

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN ESTUDIOS
GEOTÉCNICOS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA

MARÍA ALEJANDRA JIMÉNEZ CÁRDENAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
FLORIDABLANCA
2015

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN ESTUDIOS
GEOTÉCNICOS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA

MARÍA ALEJANDRA JIMÉNEZ CÁRDENAS

Práctica Empresarial como requisito
para optar al título de Ingeniera Civil

Director:
JUAN CARLOS FORERO SARMIENTO
MSc. Ingeniero Civil

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
FLORIDABLANCA
2015

Nota de aceptación

MSc. Ing. Hernán David Flórez Olivares
Tutor Empresarial

MSc. Ing. Juan Carlos Forero Sarmiento
Tutor Académico

Evaluador

Evaluador

Floridablanca, diciembre de 2015

Este trabajo se lo dedico a Dios y a mi familia. Ellos han sido los pilares que me han llevado a la meta académica a la que me aproximo.

Mi padre que me ha transmitido su amor por la ingeniería, ejerciendo con pasión su profesión.

A mi madre por ser mi norte y la persona que ha impulsado en este proyecto.

A mi hermana por ser una mujer excepcional.

Al amor.

M.A.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco al Ing. Hernán David Flórez Olivares por brindarme la oportunidad de ser parte de su empresa SPC S.A.S. para culminar este peldaño académico y por transmitirme el amor por la academia.

Al Ing. Juan Carlos Forero por toda la paciencia y el apoyo total que me ofreció durante el transcurso de mi carrera, especialmente en el desarrollo de mi práctica empresarial.

A la PhD. María Fernanda Serrano porque gracias a ella nació el interés en la investigación y por permitirme ser parte de su semillero SIIC durante su cargo como directora de investigaciones de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Agradezco también al Ing. William Ibañez ya que sus clases me despertaron el interés en el área del recurso hídrico y el saneamiento básico.

A los ingenieros Henry A. Mercado y Néstor D. Ochoa que me apoyaron durante el desarrollo de mi práctica empresarial.

A mis grandes compañeros de la Universidad a quienes les tengo un gran afecto.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL | 16 |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 16 |
| 3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA | 17 |
| 3.1. MISIÓN..... | 18 |
| 3.2. VISIÓN..... | 18 |
| 3.3. POLÍTICA DE CALIDAD | 19 |
| 3.4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONES SPC S.A.S. | 19 |
| 4. MARCO TEÓRICO..... | 21 |
| 4.1. MÉTODOS GEOFÍSICOS..... | 21 |
| 4.2. MÉTODO SÍSMICO | 21 |
| 4.3. PARÁMETROS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE LOS SUELOS | 25 |
| 5. ACTIVIDADES EJECUTADAS DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL | 28 |
| 5.1. Prácticas de ensayos de laboratorio | 28 |
| 5.1.1. Granulometría (Norma INV E-123-13) | 28 |
| 5.1.2. Límite plástico (Norma INV E-126-13) | 34 |
| 5.1.3. Límite líquido..... | 36 |

