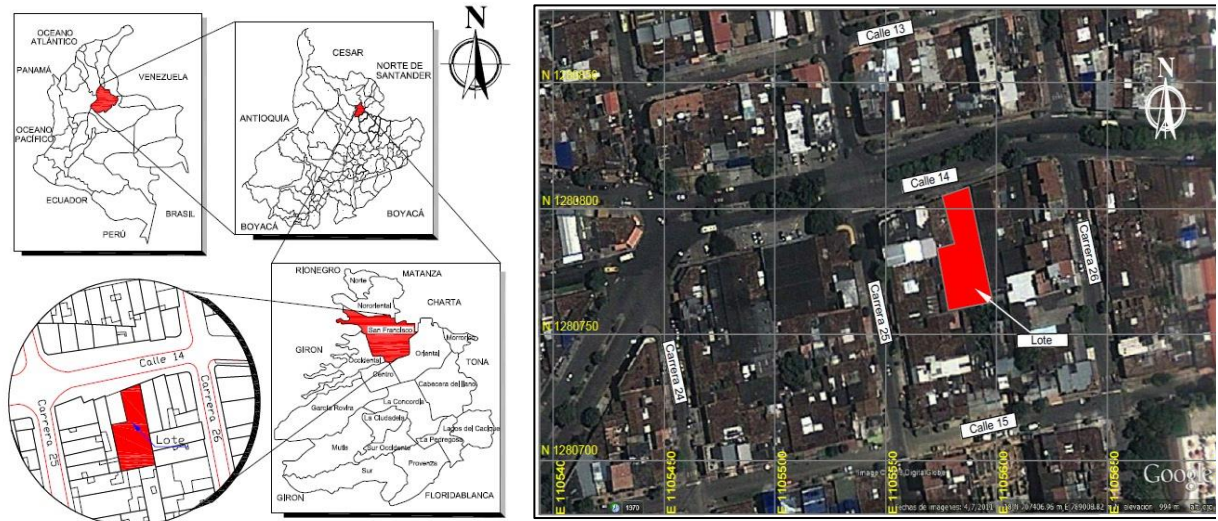
1.5.3 Sitio No. 3 (Calle 14 No. 25-30)

El sitio No. 3 está localizado en la calle 14 número 25-30, en la comuna 3 (San Francisco) al oriente del municipio de Bucaramanga, departamento de Santander.

Tabla 3. Coordenadas de los vértices del lote

Esquina noroccidental	1,273,756.56 N	1,106,351.24 E
Esquina nororiental	1,273,743.89N	1,106,436.45 E
Esquina suroccidental	1,273,694.88 N	1,106,427.23 E
Esquina suroriental	1,273,689.04 N	1,106,366.11 E

Figura 3. Localización regional.



Fotografía 1. . Sitio 1. Vista frontal



Fotografía 2. Sitio 1. Vista Interior



Fotografía 3. Sitio 2. Vista Frontal



Fotografía 4. Sitio 2. Vista Interior



Fotografía 5. Sitio 3. Vista Frontal



Fotografía 6. Sitio 3. Vista Interior



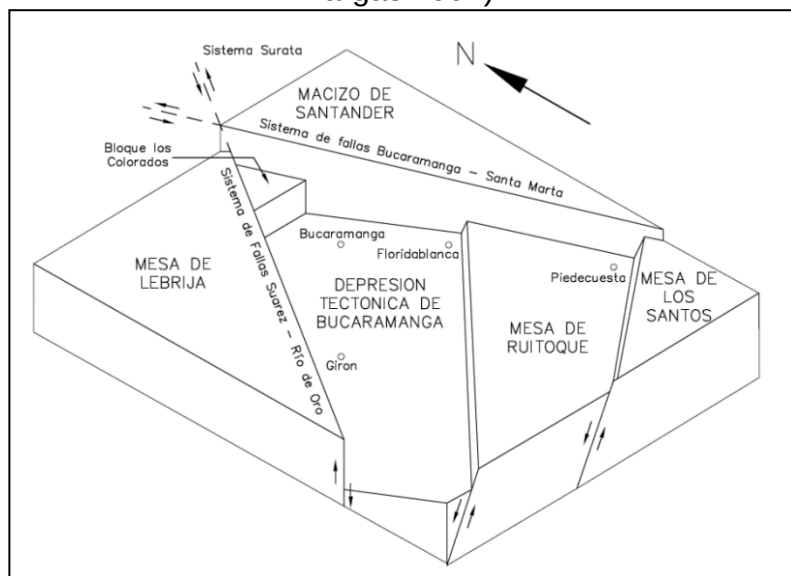
GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

El estudio geológico en el sitio del proyecto comprende la identificación y caracterización de las unidades geológicas que se encuentran dentro del área de estudio en base a información existente y a reconocimientos en el terreno mediante visitas al lote. Estas unidades son analizadas principalmente según sus características litológicas y elementos estructurales que las afectan tanto a escala regional como a escala local. La descripción geomorfológica consistió en identificar y delimitar las unidades geomorfológicas principales, según su origen, extensión y grado de estabilidad ante los agentes modeladores actuales.

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

La zona donde se encuentra localizada el Área Metropolitana de Bucaramanga corresponde a una región geológicamente compleja enmarcada en una morfología triangular entre el Macizo de Santander, la Mesa de Lebrija y la Mesa de Los Santos (Figura).

Figura 4. Diagrama de bloques tectónicos en el área de Bucaramanga. (Niño y Vargas 1992).



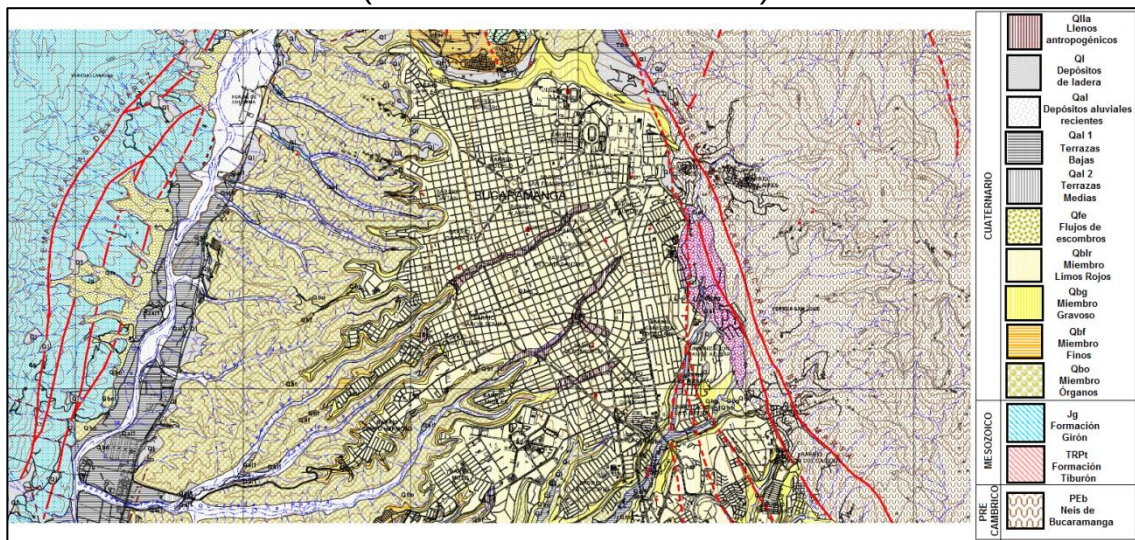
El Macizo de Santander está compuesto principalmente por rocas ígneas y metamórficas, mientras que las Mesas de Lebrija, Ruitoque y Los Santos están conformadas por rocas sedimentarias. La terraza de Bucaramanga es un depósito aluvial de edad Cuaternario que se encuentra en una depresión tectónica limitada por las los Sistemas de Fallas de Bucaramanga y del Suárez.

Los materiales que constituyen esta terraza corresponden a la denominada Formación Bucaramanga (Qb) sobre la cual se encuentran depósitos aluviales y coluviales en algunos sectores. Los procesos de degradación y acumulación de estos materiales han generado morfologías en el paisaje de origen aluvial, denudacional y antropogénico.

2.1.1 Estratigrafía regional

La litología predominante a nivel regional en la zona de estudio corresponde principalmente a la Formación Bucaramanga sobre la cual se encuentran depósitos aluviales y coluviales en algunos sectores. Algunos sondeos realizados por Geotecnología Ltda. (2004) para proyectos exploratorios de aguas subterráneas afirman que el basamento de la Formación Bucaramanga está relacionado con materiales pertenecientes a la Formación Tiburón (TRPt) en algunas zonas y a la Formación Girón (Jg) en otros lugares específicos. Dentro de la región también se destaca el Neis de Bucaramanga (PEb) que constituye el basamento del Macizo de Santander.

Figura 5. Unidades geológicas en el sector nororiental de Bucaramanga (CDMB INGEOMINAS 2001).



A continuación se presenta una breve descripción de cada una de estas unidades, de la más reciente a la más antigua.

Depósitos coluviales o de ladera (Ql)

Esta unidad corresponde a material depositado en la base de los escarpes debido a fenómenos de remoción en masa de tipo caída de rocas, deslizamientos y volcamiento. Son de común ocurrencia en escarpes de roca muy fracturada, saprolitos y depósitos de suelos finos. Están compuestos por cantos y bloques de conglomerados y areniscas cuarzo feldespáticas rojizas embebidos en una matriz arenosa y areno arcillosa.

Depósitos aluviales (Qal)

Los depósitos aluviales corresponden a acumulaciones de material localizado en los valles y llanuras de inundación de los principales ríos y quebradas, en especial aquellas que entallan de manera profunda el abanico aluvial conformado por la Formación Bucaramanga. En general contienen cantos de rocas ígneas y sedimentarias dentro de una matriz areno lodosa. Estos depósitos desarrollan niveles de terrazas bajas (Qal1) y medias (Qal2).

Depósitos de flujos de escombros (Qfe)

Son depósitos de piedemonte de origen aluvio-torrencial y aluvio-gravitacional, provenientes principalmente de la denudación de los materiales alterados que componen el Macizo de Santander, los cuales son transportados a lo largo de los cauces de corrientes de agua que nacen en éste. Están constituidos por fragmentos de rocas ígneas y metamórficas, del Macizo, embebidos en una matriz areno limosa.

Formación Bucaramanga (Qb)

La Formación Bucaramanga es un depósito aluvial con un área aproximada de 130 kilómetros cuadrados, sobre el cual se encuentra la mayor parte del sector urbano del área metropolitana de Bucaramanga. Esta unidad va desde el contacto con el Macizo ígneo metamórfico de Santander al Este, hasta las laderas al Oeste del sector urbano de Girón. Al Sur se extiende hasta el pie de la Mesa de Ruitoque y al Norte hasta el barrio Los Colorados. El espesor del depósito alcanza profundidades superiores a 300 metros.

En la Formación Bucaramanga se pueden reconocer los siguientes niveles:

Miembro Limos Rojos (Qblr)

El Miembro Limos Rojos está constituido por arenas, arcilla gravosa y limos de color amarillo rojizo. La coloración roja obedece a oxidación y alteración por fenómenos de tipo climático. Existen esporádicos bloques grandes angulares de areniscas asociados superficialmente a este nivel que suprayace al Miembro Gravoso.

Miembro Gravoso (Qbg)

El Miembro Gravoso está conformado por un nivel superior de cantos de areniscas conglomeráticas silíceas, amarillas y blancas, muy compactas y redondeadas dentro de una matriz clara arenosa amarillenta, y un nivel inferior de cantos de areniscas de grano fino a grueso y guijos de cuarzo lechoso embebidos en una matriz abigarrada rojiza. El contacto entre este Miembro Gravoso y el subyacente Miembro Finos es transicional continuo y suavemente ondulado.

Miembro Finos (Qbf)

Este Miembro consta de capas finas de geometría tabular y lenticular con laminación plana paralela, en el cual se puede identificar un conjunto arenoso

donde muestra una alternancia de niveles areno-limosos con niveles limo-arenosos-arcóscicos de colores amarillentos a pardo amarillento en cuya base predominan costras y un nivel arcilloso pardo oscuro, y un conjunto arcilloso que se localiza hacia la base y se caracteriza por ser arcillo-limoso, masivo, de color gris a verde y con estratificación plana paralela.

Miembro Órganos (Obo)

El Miembro Órganos consiste en cantos de limolitas rojas, areniscas y granitos, intercalados con mantos delgados de arcillas. Los niveles gravosos son predominantemente de areniscas blancas silíceas, materiales ígneos y metamórficos, cuarzo, chert y calizas; los niveles finos corresponden a depósitos de intercanales cuya depositación fue cíclica; y los niveles conglomeráticos presentan cantos de tamaños entre 10 y 30 centímetros en una matriz areno-arcillosa color pardo amarillento con algunas alteraciones a gris amarillento y una matriz común blancuzca en diferentes localidades.

Formación Girón (Jg)

La Formación Girón (Jg) es un conjunto de rocas de origen sedimentario que conforman el basamento principal de la zona de mesas, incluyendo la depresión tectónica de Bucaramanga. Basado en la descripción del cuadrángulo H-12 de Ingeominas, la Formación Girón está compuesta por limolitas de color pardo rojizo y areniscas conglomeráticas y conglomerados gris amarillentos a pardo rojizos, masivos y lenticulares (Ward *et al.*, 1973). A esta unidad se le atribuyen espesores que varían de acuerdo al autor entre 2.600 y 4.840 metros.

Formación Tiburón (TRPt)

Esta unidad presenta un nivel de conglomerados muy compactos entre 5 y 20 metros de espesor, conformados por guijos de caliza, dolomita, arenisca y chert negro, de formas subangulares a subredondeados y de 2 a 10 centímetros de diámetro, firmemente cementados en una matriz calcárea de grano fino a medio de color gris. El espesor total de esta formación según Gómez (1993) es de 350 metros; Ward *et al.* (1973) afirman que este puede oscilar entre 450 a 500 metros.

Neis de Bucaramanga (PCb)

Al Este del Piedemonte del Macizo ígneo metamórfico de Santander se encuentra un Complejo de rocas principalmente metamórficas que se ha denominado “Neis de Bucaramanga”. El Complejo Neis de Bucaramanga consta de una secuencia de paraneises cuarzofeldespáticos, hornbléndicos, micáceos y granatíferos, esquistos y cantidades subordinadas de anfibolitas, migmatitas, cuarcitas, mármoles y esporádicamente granulitas. Las zonas de migmatitas pueden ser de dos tipos: una en la cual el paraneis está mezclado con rocas graníticas néisicas y otra donde ambos están cortados por muchas masas pequeñas de granito no foliado. A nivel local esta unidad está afectada por intrusiones plutónicas de composición cuarzomonzonítica a diorítica; estos

cuerpos intrusivos se encuentran dispersos en el Macizo sin ningún patrón definido.

2.1.2 Geología estructural regional

La Meseta de Bucaramanga está limitada al este por la Falla de Bucaramanga y al oeste por la Falla del Suarez. Estas estructuras inciden en la tectónica del área de estudio a nivel regional.

Falla de Bucaramanga

La Falla de Bucaramanga es una estructura que cruza por el borde oriental del sector urbano de Bucaramanga, sirviendo de límite entre el Macizo de Santander y los depósitos Cuaternarios sobre los que está situada la ciudad. De acuerdo a Ward *et al.* (1973) el rasgo más notorio de la Falla Bucaramanga en el Macizo de Santander es su expresión topográfica representada por un lineamiento recto manifestado en valles alineados y diferencias en las unidades litológicas a cada lado que permiten identificar que la falla tiene un buzamiento fuerte; Su gran distancia y este buzamiento fuerte comprueban que es una falla de rumbo (wrench).

Cerca de Bucaramanga la falla muestra de manera clara desplazamientos verticales con movimiento ascendiente y hacia el oeste del bloque oriental, y regionalmente parece ser parte de un sistema de fallas que forma parte del desarrollo del Valle del Magdalena y el levantamiento del Macizo de Santander.

Falla del Suarez

La Falla del Suarez es una falla inversa de ángulo alto con una componente vertical importante; además se trata de una falla de rumbo con desplazamiento sinistral. Esta falla se extiende por una longitud de unos 120 Km desde Barbosa al sur hasta la Falla de Bucaramanga, 5 Km al norte de Bucaramanga; su trazo tiene una dirección N20°E y N25°E, con inclinación al occidente y sigue aproximadamente el curso de los ríos Suárez y río de Oro.

2.1.3 Geomorfología regional

La zona de estudio hace parte del bloque tectónico regional denominado Macizo de Santander, localizado al Este de la ciudad de Bucaramanga, sobre el flanco centro oriental de la Cordillera Oriental, limitado tectónica y geomorfológicamente por el Sistema de Fallas de Bucaramanga. Esta región se caracteriza por presentar un relieve quebrado con pendientes fuertes a empinadas, cuya elevación oscila entre los 1.000 y 1.470 m.s.n.m., y está compuesta de rocas ígneo-metamórficas con diferentes grados de meteorización y alteración que se reconocen sobre laderas denudacionales en pendientes altas que presentan desarrollo de fenómenos erosivos en zonas intervenidas por el hombre.

Figura 6. Geoformas regionales en el Área Metropolitana de Bucaramanga.
(Google Earth, 2013)



2.2 GEOLOGÍA LOCAL

La mayor parte de Bucaramanga y su zona central se ha levantado sobre materiales del Miembro Limos Rojos y actualmente hace parte de una geoforma antropogénica que constituye el sector urbano de la ciudad. Los eventos tectónicos asociados a los sistemas de fallas que enmarcan la ciudad no han mostrado evidencias de afectación sobre estos depósitos recientes en el sector. Además, los sitios de interés se encuentran hacia el norte de la ciudad en donde la secuencia de depositación presenta su mayor espesor, debido a que es hacia el sur donde se va adelgazando.

2.2.1 Litoestratigrafía local

Basado en actuales estudios de suelos, los sitios de estudio se encuentran localizados geológicamente sobre el Miembro Limos Rojos (Qblr) de la Formación Bucaramanga. Este nivel que fue definido por Julivert (1963), es uno de los segmentos superiores de esta unidad y conforma el tipo de suelo sobre el cual se encuentra la mayor parte del sector urbano de la ciudad.

En los sectores que han sido adaptados para la construcción de obras civiles se presentan depósitos de relleno compuestos por arcillas de consistencia rígida y color marrón amarillento con fragmentos de escombros de más o menos 1 cm de diámetro, que no sobrepasan los 3 metros de espesor.

Bajo estos rellenos antropogénicos se encuentran los materiales que componen el Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga (Qblr), que son suelos de origen aluvial compuestos predominantemente por niveles de arenas arcillosas, ligeramente limosas de color marrón rojizo, y limos arenosos de color pardo amarillento y fragmentos de areniscas angulares que se encuentran embebidos en los limos de color amarillo rojizo. Su espesor tanto en el barrio San Alonso como en el centro es mayor a los 25 metros.

2.2.2 Geología estructural local

En la zona de interés no se muestran evidencias por incidencia de alguna discontinuidad estructural debido a que es un sector urbano y no hay presencia de algún afloramiento o características del suelo que permitan reconocer una afectación.

2.2.3 Geomorfología local

La forma del terreno a nivel local se caracteriza principalmente por un paisaje de origen fluvial que es el abanico aluvial de Bucaramanga. La zona de interés muestra una superficie plana con pendientes bajas. Esta morfología es el resultado de procesos de depositación de materiales de origen aluvial por movimientos en masa del Miembro Limos Rojos de la Formación Bucaramanga.

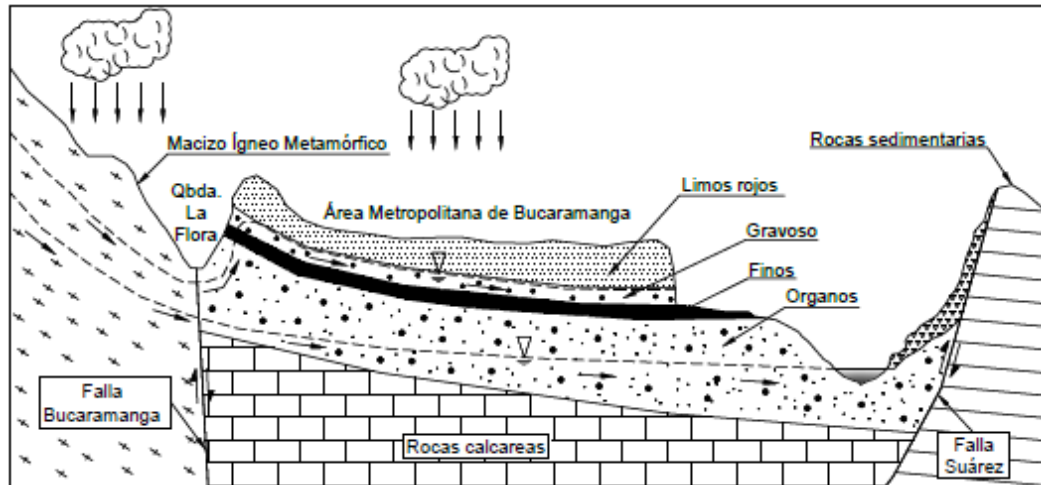
La actividad del hombre también incide en el modelado del paisaje en sectores parcialmente contruidos de la ciudad donde se encuentran geoformas asociadas a urbanismo y laderas naturales en zonas de contraste morfológico donde se presentan cambios litológicos.

2.3 HIDROGEOLOGÍA

El abanico aluvial de Bucaramanga constituye un depósito del Cuaternario que presenta una ligera inclinación de noreste a suroeste. Dentro de este se presentan acumulaciones de agua freática sobre lentes aislados de materiales con permeabilidad baja; sin embargo, los mantos superficiales de la Formación Bucaramanga son relativamente permeables y adicionalmente están afectados por cavernas de antiguos hormigueros; por esta razón, la infiltración de agua se desarrolla a nivel local, especialmente en áreas expuestas donde es aún mayor. Pero esta infiltración tiende a disminuir cuando el suelo es intervenido por el proceso de urbanización que provoca el endurecimiento de la superficie del terreno.

Los sondeos realizados en los sitios de estudio permitieron determinar que el nivel freático en el barrio San Alonso se presenta a profundidades entre 13.0 y 14.0 metros, mientras que en el barrio San Francisco se encuentra a los 16.0 metros.

Figura 7. Perfil hidrogeológico de la meseta de Bucaramanga (Geotecnología S.A.S)



2.4 CONCLUSIONES DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

- Los sitios de interés se encuentran localizados sobre el Miembro Limos Rojos (Qblr) del abanico aluvial de Bucaramanga. Este segmento presenta características geotécnicas de materiales duros y competentes sobre los cuales se encuentra la mayor parte de las construcciones de Bucaramanga, y está compuesto por arenas arcillosas y limos arenosos con algunos niveles de gravas angulares de areniscas embebidas en los limos de color rojizo. A nivel local y de manera superficial se reconocen rellenos antropogénicos.
- El Área Metropolitana de Bucaramanga se encuentra enmarcada regionalmente entre las fallas de Bucaramanga y del Suárez. A nivel local no se presentan evidencias neotectónicas ni lineamientos estructurales que afecten directamente los suelos donde se encuentran los sectores estudiados.
- Geomorfológicamente los lotes se localizan en el área afectada por el urbanismo de la ciudad, en cercanías a la zona de laderas denudacionales con pendientes medias y altas que conforman el Macizo de Santander.

ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT), ENSAYOS DE LABORATORIO Y FACTORES DE CORRECCIÓN POR ENERGÍA

3.1 Ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de Penetración estándar (SPT) es el ensayo más antiguo que existe para la caracterización de los suelos que tiene sus inicios en el año 1902 cuando Charles R. Gow desarrolló la práctica de hincar en el suelo un tubo de 1 pulgada de diámetro exterior, para obtener muestras, marcando el inicio del muestreo dinámico de los suelos.

La American Society for Testing and Materials (ASTM) normatizó este ensayo desde el año 1967 como “Standard Test Method for Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils (ASTM D1586)”.

En el municipio de Bucaramanga este es el ensayo más utilizado para el diseño de cimentaciones y también para el análisis de estabilidad de taludes en vías o en excavaciones, pero pese a su normatización actualmente se está utilizando este ensayo con algunas diversificaciones realizadas a la norma que causan variaciones en los resultados obtenidos.

3.1.1 Ensayo de penetración estándar manual

El ensayo de penetración estándar manual es muy comúnmente utilizado para la exploración de suelos en sitios en los que por las condiciones del terreno o del sitio se hace de alguna manera u otra imposible utilizar el equipo y la metodología estándar normatizada; dichos cambios en la metodología y el equipo son los que infieren pérdidas de energía adicionales que nos llevan a valores del número de golpes “N” sobreestimados o subestimados en todos los casos de la utilización de este método.

Equipo

- Penetrómetro estándar llamado comúnmente “cuchara partida” (tubo de 2 pulgadas de diámetro externo y 1 3/8 pulgadas de diámetro interno).
- Martillo de 140 lb (63.5 Kg).
- Varillas tamaño A con peso de 3.4 a 4.0 lb/pies.

Procedimiento

1. Limpieza cuidadosa de la superficie exterior de la perforación.
2. El muestrador (cuchara partida) enroscado a las varillas es colocado sobre la superficie del terreno y es conducido manualmente.
3. El martillo es ubicado sobre las extensiones de la varilla y alzado manualmente hasta una altura de 30 pulgadas (76 cm) y dejándose caer para el golpeo. cada 6 pulg es anotado el número de golpes. El número de golpes para los dos últimos 6 pulg de incremento se suman y son el valor N del ensayo de penetración estándar.

Nota: La velocidad del número de golpes por minuto no es controlada y depende solo del estado físico de los operadores.

4. Ya finalizada la perforación después de introducir el muestrador 18 pulgadas (45 cm), este retirado. La cuchara partida es abierta y la muestra de suelo es sacada y registrada.
5. El procedimiento se repite constantemente a medida que avanza la exploración, hasta el punto en el que haya rechazo.

3.1.2 Ensayo de penetración estándar normatizado (ASTM D1586-11)

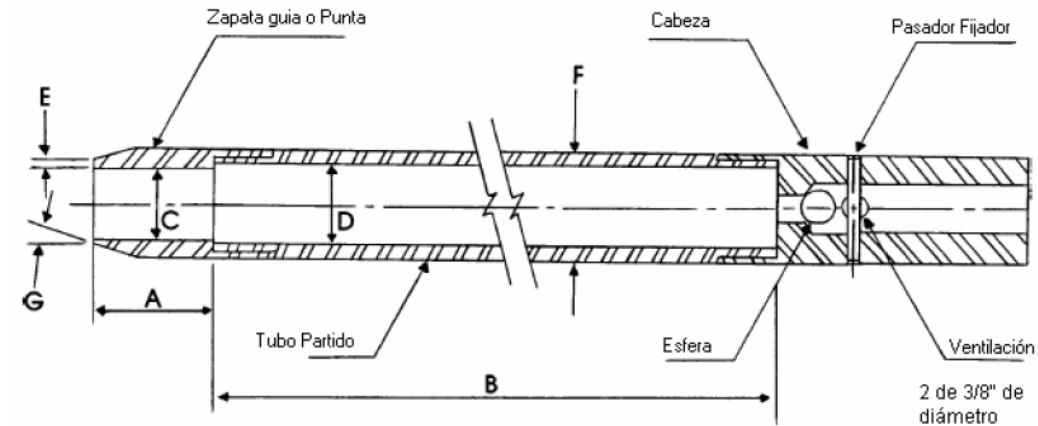
La American Society for Testing and Materials (ASTM) actualmente tiene normatizado este ensayo como D1586-11 y sugiere un equipo (Figuras 8, 9 y 10), procedimiento y una toma de datos que son necesarios para un óptimo desempeño del ensayo sin pérdidas de energía adicionales a las del 60% que tienen correcciones indicadas por diferentes autores dependiendo del equipo utilizado para una total confiabilidad del ensayo. En Colombia también hay una norma que regula la elaboración de este ensayo que es la INVE 111-07.

Equipo

- Penetrómetro estándar llamado comúnmente “cuchara partida” (tubo de 2 pulgadas de diámetro externo y 1 3/8 pulgadas de diámetro interno, figura 8).
- Martillo de 140 lb (63.5 Kg).
- Varillas tamaño “A” (“A” es un tubo de acero con diámetro exterior de 41.2 mm = 1 5/8” y un diámetro interior de 28.5 mm = 1 1/8”) con peso de 3.4 a 4.0 lb/pies.

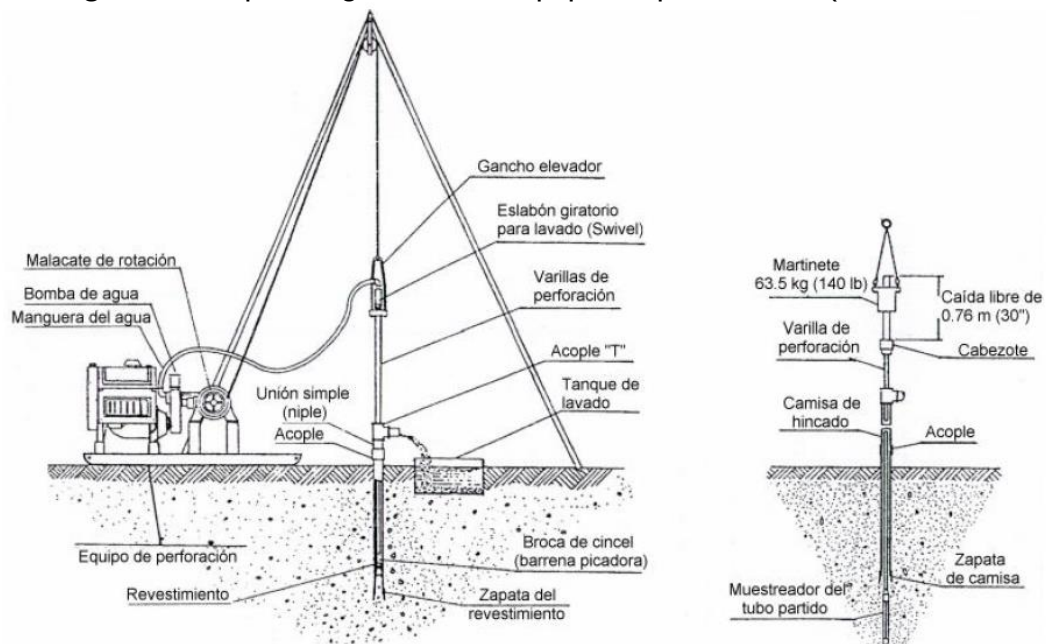
- Barrena de 2.5 a 4 pulgadas de diámetro para ampliación de la perforación.
- Yunque o bloque de impacto.
- Sistema de caída del martillo que incluye: Malacate o tambor y cable de recorrido del martillo.
- Equipo de hincado y accesorios. (Figura 9).

Figura 8. Penetrometro Estándar (I.N.V.E 111-07).



A = 25 a 50 mm
 B = 0.457 a 0.762 m
 C = 34.93 ± 0.13 mm
 D = $38.1 \pm 1.3 - 0.0$ mm
 E = 2.54 ± 0.25 mm
 F = $50.8 \pm 1.3 - 0.0$ mm
 G = $16 \pm 23^\circ$

Figura 9. Esquema general del equipo de perforación (I.N.V.E 111-07)..



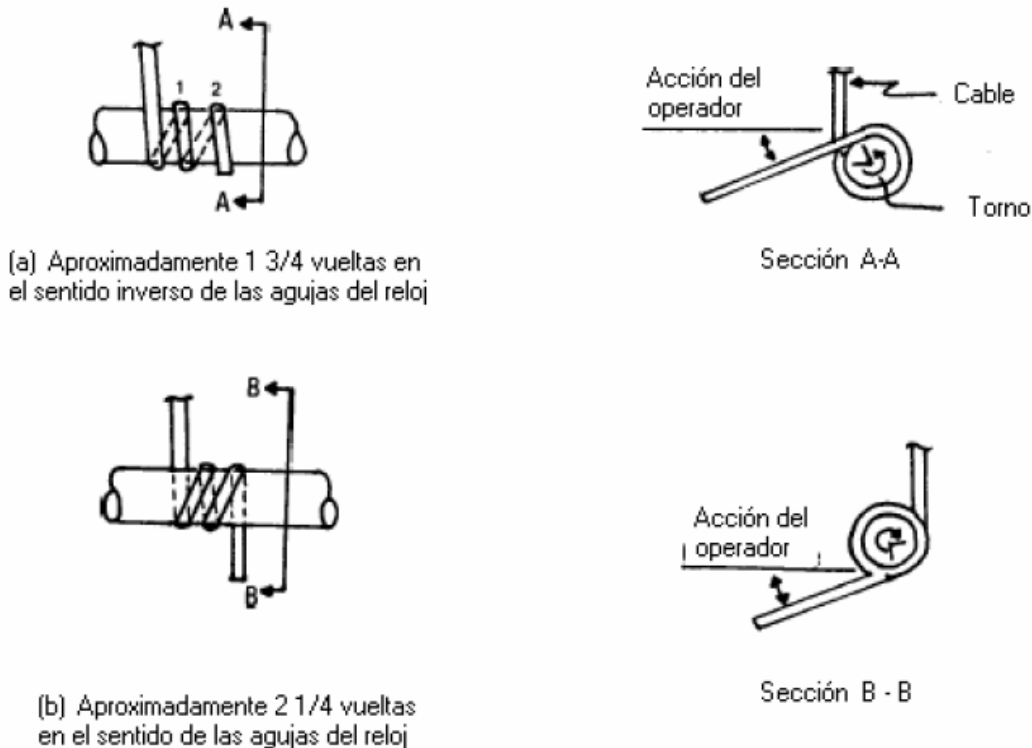
Procedimiento

1. Limpieza cuidadosa de la superficie exterior de la perforación para elevar la muestra usando el equipo para que el espécimen no se altere al ser muestreado.
2. El muestrador es conducido y halado por medio de una cuerda la cual no debe de dar más de 2 vueltas alrededor del tambor (Figura 10), dejándose caer desde una altura de de 30 pulg (76cm) y cada 6 pulg es anotado el número de golpes. El número de golpes para los dos últimos 6 pulg de incremento se suman y son el valor N del ensayo de penetración estándar.
3. El martillo es ubicado sobre las extensiones y los golpes son aplicados a una velocidad de 30 a 40 golpes por minuto.
4. Ya finalizada la perforación, el penetrómetro es retirado. La cuchara partida es abierta y la muestra de suelo es sacada y registrada.
5. Una vez tomada la muestra se procede a introducir el barreno ampliando la excavación hasta un diámetro máximo de 4.0 Pulg. y una profundidad de 1.5 m. medidos a partir del nivel cero de donde se empezó el ensayo de spt.

Nota: Cabe resaltar la importancia de este paso, debido a que con la ampliación de la perforación se evitan pérdidas por fricción, lo que causaría un aumento irreal en el número de golpes “N”. Por otra parte se aclara que se pueden utilizar barrenas de una longitud menor a 1.5 metros para la ampliación del diámetro y limpieza de la perforación.