| | | |
|--------|--|----|
| 5.1.4. | Ensayo de falla de cilindros de concreto a compresión (Norma INV E-410-13)38 | |
| 5.2. | Cálculos de laboratorio | 42 |
| 5.3. | Software Strater 4 – Golden Software | 43 |
| 5.4. | SPT (Norma INV E-111-13) | 44 |
| 5.4.1. | SPT Coliseo Luis F. Castellanos | 46 |
| 5.4.2. | SPT Barrio Pueblo Nuevo | 51 |
| 5.4.3. | SPT Cancha Altos del Campestre | 56 |
| 5.4.4. | SPT Palacio Municipal, Galán – Santander | 58 |
| 5.4.5. | SPT Barrio Buenos Aires..... | 60 |
| 5.5. | Visitas técnicas del Contrato de Consultoría No. 2176-14..... | 61 |
| 5.5.1. | Visita técnica Talud Los Lagos | 62 |
| 5.5.2. | Visita técnica Talud Altos del Campestre | 65 |
| 5.5.3. | Visita técnica Talud Primero de Mayo | 66 |
| 5.5.4. | Visita técnica Talud Buena Vista - Sitio II | 69 |
| 5.6. | Fotos aéreas capturadas en el Lote La Vega y La Morena | 70 |
| 6. | APORTES DEL PRACTICANTE..... | 74 |
| 6.1. | Ensayo de refracción sísmica (Norma ASTM D5777-00) | 74 |
| 6.1.1. | Visita para reconocimiento de sitios de refracción sísmica | 74 |
| 6.1.2. | Ensayo de refracción sísmica Coliseo Luis F. Castellanos | 75 |
| 6.1.3. | Ensayo de refracción sísmica Altos del Campestre | 85 |
| 6.1.4. | Software EASY REFRACT | 90 |
| 7. | RECOMENDACIONES..... | 96 |
| 8. | CONCLUSIONES..... | 97 |
| 9. | REFERENCIAS | 98 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Logo de SPC S.A.S. | 18 |
| Figura 2. Esquema organizacional de SPC S.A.S. | 20 |
| Figura 3. Ensayo Sísmica de Refracción | 22 |
| Figura 4. Curva Dromocrónica | 24 |
| Figura 5. Tamices armados para hacer granulometría..... | 30 |
| Figura 6. Formato de SPC SAS para los datos de granulometría | 33 |
| Figura 7. Límite plástico..... | 35 |
| Figura 8. Límite líquido | 37 |
| Figura 9. Ensayo de compresión de cilindros de concretos | 39 |
| Figura 10. Prensa hidráulica para ensayos a compresión de cilindros de concreto | 39 |
| Figura 11. Esquemas de patrones de falla típicos | 40 |
| Figura 12. Formato de ensayos de compresión | 41 |
| Figura 13. Perfiles estratigráficos creados con Strater 4 | 43 |
| Figura 14. Ensayo de penetración estándar en el lote ubicado detrás del Coliseo Luis F. Castellanos | 48 |
| Figura 15. Excavación inicial para remover el relleno antropogénico | 49 |
| Figura 16. Tomamuestras abierto luego de hacer SPT SONDEO 2..... | 50 |
| Figura 17. Toma del nivel freático (Izquierda). Toma muestras SONDEO 1 (Derecha) | 51 |
| Figura 18. Ubicación de la casa en el barrio Pueblo Nuevo | 53 |
| Figura 19. Sondeo 2 – Antejardín de la casa – Barrio Pueblo Nuevo..... | 54 |
| Figura 20. Sondeo 1 – Muestra 4..... | 54 |
| Figura 21. Sondeo 2 – Muestra 5..... | 55 |
| Figura 22. Localización de Sondeos en Altos del Campestre | 57 |
| Figura 23. Trabajo en campo de las perforaciones en Altos del Campestre | 57 |
| Figura 24. Palacio Municipal del municipio de Galán, Santander..... | 59 |
| Figura 25. Muestra tomada SPT Galán, Santander | 59 |
| Figura 26. SPT Barrio Buenos Aires | 61 |
| Figura 27. Visita al talud del barrio Los Lagos | 63 |
| Figura 28. Visita técnica al barrio Los Lagos..... | 64 |
| Figura 29. Cancha de fútbol del barrio Planada del Cerro..... | 64 |
| Figura 30. Barrio Altos del Campestre | 65 |
| Figura 31. Taludes socavados por un colector de aguas lluvias | 66 |
| Figura 32. Escaleras a reemplazar en el Primero de Mayo..... | 67 |
| Figura 33. Talud a estabilizar en el barrio Primero de Mayo | 67 |
| Figura 34. Invasión de espacio público de la casa | 68 |
| Figura 35. Muro existente en el barrio Buena Vista | 69 |
| Figura 36. Vista del muro del barrio Buena Vista | 70 |
| Figura 37. Vista aérea del lote de La Vega y La Morena | 71 |
| Figura 38. Lote de La Vega y La Morena en donde se tiene planeado un proyecto de vivienda | 72 |