6. Ya ampliada la excavación y profundizada hasta 1.5 m. se toma de nuevo muestra de suelo con el tomamuestra de cuchara partida como se describió en el paso 1.
7. El procedimiento se repite constantemente a medida que avanza la exploración, hasta el punto en el que haya rechazo.

Figura 10. Definiciones del número de vueltas del cable y del ángulo (I.N.V.E 111-07).



Toma de datos

- Medidas internas y externas del tomamuestras.
- Dimensiones del martillo y peso del mismo.
- Dimensiones del bloque de impacto y peso del mismo.
- Longitud de las varillas y peso.
- Diámetro del Barreno.
- Estado y diámetro de la cuerda.
- Diámetro y longitud del tubo guía.

3.2 Ensayos de Laboratorio

Los ensayos de laboratorio son estudios adicionales que se hacen en la mayoría de ocasiones como complemento del ensayo de penetración estándar (SPT) y sirven para dar una mejor caracterización a los suelos y obtener parámetros y propiedades de los mismos mediante el uso de correlaciones.

Algunos ensayos de laboratorio como lo son el ensayo de corte directo y el ensayo triaxial nos sirven no solo para dar una mejor caracterización a los

suelos, sino que también mediante el uso de correlaciones con diferentes métodos estudiados con anterioridad por diferentes autores nos permiten tener una aproximación de parámetros de resistencia de los suelos.

3.2.1 Ensayo de Corte Directo

El ensayo de corte directo sirve para determinar los parámetros de resistencia al corte de los suelos, ángulo de fricción (ϕ) y cohesión (C). Existen normas internacionales que rigen la realización de este ensayo como lo son la ASTM D3080 y AASHTO T236; en Colombia también hay una norma para la elaboración de este ensayo que es la INVE 154.

Equipo

- Aparato o dispositivo de corte directo.
- Caja de corte.
- Piedras porosas.
- Equipos para el remoldeo o compactación de probetas.
- Anillos para el tallado de la muestra.
- Medidores de desplazamiento.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.
- Dispositivo para medir fuerza de corte.
- Recipiente para caja de corte.

Procedimiento

1. Colocación de la muestra de ensayo de dispositivo en el corte directo.
2. Aplicación de una carga normal determinada.
3. Disposición de los medios de drenaje y humedecimiento de la muestra.
4. Consolidación de la muestra bajo la carga normal.
5. Liberación de los marcos que sostienen la muestra.
6. Aplicación de la fuerza de corte para hacer fallar la muestra.

Toma de datos

- Diámetro de la muestra.
- Altura de la muestra.
- Humedad.
- Densidad húmeda.
- Densidad seca.
- Desplazamiento normal en función del tiempo.

3.2.2 Ensayo Triaxial

El ensayo triaxial es uno de los métodos más confiables para determinar los parámetros de la resistencia al cortante (ángulo de fricción ϕ y cohesión C). Esta prueba se considera muy confiable por las siguientes razones:

- 1) Proporciona información sobre el comportamiento esfuerzo-deformación unitario del suelo, cosa que no hace la prueba de corte directo.
- 2) Proporciona condiciones más uniformes de esfuerzo que la prueba de corte directo con sus concentraciones de esfuerzo a lo largo del plano de falla.
- 3) Proporciona más flexibilidad en términos de trayectoria de carga.

En Colombia el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) desarrollo una norma para la realización de este ensayo (Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión triaxial, I.N.V.E-153-07) y es aplicable para el ensayo triaxial no consolidado no drenado (UU) y el ensayo triaxial consolidado no drenado (CU). Existen también normas internacionales que rigen la realización de este ensayo como lo es la ASTM D2580.

Equipo

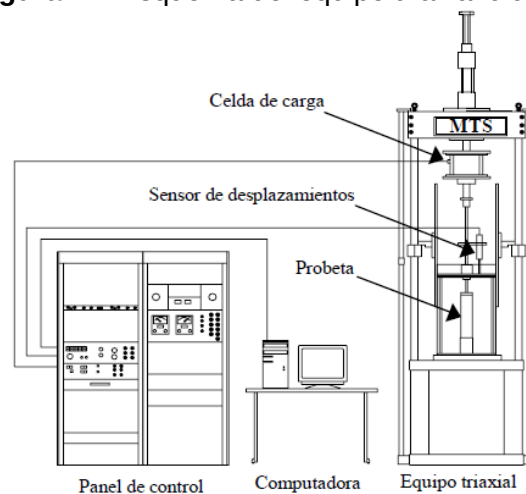
- Cámara triaxial
- Máquina de compresión triaxial
- Membrana de caucho
- Molde metálico
- Compresor de aire
- Bomba de vacío
- Balanza de precisión, aproximación 0,1 gr
- Calibrador
- Aro-sello de caucho
- Tallador de muestras, cuchillas y sierras
- Equipo para determinar el contenido de humedad

Procedimiento

1. El suelo a utilizarse se prefiere que sea inalterado, en cuyo caso se debe tallar un espécimen cilíndrico, teniendo muy en cuenta su estratificación y evitando destruir la estructura original del suelo. Las dimensiones del espécimen dependen del tamaño de la máquina triaxial a emplearse; debiendo tomar en cuenta que la altura de la muestra debe ser el doble del diámetro, (Se toman las medidas de los especímenes preparados).
2. El momento de preparar los especímenes se debe tomar muestra para

- determinar el contenido de humedad.
3. Pesamos el primer espécimen y lo colocamos en la base de la cámara triaxial, utilizando una piedra porosa entre la muestra y dicha base.
 4. Colocamos la membrana de caucho en el espécimen, utilizando un aparato especial para ello.
 5. Colocamos la cabeza de plástico usando una piedra porosa entre la cabeza y el espécimen.
 6. Aseguramos la membrana con ligas tanto en la parte superior como en la inferior.
 7. Colocamos la cámara con su tapa, asegurándonos que estén bien colocados los empaques y seguidamente apretamos los tornillos que sujetan la cámara uniformemente.
 8. Introducimos el pistón en el hueco de la cabeza de plástico.
 9. Centramos el brazo de carga con el pistón y colocamos el dial de las deformaciones en cero.
 10. Si la muestra no se encuentra saturada, será necesario saturarla, salvo introducciones contrarias al respecto, para lo cual abrimos las válvulas de saturación permitiendo que el agua fluya desde la base a través de la muestra.
 11. Aplicamos presión al tanque de almacenamiento de la glicerina o agua y luego abrimos las válvulas que permiten el paso de la glicerina o agua a la cámara; la presión lateral introducida serán las indicadas anteriormente.
 12. En estas condiciones aplicamos el tipo de triaxial solicitado; llegando en cualquier caso a aplicar la carga hasta romper la muestra; anotándose las lecturas de las deformaciones axiales y de la carga aplicada.
 13. Una vez terminado el ensayo se reduce la presión y se devuelve la glicerina o agua al tanque de almacenamiento, se seca la cámara y luego a la muestra con mucho cuidado con el objeto de graficar la fractura y además determinar la humedad.

Figura 11. Esquema del equipo triaxial cíclico.



3.3 Factores de afectación de los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT)

Existen muchos factores y variables que afectan la validez y la utilidad del ensayo de penetración estándar (SPT), estos factores han sido estudiados por diversos autores con el fin de llegar a valores más reales de la verdadera resistencia del suelo, ya que con los datos tomados en campo sin corregir se podrían estar subestimando o sobrestimando dicha resistencia.

Algunos factores que pueden estar asociados a valores erróneos del número de golpes “N”, pueden ser la variación de los equipos reglamentados, erróneos procesos de campo o de perforación, anotaciones incorrectas de los resultados, etc.

A continuación se enumeran los factores que para criterios del estudio son los más importantes de los que se han estudiado por diferentes autores y se tuvieron en cuenta en el desarrollo de los ensayos de campo y las recomendaciones pertinentes dadas por ellos mismos que se acogieron para un mejor desarrollo del método de perforación.

- Según Navfac (1982) presenta algunos factores que pueden afectar los resultados del ensayo.

Tabla 4. Observaciones de Navfac (1982) al ensayo SPT.

Procedimientos	Comentarios
Limpieza inadecuada del agujero de perforación	El SPT es únicamente realizado en suelo no perturbado. Puesto que los sedimentos podrían ser atrapados en el muestreador y comprimidos como si el muestreador este conducido en el suelo, incrementando el número de golpes; esto también podría impedir recobrar la muestra.
No colocar la cuchara muestreadora sobre material no perturbado	Valores de N obtenidos, Incorrectos.
Conduciendo la cuchara muestreadora sobre el fondo de la envoltura	Los valores de N se incrementan en arenas y disminuyen en los suelos cohesivos.
Falla para mantener la presión hidrostática	El nivel del agua en el hoyo debe ser al menos igual que el nivel piezométrico en la arena, de no ser así la arena en el fondo del agujero podría ser transformado en un estrato perdido.

Procedimientos	Comentarios
Actitud de los operadores	El número de golpes para el mismo suelo usando el mismo equipo puede variar, dependiendo de quién lo esté operando y tal vez del ánimo del perforador en el tiempo de la perforación.
Sobre manejo del muestreador (penetrómetro)	El número de golpes altos usualmente resulta del sobre manejo del muestreador.
Muestreador taponado con gravas	Un alto número de golpes resultan cuando gravas taponan al muestreador, resistencia de arenas perdida pueden ser altamente sobreestimadas.
Revestimiento atorado	Altos valores de N pueden ser anotados por arenas perdidas cuando el muestreo se encuentra por debajo del nivel freático. La presión del agua causar que arenas se eleven o asciendan y atasquen la envoltura.
Método de perforación	La técnica de perforación (ej, hoyos enmarcados vs hoyos estabilizados con lodos) puede dar diferentes resultados de los valores de N para el mismo tipo de suelo.
Usando un peso que no sea el correcto	Perforadores frecuentemente remplazan los martillos perforadores con pesos, variando de lo estandarizado tanto como unas 10 lbs.
El peso no golpea concéntricamente	Energía de impacto es reducida, incrementando los valores de N.
Sin usar varillas guías	Valores de N obtenidos son Incorrectos.
Usando una punta mala en la cuchara muestreadora	Si la punta está dañada y reduce la forma de abrirla o incrementa el área al final, el valor de N puede ser incrementado.
Usar varillas perforadoras más pesadas que las estandarizadas	Con varillas más pesadas, más energía es absorbida por las varillas, causando un incremento en el número de golpes.
Anotando los números de golpes de manera inexacta	Se obtienen valores de N incorrectos.
Incorrectos procedimientos de perforación	El SPT fue originalmente desarrollado de técnicas de lavados. El procedimiento de perforación el cual perturba el suelo, seriamente afectara el valor de N. Ej, perforando con un equipo de herramientas con cable.

Procedimientos	Comentarios
Perforando hoyos muy grandes	Agujeros de perforación con diámetros más grandes de 4 pulgadas no son recomendados. El uso de grandes hoyos pueden disminuir el número de golpes.
Supervisión inadecuada	Frecuentemente un muestreador será impedido por gravas o cantos rodados causando un incremento repentino en el número de golpes, estos no son reconocidos por un observador sin experiencia. El registro exacto de la perforación es siempre requerido.
Descripción incorrecta de los suelos	No se describe la muestra correctamente.
Usando una bomba muy grande	Una capacidad de bomba muy alta perderá el suelo hasta la base del hoyo, causando decrecimiento en el número de golpes.

- Broms y Flodin (1988) presentan una estimación porcentual del grado de erros que se puede tener por algunos factores de cambios del ensayo.

Tabla 5. Observaciones de Broms y Flodin (1988) al ensayo SPT.

Causas		Estimación en % por el cual causa posibles cambios de N
Básicas	Detalladas	
Esfuerzos efectivos en el fondo de la perforación en arenas	Use un lodo de perforación contra una envoltura y agua.	+100%
	Hoyo de un diámetro pequeño (3pulg).	±100%
	Contra un diámetro grande (18 pulg)	50%
Energía dinámica alcanzada por el muestreador Dynamic energy (para todos los suelos)	2 a 3 vueltas en el tambor con una gran caída libre.	+100%
	Bloque amortiguador grande contra pequeñas longitudes de varillas	+50%
	Menor a 10 pies	+50%
	30 a 80 pies	0%
	Más de 100 pies	+10%
	Variación en la caída del martillo	±10%
	Varillas A contra NW	±10%

Causas		Estimación en % por el cual causa posibles cambios de N
Básicas	Detalladas	
Diseño del muestreador	Revestimiento en el diámetro interno más grandes Sin revestimiento	-10% (arenas) -30% (arcillas)
Intervalo de penetración	12 pulg. En vez de 18 pulg.	-15% (arenas) -30% (arcillas)

- Tokimatsu (1988) también presento una estimación porcentual del grado de erros que se puede tener por algunos factores de cambios del ensayo en las arenas.

Tabla 6. Observaciones de Tokimatsu (1988) al ensayo SPT.

Causas		Estimación en % por el cual causa posibles cambios de N
Básicas	Detalladas	
Esfuerzos efectivos en el fondo de la perforación en arenas	Envoltura y agua contra lodo de perforación	-50%
	Permitir desequilibrio de la cabeza	+100%
	Agujeros grandes contra los pequeños	-35%
Dynamic energy reaching sampler (all soils)	Cuerda-tambor versus caída libre	+100%
	Bloque de impacto grande contra uno pequeño	+50%
	Varillas largas versus cortas	+30%
Diseño del muestreador	Revestimiento en el diámetro interno, más grandes, pero sin revestimiento versus estándar	±10-20%
Relación del conteo de golpes	Lento versus lo estandarizado	+10%
Cálculo de la resistencia a la penetración	0-12 pulg. Contra 6-18 pulg.	-15%
	12-24 pulg. Contra 6-18 pulg.	+15%

- Decourt (1990) señalo algunos factores que podrían afectar el ensayo y menciona su efecto sobre el mismo.

Tabla 7. Observaciones de Decourt (1990) al ensayo SPT.

Factor	Efecto sobre el valor de N
Variación en la altura de caída de exactamente 30 pulg.	Cualquiera
Falla del perforados para soltar completamente la tensión sobre el cable	Incremento
Uso de una línea de alambre en vez de una cuerda de manila	Incremento
Lubricación insuficiente en la polea	Incremento
Actitud de operadores	Cualquiera
Uso de un peso incorrecto	Cualquiera
Golpes al bloque de impacto de manera no concéntrica	Incremento
Cuando no se use una varilla guía	Incremento
Lectura o anotación incorrecta del número de golpes	Cualquiera
Fracaso para mantener la cabeza Hidráulica	Decremento
Hoyo de perforación más grande de 6 pulg.	Decremento
Usar una bomba de alta capacidad	Incremento
Usar lodos perforadores en vez de revestimiento (en arenas)	Incremento
Usando un muestreador deformado	Incremento
Conduciendo el muestreador al fondo de la envoltura (en arenas)	Incremento
Muestreador taponado con gravas	Incremento
Intervalos de perforación: 0-12 pulg. en vez de 6-18 pulg. 12-24 pulg. en vez de 6-18 pulg.	Decremento Incremento

- Kulhawy y Trautmann (1996) al igual que Decourt también señalaron algunos factores que podrían afectar el ensayo y menciono su efecto sobre el mismo.

Tabla 8. Observaciones de Kulhawy y Trautmann (1996) al ensayo SPT.

N-SPT Variables		Efectos relativos de los resultados del ensayo
Grupo	Ítem	
Equipo	Muestreador no estándar	Moderado
	Muestreador deformado o dañado	Moderado
	Diámetro/Peso de varillas	Menor

N-SPT Variables		Efectos relativos de los resultados del ensayo
Grupo	Ítem	
	Longitud de varillas Varillas deformadas Tipos de martillo Sistema de caída de martillo Peso del martillo Tamaño del bloque de impacto Clase de quipo de perforación	Menor Menor Moderado a significativo Significativo Menor Moderado a significativo Menor
Operador	Tamaño del agujero Método de estabilización del agujero Limpieza del agujero Cabeza hidrostática insuficiente Preparación del muestreador Método de caída del martillo Error en el conteo de golpes	Moderado Menor a significativo Moderado a significativo Moderado a significativo Moderado a significativo Moderado a significativo Menor

3.4 Factores de corrección del ensayo de penetración estandar (SPT) por pérdidas de energía

Como una medida de corrección al ensayo de SPT por la pérdida de energía de todos los diversos factores que existen, se propone corregir el número de golpes obtenidos en campo al 60% de la energía de caída libre teórica del martillo por medio de las siguientes ecuaciones:

$$N_{60} = N_{field} C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C$$

$$N_{1,60} = N_{field} C_N C_E C_R C_B C_S C_A C_{BF} C_C$$

N_{field} = Numero de Golpes medidos en el campo.

C_N = Factor de corrección de sobrecarga

C_E = Factor de corrección por energía.

C_R = Factor de corrección por longitud de las varillas.

C_B = Factor de corrección por el diámetro de la perforación.

C_S = Factor de corrección del revestimiento.

C_A = Factor de corrección del bloque de impacto.

C_{BS} = Factor de corrección de la frecuencia del número de golpes.

C_C = Factor de corrección del amortiguamiento del martillo.

3.4.1 Factor de corrección de sobrecarga

Con el propósito de comparar el número de golpes medidos a las diferentes profundidades, estos deben ser ajustados a una presión de sobrecarga estándar de 1 atm de presión. La resistencia a la penetración de materiales poco cohesivos (depende fuertemente de la presión de confinamiento). Para las arenas una ejecución del spt a profundidades superficiales tendrá un número de golpes más bajo que para la ejecución del spt a grandes profundidades.

Multiplicando N_{field} por C_N , los efectos de la presión de confinamiento son compensados.

Tabla 9. Factores de Corrección de Sobrecarga (Álvaro Gonzales, 1999).

Referencia	Factor de corrección, C_N		Unidades del esfuerzo efectivo
Peck y Bezaraa (1969)	$C_N = \begin{cases} \frac{4}{1 + 2\sigma'_v}; & \frac{4}{3.25 + 0.5\sigma'_v} \end{cases}$	$\sigma'_v \leq 1.5;$ $\sigma'_v \geq 1.5$	ksf
Peck et al. (1974)	$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'_v}$		Kg/cm ² o tsf
Tokimatsu y Yoshimi (1983)	$C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v}$		Kg/cm ² o tsf
Liao y Whithman (1986)	$C_N = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_v}}$		Kg/cm ² o tsf
Skempton, (1986)	$C_N = \begin{cases} \frac{2}{1 + \sigma'_v} \\ \frac{3}{2 + \sigma'_v} \\ \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} \end{cases}$	Para arenas finas o densidad medias	Kg/cm ² o tsf
		Para arenas densas. Normalmente consolidadas	
		Para arenas finas. Preconsolidadas	

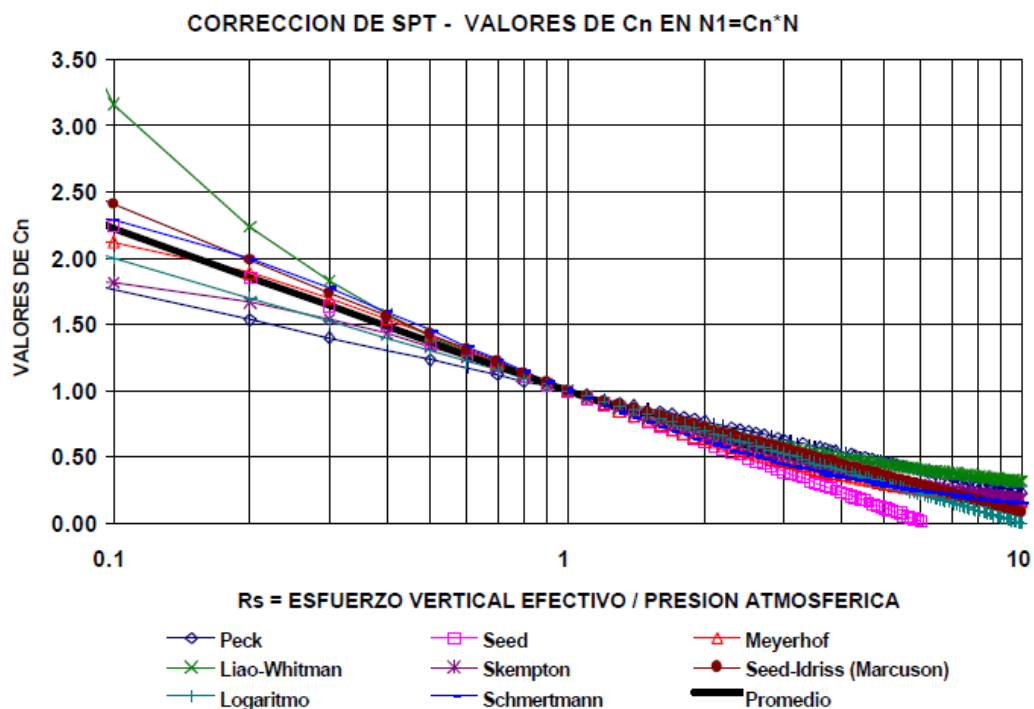
En este estudio se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas por el Doctor Alvaro Gonzales en el documento “ESTIMATIVOS DE PARAMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT”, donde según este artículo para escoger el factor de corrección adecuado se recomienda que se deba utilizar el factor de corrección que cumpla con la condición de $C_N \leq 2.0$ para $\sigma'_V = 0$ (Figura 12), para lo cual las únicas dos ecuaciones que cumplen son la de Skempton y la de Peck. Según lo anterior se tomó como factor de corrección de sobrecarga el recomendado por Peck, debido a que este se puede utilizar para cualquier tipo de suelo y el de Skempton solo es para arenas en distintas condiciones.

$$C_N = 0.77 \log_{10} \frac{20}{\sigma'_V}$$

Dónde:

σ'_V = Esfuerzo vertical efectivo

Figura 12. Valores de C_n (Álvaro Gonzales, 1999)



3.4.2 Factor de Corrección por energía

El factor de corrección por energía es uno de los factores de corrección más importantes que se utilizan. El objetivo de la aplicación de este factor de corrección es ajustar el número de golpes para el valor que habría de ser

medido si un martillo imparte el 60% de la energía teórica que ha sido utilizada en la prueba

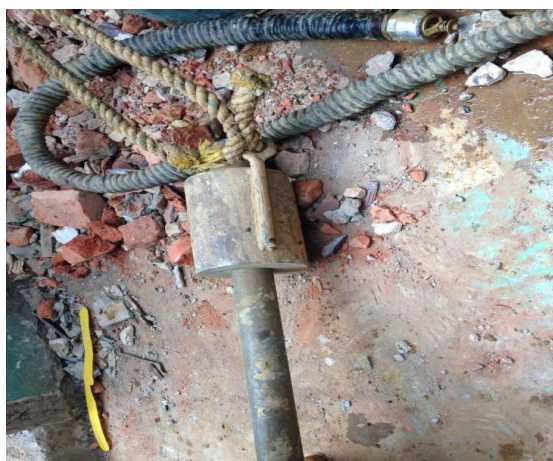
$$C_E = \frac{ER}{60}$$

E_R = Factor de energía expresado en porcentaje, que depende del tipo de martillo que se utilice.

Tabla 10. Factor de Corrección por Energía (De seed et al., 1985)

Tipo de martillo	ER (%)	C _E
Anular ("Donut")	45	0.75
De seguridad	60	1.0
Automático	100	1.67

Fotografía 7. Martillo Anular (Donut) utilizado en el proyecto.



En este estudio se trabajó con un martillo Anular (Donut) de 140 lbs de peso, razón por la cual para este análisis de corrección por energía se tiene un factor $C_E = 0.75$.

3.4.3 Factor de Corrección por longitud de las varillas

El factor de corrección por longitud de las varillas obedece principalmente a las perdidas por energía que tiene la varilla por su extensión.

Tabla 11. Factor de Corrección por longitud de las varillas (Tokimatsu, 1988).

Longitud de varillas	C _R
	Seed et al. (1985)
< 10 pies	0.75
10 – 13 pies	1.0
13 – 20 pies	1.0
20 – 30 pies	1.0
> 30 pies	1.0

Fotografía 8. Varilla de 3 metros de longitud utilizada en el proyecto.



En este estudio se trabajó con varillas de 3 metros de longitud, por esta razón para este análisis de corrección por longitud de las varillas se tiene un factor $C_R = 0.75$.

3.4.4 Factor de Corrección por el diámetro de la perforación

Este factor de corrección es utilizado cuando los el diámetro de la perforación es mayor a 4.5 pulgadas, pues cuando esto ocurre hay una relajación de los esfuerzos del suelo y los valores de N son más bajos de lo que en realidad podrían llegar a ser.

Tabla 12. Factor de corrección por el diámetro de la perforación (Skempton, 1986).

Diámetro del agujero o barreno	C_B
2.5 a 4.5 pulg.	1.0
6 pulg.	1.05
8 pulg.	1.15

Fotografía 9. Diámetro de la perforación de 2.5 pulgadas.



En este estudio se trabajó con varillas de 2.5 pulgadas de diámetro, por esta razón para este análisis de corrección por longitud de las varillas se tiene un factor $C_B = 1.0$.

3.4.5 Factor de Corrección del revestimiento

Este factor de corrección se utiliza cuando el tomamuestras no tiene el revestimiento interno y aumenta su diámetro de 1 1/2" a 1 3/8". Al incrementar el diámetro se reduce la fricción interna del penetrometro, lo cual hace que los valores sean mucho más bajos.

Tabla 13. Factores de corrección del revestimiento (según Youd e Idriss, 1997).

Configuración del muestreador	Cs
Penetrómetro estándar	1.0
U.S. Penetrómetro sin revestimiento	1.1 a 1.3

Fotografía 10. Tomamuestras con revestimiento (con Liner).



Para este proyecto se utilizaron varillas con revestimiento (con Liner), por esta razón para este análisis de corrección del revestimiento se tiene un factor $C_S = 1.0$.

3.4.6 Factor de Corrección del bloque de impacto

El factor es utilizado para corregir la pérdida de energía que se da cuando durante la realización del ensayo de penetración el martillo de impacto choca contra el bloque de impacto que transmite la energía a las barras.

Dicho martillo puede ser metálico en la mayoría de las ocasiones y usualmente puede variar en forma, tamaño y peso.

Tabla 14. Factor de corrección según el bloque de impacto (Tokimatsu, 1988).

Martillo	Bloque de impacto	C_A
Anular	Pequeño (4.4 lbs)	0.85
	Grande (26.5 lbs)	0.70
De seguridad	5.5 lbs	0.90

Para este proyecto se utilizó un martillo grande, razón por la cual el factor de corrección es $C_A = 0.70$

3.4.7 Factor de Corrección de la frecuencia del número de golpes

Este factor de corrección se encarga de medir la variación del número de golpes “N” que puede ser afectada por la relación de la velocidad a la cual los golpes son aplicados a las varillas.

Si la frecuencia de los golpes del martillo es de 30-40 golpes por minuto, el factor de seguridad es $C_{BF} = 1.0$.

Tabla 15. Factor de corrección de la frecuencia del conteo de golpes (Decourt, 1990).

$N_{1,60}$	Frecuencia de golpes del martillo	
< 20	10 – 20 golpes por minuto	0.95
> 20		1.05

Para este proyecto se controló el número de golpes para los sondeos realizados con el procedimiento normatizado, por esta razón para nuestros análisis de corrección del número de golpes tendremos un factor $C_{BF} = 1.0$.

Para los sondeos realizados manualmente no se controló el número de golpes y se contabilizó un total de 10 a 20 golpes por minuto, razón por la cual para la corrección de número de golpes de los sondeos manuales tendremos un factor de $C_{BF} = 0.95$.

3.4.8 Factor de Corrección del amortiguador del martillo

Este factor de corrección es utilizado en algunos casos cuando se dispone de un bloque de madera como amortiguador sobre la superficie del bloque de impacto para minimizar el ruido causado por el golpeo. El amortiguador absorbe una parte de la energía del martillo de golpeo y el número de golpes se incrementa.

Tabla 16. Factor de corrección del amortiguador del martillo (Decourt, 1990)

Tipo de bloque amortiguador de madera dura	C_c
Ninguno	1.0
Nuevo	0.95
Usado	0.90

En el desarrollo de los sondeos no se utilizó amortiguador, por esta razón para nuestros análisis de corrección del número de golpes tendremos un factor $C_c = 1.0$.

RESULTADOS DE LOS SONDEOS Y DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 Resultados de los ensayos de laboratorio

Las muestras recuperadas de los sondeos fueron llevadas al laboratorio para su análisis y descripción. Una vez descritas las muestras se procedió a la identificación de las muestras típicas y se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio para cada sitio:

Tabla 17. Ensayos de laboratorio realizados

Ensayo	No. de ensayos		
	Sitio 1	Sitio 2	Sitio 3
Análisis granulométrico por tamizado	2	2	4
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	5	5	5
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	2	2	4
Clasificación de suelos	2	2	5
Resistencia al corte directo consolidado drenado	1	1	1

4.1.1 Resumen ensayos de laboratorio

A continuación se presenta para cada sitio el resumen de los ensayos de laboratorio realizados

Sitio 1:

Tabla 18. Resumen ensayos de laboratorio sitio 1

Prof. (metros)	Humedad %	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasificación S.U.C.S.
0.45	7.97	-	-	-	-	-
1.50	9.88	-	-	-	-	-
1.95	7.48	37.86	31	15.69	15.31	SC
3.45	12.79	-	-	-	-	-
4.5	6.25	49.76	23.0	12.93	10.07	SC

Ensayo de Corte directo

Tabla 19. Resumen ensayo corte directo sitio 1

Profundidad (metros)	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (kg/cm ²)
0.45 – 1.50	30°	0.05

Sitio 2:

Tabla 20. Resumen ensayos de laboratorio sitio 2

Prof. (metros)	Humedad %	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasificación S.U.C.S.
0.45	13.13	–	-	-	-	-
1.50	15.23	13.06	26.00	12.09	13.91	GC
1.95	18.97	60.47	21.00	9.63	11.37	CL
3.45	17.41	-	-	-	-	-
4.50	26.77	-	-	-	-	-

Ensayo de Corte directo**Tabla 21.** Resumen ensayo corte directo sitio 2

Profundidad (metros)	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (kg/cm ²)
0.45 – 1.50	33°	0.05

Sitio 3:

Tabla 22. Resumen ensayos de laboratorio sitio 3

Prof. (metros)	Humedad %	% Finos	% L.L.	% L.P.	% I.P.	Clasificación S.U.C.S.
0.45	11.34	51.15	23.00	11.58	11.42	CL
1.50	–	46.37	24.00	12.77	11.23	SC
1.95	8.85	24.99	–	–	–	SM
3.00	16.36	–	–	–	–	–
3.45	17.22	61.67	35.00	16.67	18.33	CL
4.50	20.93	–	–	–	–	–
4.95	19.80	–	–	–	–	–
6.0	23.60	41.44	32.00	16.43	15.57	SC

Ensayo de Corte directo**Tabla 23.** Resumen ensayo corte directo sitio 3

Profundidad (metros)	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (kg/cm ²)
0.45 – 1.50	33°	0.01

4.2 Corrección por energía del número de golpes: N_{60} y $N_{1,60}$

Según los resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT) realizados en los diferentes lotes se obtuvieron los parámetros del número de golpes “N” para los sondeos realizados con el procedimiento normatizado y con el

procedimiento manual; los cuales se corrigen según el capítulo anterior en el cual se explican y se indican los factores de corrección por energía.

Sitio 1:

Tabla 24. Valores de N y $N_{1,60}$, Sitio 1 – Sondeo normatizado

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N_{60}	$N_{1,60}$
	6"	12"	18"			
0.00 - 0.45	3	2	3	5	2	4
1.50 - 1.95	6	10	16	26	10	14
3.00 - 3.45	20	26	30	56	22	26

Tabla 25. Valores de N y $N_{1,60}$, Sitio 1 – Sondeo manual

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N_{60}	$N_{1,60}$
	6"	12"	18"			
0.00 - 0.45	4	4	2	6	2	4
0.45 - 0.90	2	2	4	6	2	4
0.90 - 1.35	4	5	6	11	4	6
1.35 - 1.80	7	8	9	17	6	9
1.80 - 2.25	9	10	16	26	10	13
2.25 - 2.70	16	16	32	48	18	22

Sitio 2:

Tabla 26. Valores de N y $N_{1,60}$, Sitio 2 – Sondeo normatizado

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N_{60}	$N_{1,60}$
	6"	12"	18"			
0.00 – 0.45	1	2	2	4	2	3
1.50 – 1.95	2	2	2	4	2	2
3.00 – 3.45	3	4	10	14	6	6

Tabla 27. Valores de N y $N_{1,60}$, Sitio 2 – Sondeo manual

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N_{60}	$N_{1,60}$
	6"	12"	18"			
0.00 - 0.45	10	5	5	10	4	7
0.45 - 0.90	5	5	7	12	4	7
0.90 - 1.35	2	4	2	6	2	3

1.35 - 1.80	4	4	4	8	3	4
1.80 - 2.25	6	11	9	20	7	10
2.25 - 2.70	10	18	26	44	16	20

Sitio 3:

Tabla 28. Valores de N y N_{1,60}, Sitio 3 – Sondeo normalizado

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N ₆₀	N _{1,60}
	6"	12"	18"			
0.00 - 0.45	5	4	3	7	3	5
1.50 - 1.95	10	21	22	43	17	23
3.00 - 3.45	6	12	17	29	11	13
4.50 - 4.95	9	14	16	30	12	12

Tabla 29. Valores de N y N_{1,60}, Sitio 3 – Sondeo manual

Profundidad (m)	Numero de golpes			N	N ₆₀	N _{1,60}
	6"	12"	18"			
0.00 - 0.45	5	6	5	11	4	8
0.45 - 0.90	4	4	5	9	3	5
0.90 - 1.35	3	7	5	12	4	7
1.35 - 1.80	6	7	24	31	12	16

4.3 Resultados del ensayo Triaxial

Para el desarrollo de este estudio se tomó como referencia los ensayos triaxiales realizados por el INGEOMINAS en el estudio “ZONIFICACIÓN SISMOGEOTECNICA DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA”, en el cual se realizaron ensayos triaxiales consolidados no drenados (CU) en el Parque de los Niños y el Parque Antonio Nariño, obteniéndose los siguientes resultados:

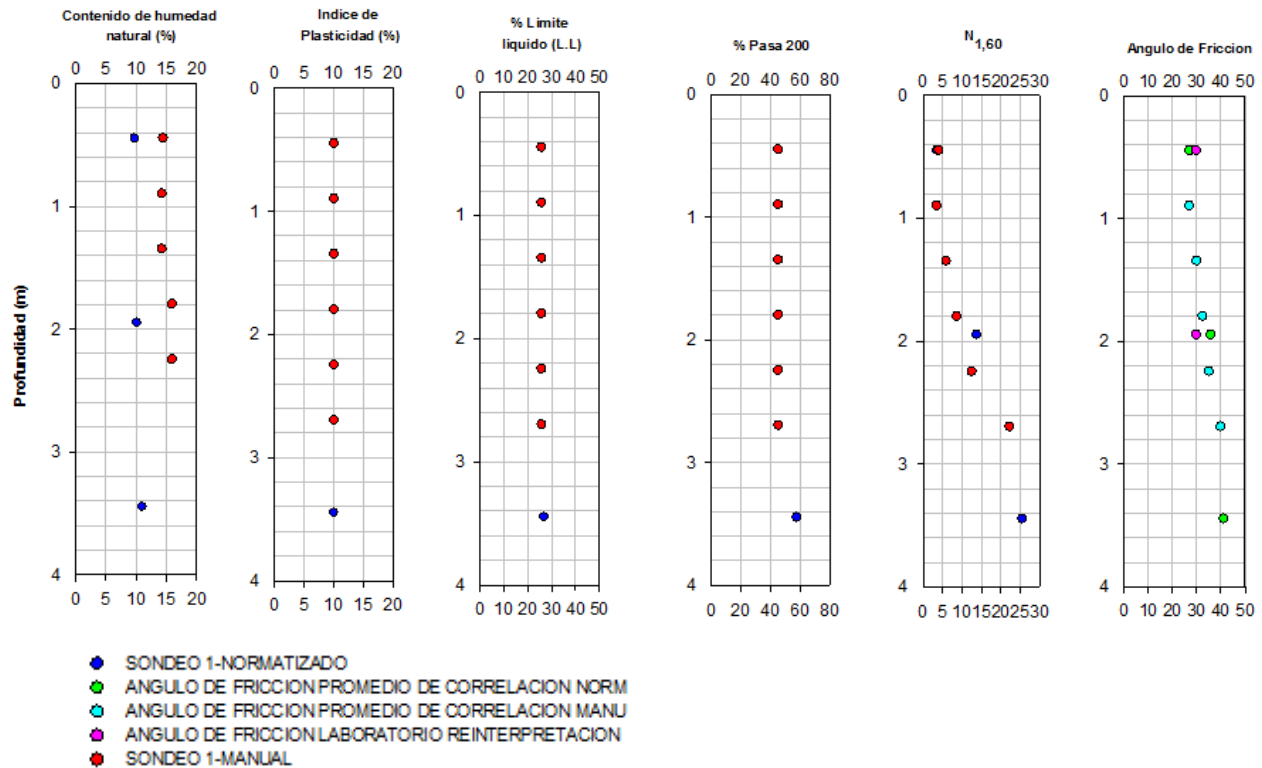
Tabla 30. Resultados de los ensayos triaxiales realizados por INGEOMINAS

Ubicación	Profundidad (metros)	Angulo de fricción (ϕ)	Cohesión (kg/cm ²)
Parque de los Niños	1.20 – 1.50	35°	0.40
Parque Antonio Nariño	4.00 – 5.00	29°	0.00

4.4 Caracterización Geotécnica

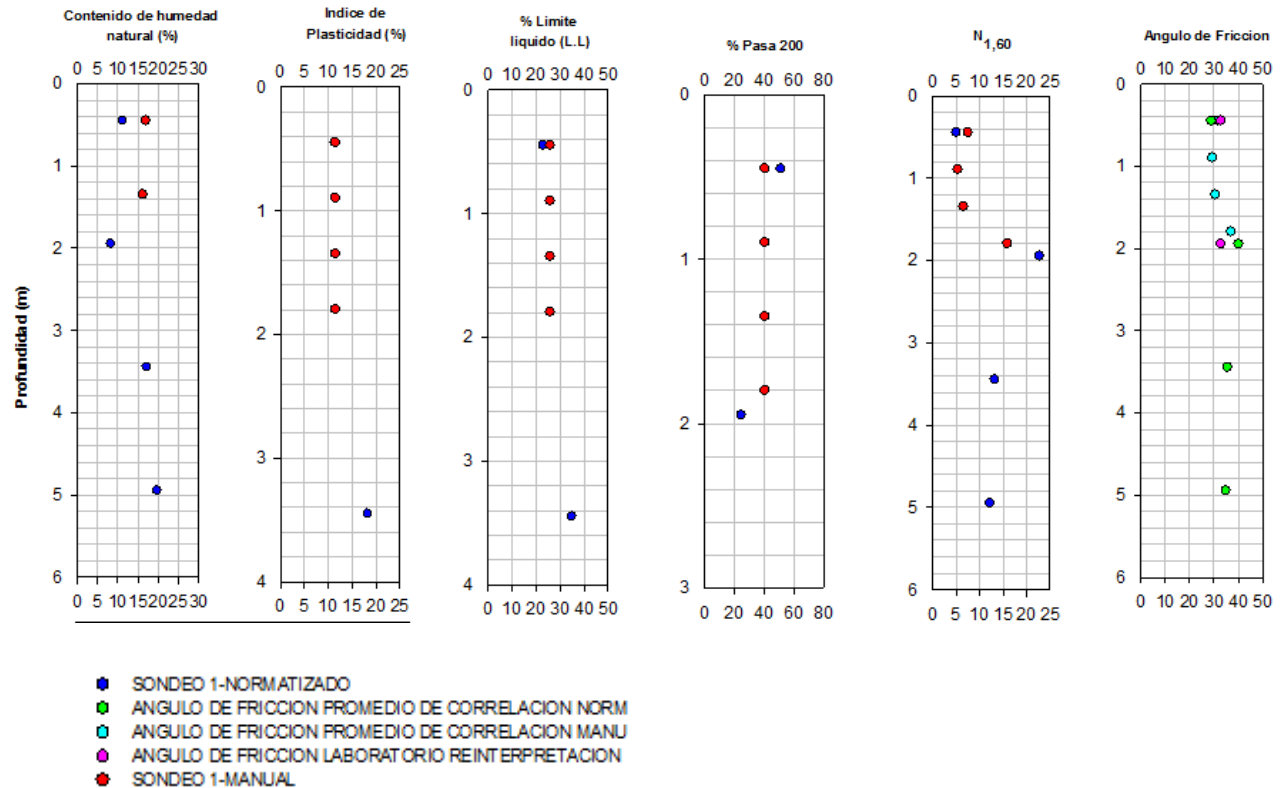
Con los resultados de los ensayos de laboratorio y los resultados obtenidos del número de golpes corregido “ $N_{1,60}$ ” de los sondeos, se realizó una caracterización geotécnica para cada uno de los sitios (Figuras 13 a la 15).

Figura 13. Caracterización geotécnica Sitio 1



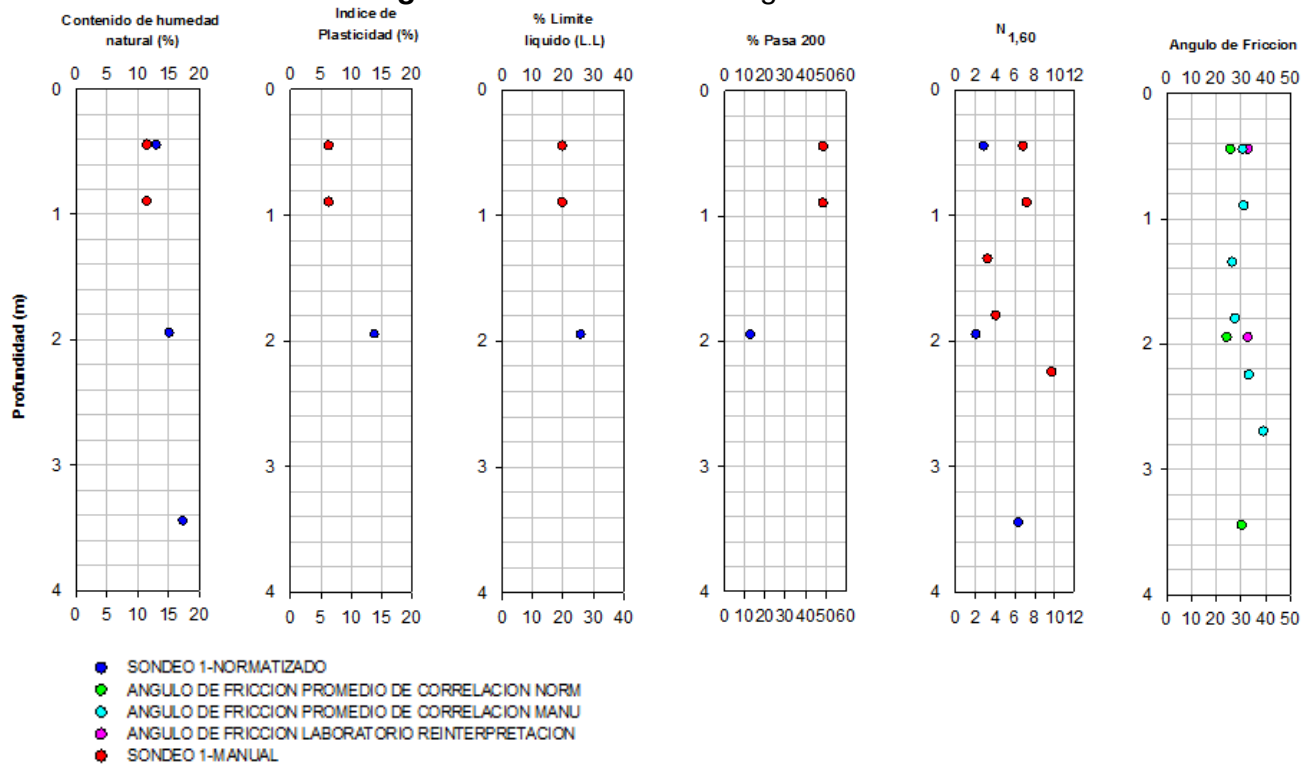
En este sitio se observa un suelo con un contenido de humedad bajo, consistencia media y un gran contenido de finos. Por otra parte los valores del número de golpes corregido “ $N_{1,60}$ ” del SPT normalizado no difieren en mucho con los del SPT manual y tienen una tendencia a aumentar con la profundidad. En relación a que los valores del número de golpes corregido “ $N_{1,60}$ ” para el SPT manual y normalizado son bastante parecidos, los valores del ángulo de fricción también lo son, mientras que el ángulo de fricción del ensayo de corte directo reinterpretado si es un poco mayor que los hallados con el SPT.

Figura 14. Caracterización geotécnica Sitio 2



En este sitio se observa un suelo con un contenido de humedad medio-bajo, consistencia media y un alto contenido de finos. Por otra parte los valores del número de golpes corregido “ $N_{1,60}$ ” del SPT normalizado difieren bastante con los del SPT manual y tienen una tendencia a aumentar con la profundidad. En relación a que los valores del número de golpes corregido “ $N_{1,60}$ ” para el SPT manual y normalizado no son muy parecidos, los valores del ángulo de fricción tampoco lo son, mientras que el ángulo de fricción del ensayo de corte directo reinterpretado es el mayor y es un poco parecido al del SPT manual.

Figura 15. Caracterización geotécnica Sitio 3



En este sitio se observa un suelo con un contenido de humedad medio-bajo, consistencia media y un gran contenido de finos. Por otra parte los valores del número de golpes corregido " $N_{1,60}$ " del SPT normalizado difieren en un buen porcentaje con los del SPT manual y tienen una tendencia a aumentar con la profundidad. En relación a que los valores del número de golpes corregido " $N_{1,60}$ " para el SPT manual y normalizado no son muy parecidos, los valores del ángulo de fricción tampoco lo son, mientras que el ángulo de fricción del ensayo de corte directo reinterpretado es el mayor y es un poco parecido al del SPT manual.

CALCULO DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN Y DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE

Para la realización del cálculo de la capacidad de soporte se utilizaron los resultados del ángulo de fricción ϕ , de los ensayos de laboratorio y de los hallados mediante el uso de correlaciones con los resultados del ensayo SPT. Se escogió la profundidad de 0,45 metros como la profundidad de cimentación a la cual se evaluó la capacidad de soporte y unas dimensiones de ancho y largo de la cimentación de 1.0x1.0 metros.

5.1 Cálculo del ángulo de fricción

Con los resultados de los sondeos se hallaron los valores del ángulo de fricción para cada número de golpes corregido $N_{1,60}$, escogiéndose las ecuaciones de Hatanaka y Uchida (1996) y Schmertmann (1975) como las ecuaciones más indicadas para hallar el ángulo de fricción en los suelos de Bucaramanga.

- Hatanaka & Uchida (1996): $\phi = 3.5\sqrt{N_{1,60}} + 22.3$
- Schmertmann (1975): $\phi = \tan^{-1}(N_{1,60}/32.5)^{0.34}$

Sitio 1:

Tabla 31. Valores de ϕ , Sitio 1 – Sondeo normalizado

Profundidad (m)	$N_{1,60}$	ϕ (Hatanaka & Uchida)	ϕ (Schmertmann)	ϕ (Promedio)
0.00 - 0.45	4	29	25	27
1.50 - 1.95	14	35	37	36
3.00 - 3.45	26	40	43	41

Tabla 32. Valores de ϕ , Sitio 1 – Sondeo manual

Profundidad (m)	$N_{1,60}$	ϕ (Hatanaka & Uchida)	ϕ (Schmertmann)	ϕ (Promedio)
0.00 - 0.45	4	29	26	28
0.45 - 0.90	4	29	25	27
0.90 - 1.35	6	31	29	30
1.35 - 1.80	9	33	33	33
1.80 - 2.25	13	35	36	35

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
2.25 - 2.70	22	39	41	40

Sitio 2:

Tabla 33. Valores de Ø, Sitio 2 – Sondeo normalizado

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
0.00 - 0.45	3	28	24	26
1.50 - 1.95	2	27	22	25
3.00 - 3.45	6	31	30	31

Tabla 34. Valores de Ø, Sitio 2 – Sondeo manual

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
0.00 - 0.45	7	31	31	31
0.45 - 0.90	7	32	31	31
0.90 - 1.35	3	29	25	27
1.35 - 1.80	4	29	26	28
1.80 - 2.25	10	33	34	33
2.25 - 2.70	20	38	41	39

Sitio 3:

Tabla 35. Valores de Ø, Sitio 3 – Sondeo normalizado

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
0.00 - 0.45	5	30	28	29
1.50 - 1.95	23	39	42	40
3.00 - 3.45	13	35	36	36
4.50 - 4.95	12	35	36	35

Tabla 36. Valores de Ø, Sitio 3 – Sondeo manual

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
0.00 - 0.45	8	32	31	32
0.45 - 0.90	5	30	29	29

Profundidad (m)	N _{1,60}	Ø (Hatanaka & Uchida)	Ø (Schmertmann)	Ø (Promedio)
0.90 - 1.35	7	31	30	31
1.35 - 1.80	16	36	38	37

5.2 Cálculo de la Capacidad de Soporte

Para el cálculo de la capacidad de soporte última se escogieron las ecuaciones de Meyerhof (1951) y de Bowles (1977), las cuales se utilizan para suelos cohesivos y suelos granulares.

- Meyerhof (1951): $q_{ult} = C \cdot N_c \cdot d_c \cdot S_c + \bar{q} \cdot N_q \cdot S_q \cdot d_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot S_\gamma \cdot d_\gamma$
Nota: Los coeficientes N_c , N_γ y N_q , d_c , d_q , d_γ , S_c , S_q , S_γ son coeficientes que dependen del ángulo de fricción del suelo ϕ .
- Bowles (1977): $q_{ult} = 11.98 \cdot N_{1,60} \cdot \left(\frac{3.28B+1}{3.28B} \right) \cdot \left(1 + 0.33 \cdot \frac{D}{B} \right)$

Nota: Para la ecuación de Meyerhof los coeficientes N_c , N_γ y N_q , d_c , d_q , d_γ , S_c , S_q , S_γ son coeficientes que dependen del ángulo de fricción del suelo ϕ .

Los valores del ancho de la zapata (B), la longitud de la cimentación (L) y la profundidad de cimentación (D) son de 1.0 metros, 1.0 metros y 0.45 metros respectivamente y son iguales para todas las capacidades de soporte halladas; el valor de la cohesión de cada suelo se asumió igual a cero.