| | |
|--|----|
| Figura 39. Lote La Vega y La Morena..... | 73 |
| Figura 40. Mapa geológico de Barrancabermeja – Zoom Norte..... | 74 |
| Figura 41. Mapa geológico de Barrancabermeja – Zoom Sur-Oriente..... | 75 |
| Figura 42. Ubicación del sitio en donde se ubicó la línea de refracción sísmica ... | 76 |
| Figura 43. Ubicación de la línea de refracción sísmica | 76 |
| Figura 44. Ubicación de la línea de refracción sísmica detrás del Coliseo Luis F. Castellanos..... | 77 |
| Figura 45. Tendido de línea de refracción sísmica: ajuste de medidas | 79 |
| Figura 46. Conexión entre los geófonos (Color rojo) y la línea principal | 80 |
| Figura 47. Línea de refracción sísmica lista para el SHOT | 80 |
| Figura 48. Software de control del equipo de refracción sísmica | 81 |
| Figura 49. Conexión del software al equipo de refracción sísmica..... | 82 |
| Figura 50. Línea principal con sus respectivos geófonos..... | 82 |
| Figura 51. Pantalla principal del software Seismidaq del equipo de refracción sísmica | 83 |
| Figura 52. Lectura de las ondas en campo | 84 |
| Figura 53. Tendido del cableado a lo largo de la línea..... | 85 |
| Figura 54. Geófono con su respectiva conexión a la línea (amarillo) | 86 |
| Figura 55. El SHOOT se realiza a partir de un estruendo | 87 |
| Figura 56. Las señales de las ondas llegan al equipo a través del cableado | 87 |
| Figura 57. El ayudante genera un golpe para la generación de las ondas | 88 |
| Figura 58. Visualización del software SEEISE | 89 |
| Figura 59. Página inicial de EASYREFRACT | 92 |
| Figura 60. Segunda pestaña de EASYREFRACT..... | 93 |
| Figura 61. Creación de dromocronas a partir de las trazas..... | 94 |
| Figura 62. Pantalla final de EASYREFRACT | 95 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Relación del material con las velocidades..... | 25 |
| Tabla 2. Orden de los tamices | 29 |
| Tabla 3. Orden alternativo de tamices | 29 |
| Tabla 4. SPT Luis F. Castellanos..... | 46 |
| Tabla 5. SPT Barrio Pueblo Nuevo | 51 |
| Tabla 6. SPT Cancha Altos del Campestre..... | 56 |
| Tabla 7. SPT Palacio Municipal - Galán, Santander | 58 |
| Tabla 8. SPT Barrio Buenos Aires | 60 |

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A. DATOS DE LABORATORIO ANALIZADOS

ANEXO B. PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN STRATER

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN ESTUDIOS GEOTÉCNICOS DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA

AUTOR(ES): María Alejandra Jiménez Cárdenas

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): MSc. Juan Carlos Forero Sarmiento

RESUMEN

El trabajo de grado que se muestra a continuación es la compilación de todas las actividades que se llevaron a cabo durante el periodo de práctica empresarial desarrollada en la empresa Suelos, Pavimentos y Concretos S.A.S. ubicada en el municipio de Barrancabermeja, Santander. La empresa se ha fortalecido con la implementación de tecnología que permita aumentar la calidad de los estudios y diseños que realiza. Se detallan particularmente los ensayos de refracción sísmica para complementar los proyectos de consultoría que se desarrollan a diario en la empresa. Para lograr analizar los resultados que arroja la refracción sísmica en los suelos estudiados, se ejecutaron otros ensayos básicos que inician con perforaciones estándar, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica, entre otros. Para el análisis de las ondas obtenidas a través del ensayo de refracción sísmica se implementó el software licenciado Easy Refract de los desarrolladores italianos GeoStru. El software utiliza un método de intercepto de los tiempos para la elaboración de un solo impacto, el método recíproco para estudios con dos impactos y el método recíproco generalizado cuando se trata de identificar configuraciones morfológicas complejas. El último método se basa en la búsqueda, en el gráfico tiempo-distancia, de la distancia XY óptima entre geófonos tal que los rayos sísmicos provenientes de puntos de energía opuestos.