Para el cálculo de la presión admisible se utilizó un factor de seguridad de 3.0 y se utilizó la ecuación:

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS}$$

Tabla 37. Cálculo de capacidad admisible, Sitio 1

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
C (Kn/m ²)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
L (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
γ (Kn/m ³)	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
D (m)	0,45	0,45	0,45	1,5	5
q (Kn/m ²)	8,1	8,1	8,1	27,0	90,0
ϕ (°)	28	27	30	35	29
Nc	25,61	24,25	30,14	44,48	28,08
Nq	14,56	13,45	18,40	31,69	16,63
Ny	11,00	9,74	15,67	34,61	13,46
Kp	1,66	1,64	1,73	1,90	1,70
Sc	1,33	1,33	1,35	1,38	1,34
Sq	1,17	1,16	1,17	1,19	1,17
Sy	1,17	1,16	1,17	1,19	1,17
dc	1,12	1,12	1,12	1,41	2,30
dq	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
d γ	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
Qult (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	267,67	242,01	360,46	1676,98	3127,21
Q _{adm} (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	89,22	80,67	120,15	558,99	1042,40
Qult (Kn/m ²) Bowles (1977)	74,23	65,12	-	-	-
Q _{adm} (Kn/m ²) Bowles (1977)	24,74	21,71	-	-	-

Tabla 38. Calculo de capacidad admisible, Sitio 2

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
C (Kn/m ²)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
L (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
γ (Kn/m ³)	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
D (m)	0,45	0,45	0,45	1,5	5
q (Kn/m ²)	8,1	8,1	8,1	27,0	90,0
ϕ (°)	31	26	33	35	29
Nc	32,72	22,26	38,64	44,48	28,08
Nq	20,67	11,86	26,09	31,69	16,63

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
N _y	18,62	8,00	26,17	34,61	13,46
K _p	1,77	1,60	1,84	1,90	1,70
Sc	1,35	1,32	1,37	1,38	1,34
S _q	1,18	1,16	1,18	1,19	1,17
S _y	1,18	1,16	1,18	1,19	1,17
dc	1,12	1,11	1,12	1,41	2,30
dq	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
dy	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
Q _{ult} (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	417,87	206,05	561,45	1676,98	3127,21
Q _{adm} (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	139,29	68,68	187,15	558,99	1042,40
Q _{ult} (Kn/m ²) Bowles (1977)	123,72	52,09	-	-	-
Q _{adm} (Kn/m ²) Bowles (1977)	41,24	17,36	-	-	-

Tabla 39. Calculo de capacidad admisible, Sitio 3

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
C (Kn/m ²)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
L (m)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
γ (Kn/m ³)	18,0	18,0	18,0	18,0	18,0
D (m)	0,45	0,45	0,45	1,5	5
q (Kn/m ²)	8,1	8,1	8,1	27,0	90,0
φ (°)	32	29	33	35	29
N _c	34,47	28,08	38,64	44,48	28,08
N _q	22,25	16,63	26,09	31,69	16,63
N _y	20,75	13,46	26,17	34,61	13,46
K _p	1,79	1,70	1,84	1,90	1,70
Sc	1,36	1,34	1,37	1,38	1,34
S _q	1,18	1,17	1,18	1,19	1,17
S _y	1,18	1,17	1,18	1,19	1,17

Variables	SPT Manual	SPT Normalizado	Ensayos de Laboratorio	Triaxial Parque de los niños	Triaxial Parque Antonio Nariño
dc	1,12	1,12	1,12	1,41	2,30
dq	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
dy	1,06	1,06	1,06	1,21	1,65
Qult (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	458,74	316,89	561,45	1676,98	3127,21
Q _{adm} (Kn/m ²) Meyerhof (1951)	152,91	105,63	187,15	558,99	1042,40
Qult (Kn/m ²) Bowles (1977)	136,10	91,16	-	-	-
Q _{adm} (Kn/m ²) Bowles (1977)	45,37	30,39	-	-	-

ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 Comparación de los resultados obtenidos para el ángulo de fricción

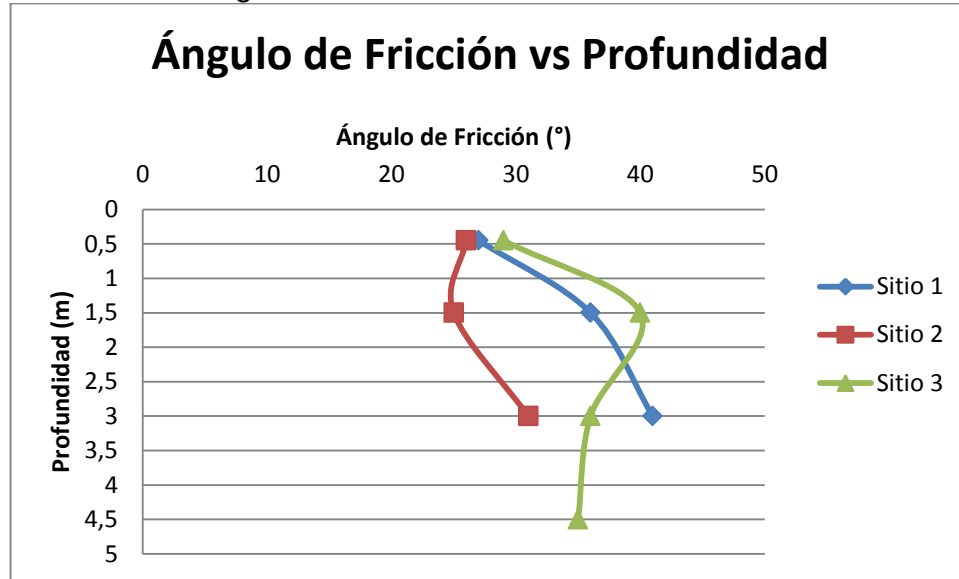
De los resultados obtenidos para el ángulo de fricción hallados por medio de correlaciones en el capítulo 5, se realizaron tablas y gráficas comparativas de los resultados de cada sitio (Tablas 40-41 y Gráficas 1-2).

- SPT Normalizado

Tabla 40. Comparación del ángulo de fricción del SPT normalizado

Profundidad	Φ Sitio 1	Φ Sitio 2	Φ Sitio 3
0.00 - 0.45	27	26	29
1.50 - 1.95	36	25	40
3.00 - 3.45	41	31	36
4.50 - 4.95	-	-	35

Gráfica 1. Ángulo de Fricción vs Profundidad SPT Normalizado



En general se observa una tendencia de aumento del ángulo de fricción con la profundidad, siendo los ángulos de fricción del sitio 2 los más bajos y los del sitio 3 los mayores hasta una profundidad de 1,50 metros, profundidad a la cual presenta una extraña variación y disminuye, lo cual está estrictamente

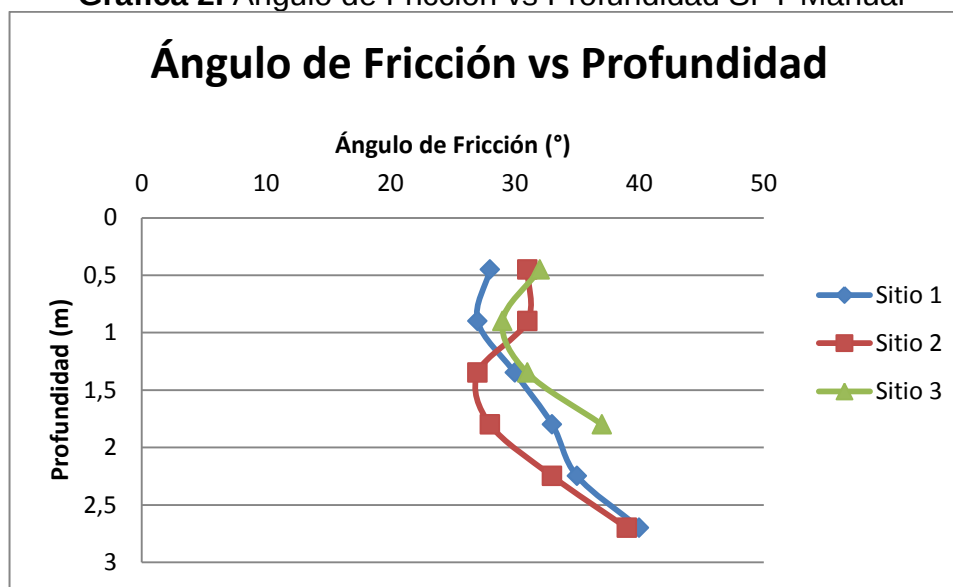
relacionado con un estrato de menor densidad que apareció en este sitio. En general se puede ver que los ángulos de fricción a profundidades menores son relativamente parecidos para los tres sitios y varían en un gran porcentaje a mayor profundidad.

- **SPT Manual**

Tabla 41. Comparación del ángulo de fricción del SPT manual

Profundidad	Φ Sitio 1	Φ Sitio 2	Φ Sitio 3
0.00 - 0.45	28	31	32
0.45 - 0.90	27	31	29
0.90 - 1.35	30	27	31
1.35 - 1.80	33	28	37
1.80 - 2.25	35	33	-
2.25 - 2.70	40	39	-

Gráfica 2. Ángulo de Fricción vs Profundidad SPT Manual



Al igual que para la gráfica realizada para el SPT normatizado, podemos decir que se nota una tendencia de aumento del ángulo de fricción con la profundidad, siendo ligeramente mayores los ángulos de fricción del sitio 3 y ligeramente menores los del sitio 2. En general se puede decir que los ángulos de fricción obtenidos con este ensayo son casi iguales en todas las profundidades y solo se deben esperar valores diferentes del ángulo de fricción del sitio 3 a profundidades mayores a los 1,80 metros en las cuales el ensayo de penetración dio rechazo, lo cual infiere un suelo de alta consistencia y ángulo de fricción muy alto.

6.2 Comparación de los resultados de capacidad de soporte de los suelos

De los resultados obtenidos de la capacidad de soporte de los suelos halladas con las ecuaciones de Meyerhof y Bowles en el capítulo 5, se realizó una tabla comparativa de los resultados de cada sitio (Tabla 42):

Tabla 42. Comparación de la Capacidad de Soporte de cada sitio

Método	Sitio 1 Meyer. (Kn/m ²)	Sitio 2 Meyer. (Kn/m ²)	Sitio 3 Meyer. (Kn/m ²)	Sitio 1 Bowl. (Kn/m ²)	Sitio 2 Bowl. (Kn/m ²)	Sitio 3 Bowl. (Kn/m ²)
SPT Manual	89,22	139,29	152,91	24,74	41,24	45,37
SPT Normalizado	80,67	68,68	105,63	21,71	17,36	30,39
Corte Directo Reinterpretado	120,15	187,15	187,15	-	-	-

En general con el método de meyerhof se observan mayores capacidades de soporte en el sitio 3, por lo que se puede decir que los suelos del Barrio san francisco son más densos a pocas profundidades que los suelos del barrio San Alonso. También se puede ver que las capacidades de soporte del SPT normalizado son las menores y las del ensayo de corte directo las mayores; por lo cual se puede concluir que el ensayo de penetración normalizado es muy confiable debido a que no sobreestima la capacidad de soporte de los suelos, mientras que el ensayo de corte directo y el ensayo de penetración manual podrían estar sobreestimando la capacidad del suelo.

Comparando los resultados obtenidos con las dos metodologías utilizadas para la realización del ensayo de penetración se puede observar que en el sitio 1 son bastante parecidos los resultados, mientras que para el sitio 2 y 3 la variación es mayor.

Las capacidades de carga halladas con la ecuación de Bowles en general para todos los sitios es bastante menor en comparación con las de Meyerhof y a su vez difiere en un gran porcentaje comparándolas entre el SPT manual y el normalizado para cada uno de los sitios.

CONCLUSIONES

- Con la ejecución de los ensayos de penetración manuales y normatizados, se observó que como se esperaba, la geología de los tres sitios en los cuales fueron realizados los sondeos es la misma y corresponde a la unidad geológica del Miembro Limos Rojos (Qblr) del abanico aluvial de Bucaramanga.
- Se encontró que aunque los tres sitios se encuentran en la misma unidad geológica, las capacidades de soporte presentan una gran variación entre sí, razón por la cual se recomienda tener un especial cuidado en los estudios de suelos que se realizan en la ciudad de Bucaramanga y se concluye que para la estimación de dichas capacidades de soporte, se deben tener en cuenta los parámetros de laboratorio y los hallados por medio de correlaciones con el ensayo SPT, puesto que de no ser así se podría estar sobreestimando la resistencia del suelo.
- El ensayo de corte directo no es un ensayo totalmente drenado, ya que durante la realización del ensayo no se puede controlar las condiciones de drenaje durante la prueba, por lo tanto los parámetros de resistencia al corte obtenidos no son totalmente comparables con los calculados por correlaciones con el ensayo SPT. Para mejorar los datos obtenidos en el ensayo de corte directo, se reinterpretaron los resultados del ensayo para tratar de obtener una envolvente de resistencia para parámetros drenados, es decir llevar a una cohesión cero. Se propone entonces como mejora al ensayo de corte directo ajustar la velocidad de falla del ensayo para que sea muy baja y evitar que se generen presiones de poros.
- Las capacidades de soporte halladas con los resultados del ensayo de corte directo reinterpretado difieren entre un 30% y un 60% con los resultados del ensayo SPT normatizado y entre un 18% y un 25% con los resultados del ensayo SPT manual, por lo cual si solo se hallan capacidades de soporte por intermedio de correlaciones con el SPT normatizado o con el SPT manual en los suelos de Bucaramanga, se podrían estar subestimando los parámetros del suelo y su capacidad,

por lo cual se recomienda al momento de calcular la capacidad de soporte del suelo tener en cuenta los resultados de los ensayos de laboratorio.

- Las capacidades de soporte halladas para los sondeos manuales aumentan progresivamente del sitio 1 al sitio 3, esto puede deberse no solo a los cambios en las propiedades del suelo, sino también a que hay una mayor pérdida de energía por la ejecución incorrecta del ensayo.
- Las capacidades de soporte halladas con los ensayos triaxiales realizados por el Ingeominas presentan resultados que difieren en más del 100%, siendo la capacidades de carga halladas con los ensayos triaxiales las más altas no solo de las halladas con ensayos de laboratorio, sino también las de todas las que fueron calculadas para este proyecto; por lo cual se determinan como no representativas estas capacidades de carga y no comparables con las de este proyecto al diferir en un alto porcentaje con los demás resultados.
- La ejecución de los sondeos manuales se realizó en forma consecutiva en una jornada de trabajo de 8:00 am a 12:00 pm, empezando por el sitio 1 y terminando en el sitio 3, de lo cual se pudo observar que el rendimiento físico de los operadores a medida que avanzaban los sondeos disminuía, lo cual se vio reflejado en los resultados de las capacidades admisibles halladas para cada uno de los sitios, en las cuales para el sitio 1 que se realizó el sondeo manual a las 8:00 am comenzando el día, da resultados muy parecidos al ensayo normatizado con una pequeña variación del 9,5% y para el sondeo 3 que se realizó de ultimo a las 12:00 pm. y da resultados bastante diferentes al ensayo normatizado con una variación del 30,9%; Razón por la cual se podrían están sobreestimando las capacidades de soporte de algunos suelos en los que solo se hallan ejecutado únicamente SPT manuales.
- Se recomienda una segunda parte de este proyecto, en la que se incluyan ensayos triaxiales y más ensayos de penetración estándar manuales y normatizados para llegar a inferir con una mayor exactitud los porcentajes de error que se pueden obtener con los diferentes métodos.

BIBLIOGRAFÍA

Álvaro J. Gonzales G., Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT, Introducción al Clima de Colombia, X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería SCI - SSCG, 1999.

ASTM International, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils – D1586 – 11, 201.

Edgar Giovanni Díaz S., Fernando Rodríguez Roa, Interpretación de Ensayos SPT y CPT en Arenas, VI Congreso Chileno de Geotecnia, Valparaíso, Noviembre de 2007.

Fernando Schnaid, Edgar Odebrecht, Marcelo Maia Rocha, and George de Paula Bernardes, Prediction of Soils from the Concepts of Energy Transfer in Dynamic Penetration Test, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE/ Agosto 2009.

Ingeominas, Subdirección de Amenazas Geoambientales, Zonificación de Sismogeotecnica Indicativa del Área Metropolitana de Bucaramanga, Bogotá, Junio de 2001.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Determinación de la Resistencia al Corte Método de Corte directo (CD) (Consolidado Drenado) – I.N.V.E.-154-07, 2007.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Ensayo de Penetración Normal (SPT) y Muestreo de Suelos con Tubo Partido – I.N.V.E.-111-07, 2007.

Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Parametros de Resistencia del Suelo Mediante Compresión triaxial – I.N.V.E.-153-07, 2007.

Jaime Suarez Díaz, Bibliografía de estudios de Suelos desarrollados en Bucaramanga, Bucaramanga 2013-2014.

Jeffrey A. Mc Gregor, PhD y J. Michael Duncan, PhD, Comportamiento y Uso del Ensayo de Penetración Estándar en la Práctica de la Ingeniería Geotécnica, Virginia Polytechnic Institute and State University, Octubre 1998.

Pietro de Marco Z., Corrección del Índice de Resistencia a la Penetración (SPT) Considerando la Eficiencia Energética del Equipo, Universidad Central de Venezuela, Caracas 2002.

R.E. López Menardi, Determinación in Situ de Propiedades Ingenieriles de los Suelos y su Relación con el Ensayo Normal de Penetración, Universidad Tecnológica Nacional, Septiembre de 2003.

Wilfredo del Toro, Modulo de Fundaciones Superficiales, Geotecnia II, Diapositivas de Clase de la Maestría en Geotecnia – Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2013.

ANEXO A. RESULTADOS DE LOS SONDEOS



Construsuelos de Colombia S.A.S.

REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO Y CIMENTACIONES PROYECTO SAN JUAN CALLE 20 # 31-46 BARRIO SAN ALONSO

CLIENTE: GONZALEZ BOHORQUEZ & CIA LTDA.

LOCALIZACION: BUCARAMANGA, SANTANDER

Coordenadas X Y

Tipo sondeo
PERCUSION Y ROTACION DOBLE BARRIL HQ

Inicio Ejecución
02-10-2013

Fin Ejecución
02-10-2013

SONDEO N°
2

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													
1.0		Suelo residual compuesto por arcilla inorgánica de baja a media plasticidad color marrón amarillento moderado, consistencia rígida, este material se presenta en grumos.	0.45	3-2-3 de 0.00 a 0.45 m.	Spt	1			11.64				
2.0			1.50	Barrena de 0.45 a 1.50 m.	Barrena	2			9.83				
3.0		Suelo residual compuesto por arcilla inorgánica de baja a media plasticidad color marrón amarillento moderado, consistencia dura, este material se presenta en grumos.	3.00	Barrena de 4.95 a 3.00 m.	Barrena	4			10.19				
4.0			3.45	20-26-30 de 3.00 a 3.45 m.	Spt	5	CL		11.07	27	16.88	10.12	57.68
5.0		Suelo residual compuesto por arena arcillosa de color marrón amarillento moderado, densidad relativa densa, presencia de fragmentos líticos tamaño guijas y guijarros provenientes de diferentes litologías.	4.50	Barrena de 3.45 a 4.50 m.	Barrena	6			18.4				
6.0			4.95	32-36-44R de 4.50 a 4.95 m.	Spt	7	SC		10.7	32	17.28	14.72	40.79
7.0			6.00	Barrena de 4.95 a 6.00 m.	Barrena	8	GC		20.85	35	19.62	15.38	43.14
8.0		Suelo residual compuesto por grava arcillosa de color marrón amarillento moderado.	6.00	44R	Spt								
9.0			7.50	Barrena de 6.00 a 7.50 m.	Barrena	9			12.5				
10.0		Suelo residual compuesto por arcilla inorgánica de baja a media plasticidad de color marrón amarillento moderado, este material se presenta en grumos.	7.50	40R	Spt								
11.0			9.00	Barrena de 7.50 a 9.00 m.	Barrena	10	CL		10.42	30	14.89	15.11	59.33
12.0			9.00	46R	Spt								
13.0		Suelo residual compuesto por arena arcillosa de color marrón amarillento pálido, presencia de fragmentos líticos tamaño guijas y guijarros provenientes de diferentes litologías.	10.50	Barrena de 9.00 a 10.50 m.	Barrena	11			18.67				
			10.50	42R	Spt								
			12.00	Barrena de 10.50 a 12.00 m.	Barrena	12	SC		10.13	36	18.29	17.71	43.83

Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta Cerrada
Sondeo: ROTACION DOBLE BARRIL HQ

NOMENCLATURA: TIPO-SPT: Patrónmetro Estándar (Cuchara Partida), Sh- Tubo Shelby, SUCS-Sistema Internacional Unificado de Clasificación de Suelos, Wn-Contenido de Humedad, NOMENCLATURA: LL-Límite Líquido, LP-Límite Plástico, IP-Índice Plástico, PASA 200-pasante del tamiz 200, IN-Número de golpes SPT (Usando Martillo Donut), NP- Material NO Plástico.



Construsuelos de Colombia S.A.S.

REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE CIMENTACIONES, PROYECTO SAN FERNANDO CALLE 21 # 29 – 49.

CLIENTE: INRALE

LOCALIZACION: BUCARAMANGA, SANTANDER

Coordenadas X Y

Tipo sondeo
PERCUSION Y ROTACION DOBLE BARRIL HQ

Inicio Ejecución
10-10-13

Fin Ejecución
22-10-13

SONDEO N°
1

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 Freático	Humedad (%)	L.L (%)	L.P (%)	Ip (%)	Pasa 200 (%)
0.0			0.45	1-2-2 de 0.00 a 0.45 m	Spt	1			13.13				
1.0			1.50	Barrena de 0.45 a 1.50 m	Barrena	2							
2.0			1.95	2-2-2 de 1.50 a 1.95 m	Spt	3	GC		15.23	26.00	12.09	13.91	13.06
3.0			3.00	Barrena de 1.95 a 3.00 m	Barrena	4	CL		18.97	21.00	9.63	11.37	60.47
4.0			3.45	3-4-10 de 3.00 a 3.45 m	Spt	5			17.41				
5.0			4.50	Barrena de 3.45 a 4.50 m 40R	Barrena Spt	6			26.77				
6.0			6.00	Barrena de 4.50 a 6.00 m 42R	Barrena Spt	7	SC		18.97	30.00	13.34	16.66	47.71
7.0			7.50	Barrena de 6.00 a 7.50 m 40R	Barrena Spt	8			27.01				
8.0			9.00	Barrena de 7.50 a 9.00 m 40R	Barrena Spt	9			20.40				
9.0			10.50	Barrena de 9.00 a 10.50 m	Barrena	10							
10.0			10.95	40-46-52R de 10.50 a 10.95	Spt	11	SM		14.85	-	-	-	39.75

Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta Cerrada
Sondeo: ROTACION DOBLE BARRIL HQ

NOMENCLATURA: TIPO-SPT: Penetrómetro Estandar (Cuchara Partida), Sh: Tubo Shelby, SUCS-Sistema Internacional Unificado de Clasificación de Suelos, Wn-Contenido de Humedad,
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.



Construsuelos de Colombia S.A.S.

REGISTRO DE PERFORACION Y RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

PROYECTO: ESTUDIO GEOTÉCNICO Y CIMENTACIONES EDIFICIO ZERATTO

CLIENTE: CORAL CONSTRUCTORES S.A

LOCALIZACION: BUCARAMANGA, SANTANDER

Coordenadas X Y

Tipo sondeo
PERCUSION Y ROTACION DOBLE BARRIL HQ

Inicio Ejecución
28-11-2013

Fin Ejecución
02-12-2013

SONDEO N°
2

OPERADOR
WILLIAM FERREIRA

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		Suelo residual compuesto principalmente por arcilla inorgánica de baja a media plasticidad color marrón moderado, presenta consistencia medianamente firme.	0.45	5-4-3 de 0.00 a 0.45 m	Spt	1	CL		11.34	23.00	11.58	11.42	51.15
1.0			1.50	Barrena de 0.45 a 1.50 m	Barrena	2	SC		-	24.00	12.77	11.23	46.37
2.0		Suelo residual compuesto principalmente por arena arcillosa color marrón moderado.	1.95	10-21-22 de 1.50 a 1.95 m	Spt	3	SM		8.85	-	-	-	24.99
			3.00	Barrena de 1.95 a 3.00 m	Barrena	4			16.36				
3.0		Suelo residual compuesto principalmente por arena limosa color marrón amarillento moderado, presenta compacidad relativa densa. Presencia de guijas muy angulares.	3.45	6-12-17 de 3.00 a 3.45 m	Spt	5	CL		17.22	35.00	16.67	18.33	61.67
4.0		Suelo residual compuesto principalmente por arcilla inorgánica de baja a media plasticidad color rojizo.	4.50	Barrena de 3.45 a 4.50 m	Barrena	6			20.93				
5.0			4.95	9-14-16 de 4.50 a 4.95 m	Spt	7			19.80				
6.0		Suelo residual compuesto principalmente por naranja amarillento oscuro, presencia de guijas de arenisca.	6.00	Barrena de 4.95 a 6.00 m	Barrena	8	SC		23.60	32.00	16.43	15.57	41.44
				R	Spt								
7.0			7.50	Barrena de 6.00 a 7.50 m	Barrena	9			16.93				
				R	Spt								
8.0		Suelo residual compuesto principalmente por naranja amarillento oscuro.	9.00	Barrena de 7.50 a 9.00 m	Barrena	10	SM		29.58	-	-	-	29.21
				R	Spt								
9.0													

Pruebas SPT: PA-Punta abierta, PC-Punta Cerrada
Sondeo: ROTACION DOBLE BARRIL HQ

NOMENCLATURA: TIPO-SPT: Penetrómetro Estandar (Cuchara Partida), Sh: Tubo Shelby, SUCS-Sistema Internacional Unificada de Clasificación de Suelos, Wn-Contenido de Humedad,
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.

ANEXO B.
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE
CLASIFICACIÓN



CONSTRUCCIÓN DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : CALLE 20 N 31-46

CLIENTE:

SITIO : BUCARAMANGA - SANTANDER

FECHA : ENERO DE 2014

MUESTRA : S1 MN 1-2-3-4 PROF. 0,00 - 2,85 M.

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

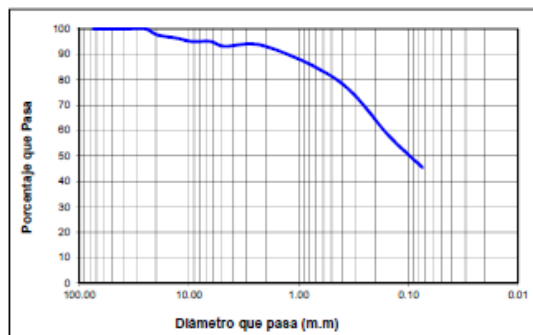
INV. E - 122

W Tara + S. Hum.	: 35.10	45.70	33.00	26.30
W tara + S. Seco	: 31.60	40.90	29.40	13.70
W tara	: 7.50	7.40	6.90	7.10
W Suelo Seco	: 24.10	33.50	22.50	6.60
W Agua	: 3.50	4.80	3.60	12.60
Humedad Natural %	: 14.52	14.33	16.00	190.91

ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123)

No.	Amiz	Peso Retenido	% retenido	% que pasa
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	11.60	2.35	97.65
1/2	12.50	7.10	1.44	96.21
3/8	9.50	5.80	1.17	95.04
1/4	6.35	0.00	0.00	95.04
4	4.75	9.40	1.90	93.13
10	2.00	0.00	0.00	93.13
40	0.43	68.60	13.90	79.24
100	0.149	106.30	21.53	57.71
200	0.074	60.80	12.32	45.39
PASA 200		224.4		
TOTAL		493.96		

W suelo inicial seco :	493.70	grs
W suelo despues de lavado:	269.80	grs
Porcentaje de error :	0.05	%



GRAVA: 6.87

ARENA: 47.74

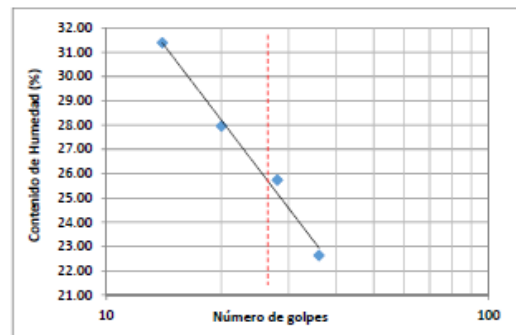
FINOS: 45.39

CLASIFICACION: ARENA ARCILLOSA

LIMITE DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

Tara No.	724	712	7	708
W Tara + S. Hum.	25.00	29.60	20.10	19.30
W tara + S. Seco	21.90	25.20	17.50	16.60
W tara	8.20	8.10	8.20	8.00
W Suelo Seco	13.70	17.10	9.30	8.60
W Agua	3.10	4.40	2.60	2.70
Humedad %	22.63	25.73	27.96	31.40
No. de Golpes	36	28	20	14

Tara No.	80	219	64
W tara + S. Hum.	21.60	24.90	28.00
W tara + S. Seco	19.80	22.40	25.30
W tara	8.30	6.90	8.20
W Suelo Seco	11.50	15.50	17.10
W Agua	1.80	2.50	2.70
Humedad %	15.65	16.13	15.79



LIMITE LIQUIDO: 26.00

LIMITE PLASTICO: 15.86

INDICE PLASTICO: 10.14

USC

SC

A.A.S.H.O

A-6



CONSTRU SUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : CALLE 21 N 29-55

CLIENTE:

SITIO : BUCARAMANGA - SANTANDER

FECHA : ENERO DE 2014

MUESTRA : S1 MN 1 PROF. 0,00 - 0,90 M.

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

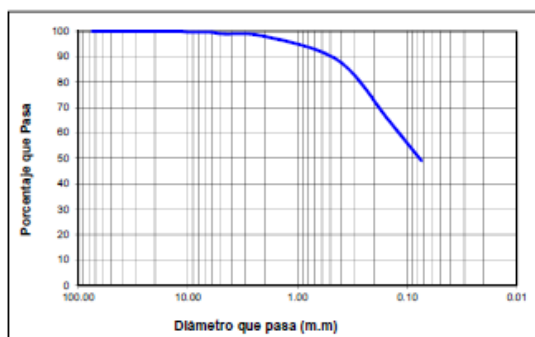
INV. E - 122

W Tara + S. Hum. : 40.30
W tara + S. Seco : 36.80
W tara : 6.60
W Suelo Seco : 30.20
W Agua : 3.50
Humedad Natural % : 11.59

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	1.80	0.35	99.65
1/4	6.35	0.00	0.00	99.65
4	4.75	3.70	0.73	98.92
10	2.00	4.70	0.93	97.99
40	0.43	48.40	9.53	88.46
100	0.149	118.00	23.24	65.22
200	0.074	82.30	16.21	49.01
PASA 200		249.0		
TOTAL		507.86		

W suelo inicial seco : 507.70 grs
W suelo despues de lavado: 259.20 grs
Porcentaje de error : 0.03 %



GRAVA: 1.08

ARENA: 49.91

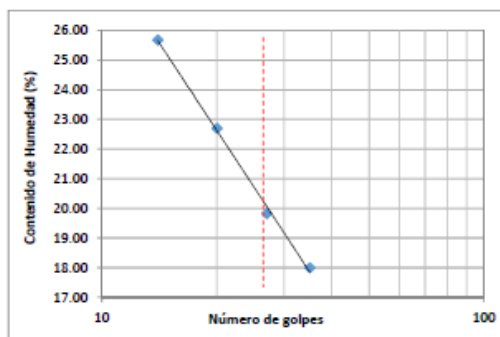
FINOS: 49.01

CLASIFICACION: ARENA ARCILLOSA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO		INV. E - 125			
Tara No.		34	751	717	91
W Tara + S. Hum.		20.00	21.70	22.60	26.90
W tara + S. Seco		18.20	19.50	19.90	23.10
W tara		8.20	8.40	8.00	8.30
W Suelo Seco		10.00	11.10	11.90	14.80
W Agua		1.80	2.20	2.70	3.80
Humedad %		18.00	19.82	22.69	25.68
No. de Golpes		35	27	20	14

LIMITE PLASTICO		INV. E - 126			
Tara No.		51	92	171	
W tara + S. Hum.		23.00	20.90	29.00	
W tara + S. Seco		21.20	19.30	28.40	
W tara		7.70	8.00	6.90	
W Suelo Seco		13.50	11.30	19.50	
W Agua		1.80	1.60	2.60	
Humedad %		13.33	14.16	13.33	13.61



LIMITE LIQUIDO: 20.00

LIMITE PLASTICO: 13.61

INDICE PLASTICO: 6.39

USC SC
A.A.S.H.O A-6



CONSTRUSUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : CALLE 14 N 25-40

CLIENTE:

SITIO : BUCARAMANGA - SANTANDER

FECHA : ENERO DE 2014

MUESTRA : S3 MN 1-2 PROF. 0,00 - 1,80 M.

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

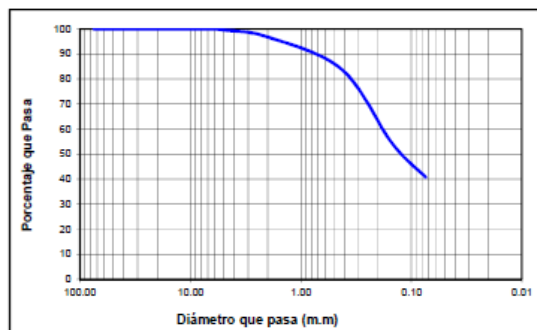
INV. E - 122

W Tara + S. Hum.	: 46.50	46.50
W tara + S. Seco	: 41.00	41.10
W tara	: 8.70	8.00
W Suelo Seco	: 32.30	33.10
W Agua	: 5.50	5.40
Humedad Natural %	: 17.03	16.31

ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACION) (INV. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75.00	0.00	0.00	100.00
21/2	62.50	0.00	0.00	100.00
2	50.00	0.00	0.00	100.00
11/2	37.50	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	100.00
3/4	19.50	0.00	0.00	100.00
1/2	12.50	0.00	0.00	100.00
3/8	9.50	0.00	0.00	100.00
1/4	6.35	0.00	0.00	100.00
4	4.76	2.20	0.51	99.49
10	2.00	11.80	2.72	96.78
40	0.43	56.40	12.98	83.80
100	0.149	128.50	29.57	54.22
200	0.074	58.60	13.49	40.74
PASA 200		177.2		
TOTAL		434.66		

W suelo inicial seco :	434.50	grs
W suelo despues de lavado:	257.80	grs
Porcentaje de error :	0.04	%



GRAVA: 0.51

ARENA: 58.76

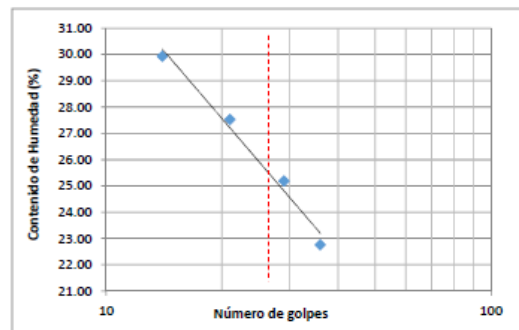
FINOS: 40.74

CLASIFICACION: ARENA ARCILLOSA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO		INV. E - 125			
Tara No.		163	72	36	9
W Tara + S. Hum.		24.90	25.00	22.40	26.10
W tara + S. Seco		21.60	21.60	19.40	22.00
W tara		7.10	8.10	8.50	8.30
W Suelo Seco		14.50	13.50	10.90	13.70
W Agua		3.30	3.40	3.00	4.10
Humedad %		22.76	25.19	27.52	29.93
No. de Golpes		36	29	21	14

LIMITE PLASTICO		INV. E - 126			
Tara No.		41	71	610	
W tara + S Hum.		21.60	20.20	22.80	
W tara + S. Seco		19.90	18.50	21.00	
W tara		7.60	7.20	8.50	
W Suelo Seco		12.30	11.30	12.50	
W Agua		1.70	1.70	1.80	
Humedad %		13.82	15.04	14.40	14.42



LIMITE LIQUIDO: 26.00

LIMITE PLASTICO: 14.42

INDICE PLASTICO: 11.58

USC SC
A.A.S.H.O A-6



CONSTRU SUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO Y CIMENTACIONES
PROYECTO SAN JUAN CALLE 20 # 31-46
BARRIO SAN ALONSO

CLIENTE: GONZALEZ BOHORQUEZ & CIA LTDA

SITIO : MUNICIPIO DE BUCARAMANGA, SANTANDER

FECHA: OCTUBRE DE 2013

MUESTRA : S2 MN 1-2-3-4-5 PROF. 0,00 - 3,45 M.

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

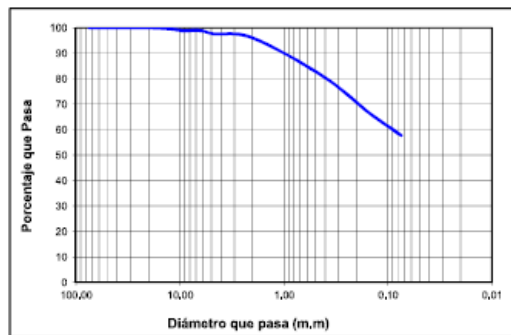
INV. E - 122

W Tara + S. Hum,	: 46,40	65,20	37,70	36,40	63,80
W tara + S. Seco	: 42,50	60,00	34,50	33,70	58,20
W tara	: 9,00	7,10	6,60	7,20	7,60
W Suelo Seco	: 33,50	52,90	27,90	26,50	50,60
W Agua	: 3,90	5,20	3,20	2,70	5,60
Humedad Natural %	: 11,64	9,83	11,47	10,19	11,07

ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123)

No.	Tamiz m.m	Peso Retenido	% retenido	% que pasa
3	75,00	0,00	0,00	100,00
21/2	62,50	0,00	0,00	100,00
2	50,00	0,00	0,00	100,00
11/2	37,50	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,50	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	1,80	0,37	99,63
3/8	9,50	3,30	0,68	98,95
1/4	6,35	0,00	0,00	98,95
4	4,76	6,10	1,25	97,70
10	2,00	8,10	1,66	96,04
40	0,43	72,80	14,92	81,12
100	0,149	71,90	14,74	66,39
200	0,074	42,50	8,71	57,68
PASA 200		281,8		
TOTAL		488,26		

W suelo inicial seco : 487,90 grs
W suelo despues de lavado: 206,60 grs
Porcentaje de error : 0,07 %



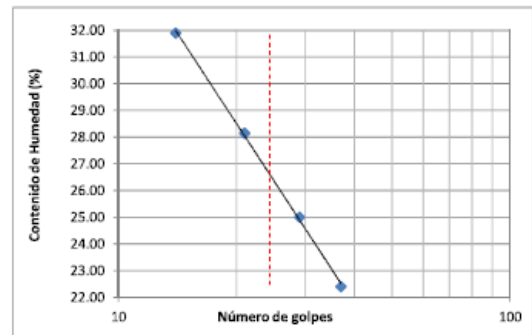
GRAVA: 2,30
ARENA: 40,03
FINOS: 57,68

CLASIFICACION: ARCILLA INORGANICA DE BAJA A
MEDIA PLASTICIDAD

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO		INV. E - 125			
Tara No.		206	68	321	214
W Tara + S. Hum,		29,10	18,10	21,60	22,00
W tara + S. Seco		25,00	16,00	18,70	18,30
W tara		6,70	7,60	8,40	6,70
W Suelo Seco		18,30	8,40	10,30	11,60
W Agua		4,10	2,10	2,90	3,70
Humedad %		22,40	25,00	28,16	31,90
No. de Golpes		37	29	21	14

LIMITE PLASTICO		INV. E - 126			
Tara No.		44	5	22	
W tara + S. Hum.		23,20	24,90	21,80	
W tara + S. Seco		20,80	22,40	19,70	
W tara		7,20	7,10	7,10	
W Suelo Seco		13,60	15,30	12,60	
W Agua		2,40	2,50	2,10	
Humedad %		17,65	16,34	16,67	16,88



LIMITE LIQUIDO: 27,00
LIMITE PLASTICO: 16,88
INDICE PLASTICO: 10,12
USC CL
A.A.S.H.O A-6



CONSTRU SUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE CIMENTACIONES,
PROYECTO SAN FERNANDO CALLE 21 # 29 – 49,

CLIENTE: INRALE

SITIO : BUCARAMANGA, SANTANDER

FECHA : OCTUBRE DE 2013

MUESTRA : SONDEO 1 MN 1 - 3 PROF. 0,00 - 1,95 [m]

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

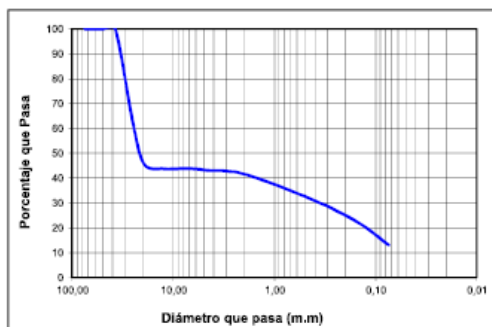
INV. E - 122

W Tara + S. Hum.	: 39,90	35,20
W tara + S. Seco	: 36,00	31,50
W tara	: 6,30	7,20
W Suelo Seco	: 29,70	24,30
W Agua	: 3,90	3,70
Humedad Natural %	: 13,13	15,23

ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75,00	0,00	0,00	100,00
21/2	62,50	0,00	0,00	100,00
2	50,00	0,00	0,00	100,00
11/2	37,50	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	65,30	38,23	61,77
3/4	19,50	27,40	16,04	45,73
1/2	12,50	3,20	1,87	43,85
3/8	9,50	0,00	0,00	43,85
1/4	6,35	0,00	0,00	43,85
4	4,76	1,00	0,59	43,27
10	2,00	2,70	1,58	41,69
40	0,43	17,50	10,25	31,44
100	0,149	15,80	9,25	22,19
200	0,074	15,60	9,13	13,06
PASA 200		22,5		
TOTAL		170,96		

W suelo inicial seco :	170,80	grs
W suelo despues de lavado:	148,80	grs
Porcentaje de error :	0,09	%



GRAVA: 56,73

ARENA: 30,21

FINOS: 13,06

CLASIFICACION: GRAVA ARCILLOSA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO

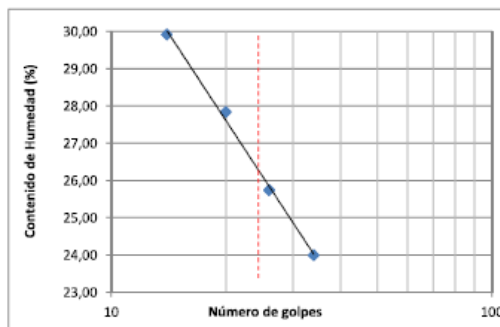
INV. E - 125

Tara No.	82	71	7	69
W Tara + S. Hum.	20,60	20,80	20,60	23,30
W tara + S. Seco	18,20	18,20	17,90	19,80
W tara	8,20	8,10	8,20	8,10
W Suelo Seco	10,00	10,10	9,70	11,70
W Agua	2,40	2,60	2,70	3,50
Humedad %	24,00	25,74	27,84	29,91
No. de Golpes	34	26	20	14

LIMITE PLASTICO

INV. E - 126

Tara No.	45	68		
W tara + S Hum.	20,10	20,30		
W tara + S. Seco	18,80	19,00		
W tara	8,10	8,20		
W Suelo Seco	10,70	10,80		
W Agua	1,30	1,30		
Humedad %	12,15	12,04		12,09



LIMITE LIQUIDO: 26,00

LIMITE PLASTICO: 12,09

INDICE PLASTICO: 13,91

USC GC
A.A.S.H.O A-2-6



CONSTRU SUELOS DE COLOMBIA S.A.S.
NIT. 804,015,242 - 8

LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO : PARQUEADERO LA 14

CLIENTE:

SITIO :

FECHA : DICIEMBRE DE 2013

MUESTRA : S1 MN 1-2 PROF. 0,00-1,35 M

LABORATORISTA: VICTOR A. CABRERA

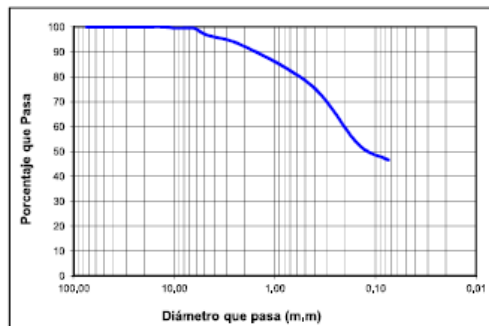
INV. E - 122

W Tara + S. Hum.	: 58,00	40,00
W tara + S. Seco	: 52,40	34,50
W tara	: 8,20	8,50
W Suelo Seco	: 44,20	26,00
W Agua	: 5,60	5,50
Humedad Natural %	: 12,67	21,15

ENSAYO DE GRANULOMETRIA (GRADACIÓN) (I.N.V. E-123)

Tamiz		Peso Retenido	% retenido	% que pasa
No.	m.m			
3	75,00	0,00	0,00	100,00
21/2	62,50	0,00	0,00	100,00
2	50,00	0,00	0,00	100,00
11/2	37,50	0,00	0,00	100,00
1*	25,00	0,00	0,00	100,00
3/4	19,50	0,00	0,00	100,00
1/2	12,50	0,00	0,00	100,00
3/8	9,50	3,20	0,55	99,45
1/4	6,35	0,00	0,00	99,45
4	4,76	15,20	2,63	96,81
10	2,00	26,70	4,62	92,19
40	0,43	92,20	15,97	76,22
100	0,149	134,20	23,24	52,98
200	0,074	37,50	6,49	46,48
PASA 200		268,4		
TOTAL		577,36		

W suelo inicial seco :	577,40	grs
W suelo despues de lavado:	309,50	grs
Porcentaje de error :	0,01	%



GRAVA:	3,19
ARENA:	50,33
FINOS:	46,48
CLASIFICACION:	ARENA ARCILLOSA

LIMITES DE CONSISTENCIA (ATTEMBERG)

LIMITE LIQUIDO

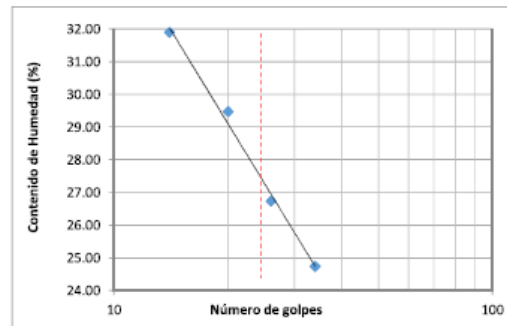
INV. E - 125

Tara No.	96	88	321	735
W Tara + S. Hum.	20,20	21,00	20,40	23,70
W tara + S. Seco	17,80	18,30	17,60	20,00
W tara	8,10	8,20	8,10	8,40
W Suelo Seco	9,70	10,10	9,50	11,60
W Agua	2,40	2,70	2,80	3,70
Humedad %	24,74	26,73	29,47	31,90
No. de Golpes	34	26	20	14

LIMITE PLASTICO

INV. E - 126

Tara No.	78	213		
W tara + S Hum.	18,70	20,40		
W tara + S. Seco	17,50	19,00		
W tara	7,90	8,10		
W Suelo Seco	9,60	10,90		
W Agua	1,20	1,40		
Humedad %	12,50	12,84		12,67



LIMITE LIQUIDO:	28,00
LIMITE PLASTICO:	12,67
INDICE PLASTICO:	15,33
USC	SC
A.A.S.H.O	A-6

ANEXO C.
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE
CORTE DIRECTO REINTERPRETADOS

**DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO**

Normas INV-E 154 - ASTM D3080

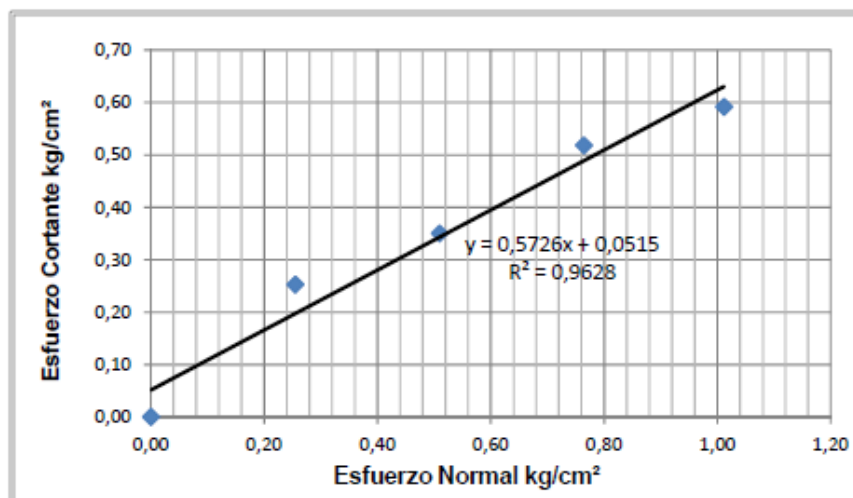
SITIO	1	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0.45 A 1.50	MT
-------	---	---------	---	-------------	-------------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5,0 cm	Area:	19,63 cm ²
Altura:	2,3 cm	Volumen:	45,16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA LIMOSA FINA A MEDIA

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	0,00	0,000	0,0000	0,2644
1	19,63	0,255	0,2521	0,2510
2	19,63	0,509	0,3498	0,3925
3	19,63	0,764	0,5185	0,5308
4	19,63	1,012	0,5915	1,1594



RESULTADOS	PICO	Densidad kg/cm ³		
Fricción Ø	30	PUNTO N° 1	1,73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1,73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0,05	PUNTO N° 3	1,72	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1,73	grs/cm ³

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

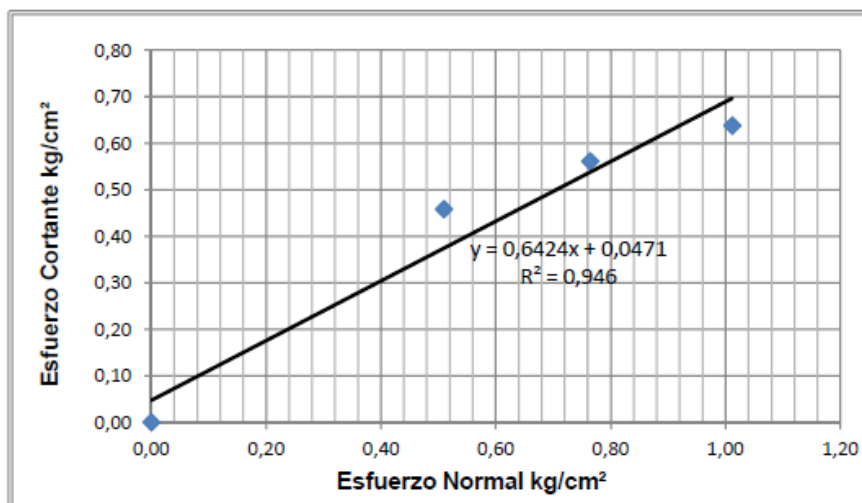
SITIO	2	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0.45 A 1.50	MT
-------	---	---------	---	-------------	-------------	----

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5,0 cm	Area:	19,63 cm ²
Altura:	2,3 cm	Volumen:	45,16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA LIMOSA FINA A MEDIA

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²
1	0,00	0,000	0,0000	0,2644
1	19,63			
2	19,63	0,509	0,4578	0,3925
3	19,63	0,764	0,5607	0,5308
4	19,63	1,012	0,6378	1,1594



RESULTADOS	PICO	Densidad kg/cm ³		
Fricción Ø	33	PUNTO N° 1	1,73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1,73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0,05	PUNTO N° 3	1,72	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1,73	grs/cm ³

DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE
ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO DRENADO
 Normas INV-E 154 - ASTM D3080

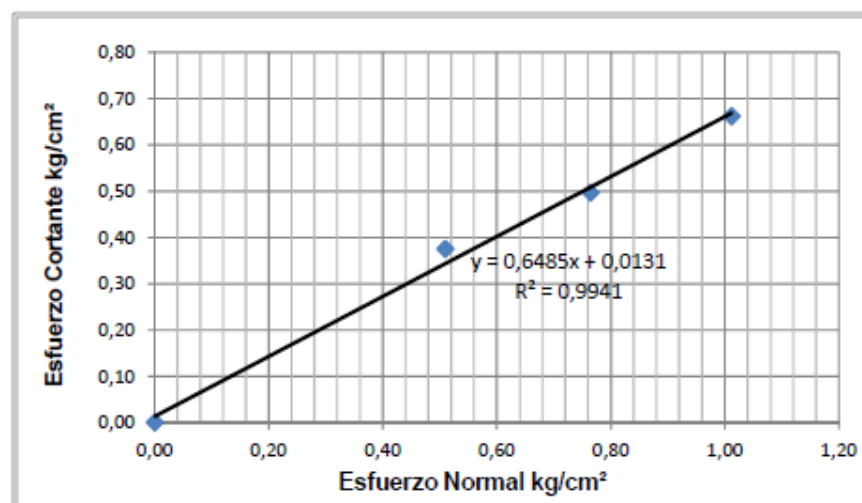
SITIO	3	MUESTRA	1	PROFUNDIDAD	0.45 A 1.50	MT
--------------	----------	----------------	----------	--------------------	--------------------	-----------

DIMENSIONES DE LA MUESTRA			
Diámetro:	5,0 cm	Area:	19,63 cm ²
Altura:	2,3 cm	Volumen:	45,16 cm ³

Clasificación del suelo :
ARENA LIMOSA FINA A MEDIA

GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE
--

Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	
1	0,00	0,000	0,0000	
1	19,63			
2	19,63	0,509	0,3755	
3	19,63	0,764	0,4969	
4	19,63	1,012	0,6620	



RESULTADOS	PICO	Densidad kg/cm ³		
Fricción Ø	33	PUNTO N° 1	1,73	grs/cm ³
		PUNTO N° 2	1,73	grs/cm ³
Cohesión kg/cm ²	0,01	PUNTO N° 3	1,72	grs/cm ³
		PUNTO N° 4	1,73	grs/cm ³

ANEXO D. ENSAYOS TRIAXIAL