PALABRAS CLAVES:

Refracción sísmica, suelos, concretos, Easy Refract, ensayos, perforación

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: APPLICATION OF SEISMIC REFRACTION METHOD TO GEOTECHNICAL STUDIES IN BARRANCABERMEJA

AUTHOR(S): María Alejandra Jiménez Cárdenas

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: MSc. Juan Carlos Forero Sarmiento

ABSTRACT

The degree work shown below is the compilation of all the activities carried out during the business practice developed in the company Suelos, Pavimentos y Concretos SAS located in Barrancabermeja, Santander. The company has strengthened with the implementation of technology to increase the quality of the studies and designs carried out. Seismic refraction tests are particularly detailing to complement the consulting projects that take place daily in the company. To achieve analyze the results shown by seismic refraction in the soils studied, other basic tests that start with standard penetration test, granulometry, Atterberg limits, specific gravity, and others were executed. For the analysis of the waves obtained through seismic refraction test Easy Refract licensed software Italian developers GeoStru was implemented. The software uses a method of intercept time for the development of a single impact, the reciprocal method for studies with two shoots and generalized reciprocal method when it comes to identifying complex morphological configurations. The last method is based on the search, in the time-distance graph, the optimum distance between geophones XY such that seismic rays from opposing energy.

KEYWORDS:

Seismic refraction, soil, concrete, Easy Refract, testing, penetration

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

1. INTRODUCCIÓN

Los métodos geofísicos se han posicionado a través de los años dentro de los ensayos que realiza la ingeniería civil en los últimos tiempos. Los ingenieros civiles deben buscar la forma más práctica para el estudio de las características mecánicas del suelo sobre el cual se desea ejecutar algún proyecto. Es de reconocer que el estudio de suelos se hace sobre una suposición sobre la cual debemos buscar un resultado confiable ya sea una capacidad portante que está ligada a la humedad del suelo, la resistencia, capacidad de deformación y correcta funcionalidad de la estructura. En ese punto es donde se necesita una acertada interpretación de la información obtenida en campo.

Los métodos tradicionales del estudio de suelos muestran lo que hay en el sitio en donde se realice el sondeo. Sin embargo, la falta de control en el proceso de ejecución de los ensayos en campo puede producir alteración sobre las muestras recuperadas. Los equipos de perforación se deben encontrar en condiciones óptimas para realizar los sondeos, ya que de encontrarse en mal estado pueden provocar vibraciones y alteraciones en los resultados. A pesar de que los costos van directamente relacionados con el proyecto que se desea realizar, las exploraciones de suelo tradicionales tienen notable participación en los presupuestos.

Lo importante es que los resultados sean confiables y tengan la mayor calidad posible mediante los métodos de exploración tradicionales y sería de gran ayuda complementar lo tradicional con lo no tradicional, sin desbordar en costos. Los ingenieros civiles tienen actualmente al alcance los métodos geofísicos que aprovechan la propagación de ondas de esfuerzo. La refracción sísmica es un método que emplea ondas refractadas en contactos con cambio de rigidez. Estas ondas son de baja amplitud y ayudan al estudio de la estratigrafía, módulos de elasticidad y de cortante, entre otros.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Identificación de parámetros dinámicos del suelo, en el casco urbano de Barrancabermeja, comunas 1 y 2 mediante el ensayo de refracción sísmica.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar si es adecuado o no el uso del ensayo de refracción sísmica en los suelos del área de interés.
- Analizar los sismogramas y dromocronas, producto del ensayo de refracción sísmica.
- Analizar los resultados de las líneas de refracción sísmica obtenidos en campo, junto con sus respectivos sondeos a realizar en cada punto de toma de datos.
- Identificar las características dinámicas del suelo como velocidad de la onda de corte y módulo dinámico de corte de las capas superficiales del subsuelo.
- Obtener parámetros geomecánicos de los suelos tales como el módulo de Young y Poisson a partir de los ensayos de refracción.
- Verificar los resultados obtenidos mediante la comprobación con perforaciones típicas.

3. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Suelos, Pavimentos y Concretos SPC S.A.S., es una empresa santanderana que trabaja con calidad y en aras de prestar el mejor servicio a sus clientes. Se encuentra ubicada en el municipio de Barrancabermeja y se encarga de asegurar el logro de excelentes niveles de productividad mediante el control de calidad en la ejecución de proyectos de construcción. SPS S.A.S. cuenta con instalaciones y personal necesario para llevar a cabo las metas propuestas.

SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETOS SPC S.A.S. es una empresa dedicada a realizar estudios de suelos, consultorías, auditorías y control de calidad de los insumos empleados para la construcción de cualquier tipo de obra civil, proporcionando seguridad de que los proyectos se están llevando a cabo con los más altos estándares de calidad en sus materiales y en algunos casos métodos constructivos. Cuenta con profesionales competentes para el desempeño de las funciones que le competen al departamento que pertenezca.

SPC S.A.S. es uno de los laboratorios más reconocidos de la región y cuenta con más de quince años de experiencia en las labores de control de calidad, en los cuales su política de ejecución de trabajos es estrictamente ceñida a las normas técnicas que sean requeridas en las actividades.

Con el fin de fortalecerse y consolidarse más en la región, la empresa hace permanentemente una inversión en equipos, calibraciones, maquinarias, capacitaciones para el personal profesional y técnico, entre otros para la ejecución apropiada de las labores y así garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos.



Figura 1. Logo de SPC S.A.S.

3.1. MISIÓN

SPC S.A.S. es una empresa con sentido social, contribuye a la productividad de sus clientes y al desarrollo de personas, ofreciendo productos competitivos y rentables para garantizar un desarrollo sostenible a través de servicios eficientes, técnicamente especializados y elevada calidad, para el sector público y privado en áreas de: INTERVENTORÍA, CONSULTORÍA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DE OBRAS CIVILES, ESTUDIO DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETOS Y ASFALTOS. Todos estos servicios respaldados a través del uso de personal competente y calificado, manteniendo la integridad de las personas y el buen estado de la infraestructura de la empresa, garantizando el desarrollo del país.

3.2. VISIÓN

A través del mejoramiento continuo, especialmente de su grupo humano e infraestructura, SPC S.A.S. elevará permanentemente la calidad de su gestión para consolidarse para el año 2018 dentro del grupo de las cinco mejores empresas de interventoría, consultoría y de construcción del departamento de Santander, y para el 2020 ser reconocida a nivel nacional por la calidad de sus servicios y prevención

de accidentes de trabajo, enfermedades profesionales y prevención de la contaminación.

3.3. POLÍTICA DE CALIDAD

Dada su función como auditores de calidad, interventores, constructores y determinadores de propiedades de suelos, SPC S.A.S. cuenta con el equipo idóneo para llevar a cabo con la labor que sea contratada, y de igual manera cuenta con personal técnico y profesional capacitado e idóneo para la ejecución de las actividades que se le requiera. Adicionalmente las labores las ejecutan con sentido de pertenencia y bajo el estricto seguimiento de las normas técnicas o documentos que relacionen el proceder para la ejecución de los trabajos.

3.4. ESTRUCTURA ORGANIZACIONES SPC S.A.S.

SPC S.A.S. es una empresa en crecimiento, y ha establecido unos rangos y lineamientos para optimizar la transición de información dependiendo del área que la requiera. Su organización se encuentra en la figura 2.

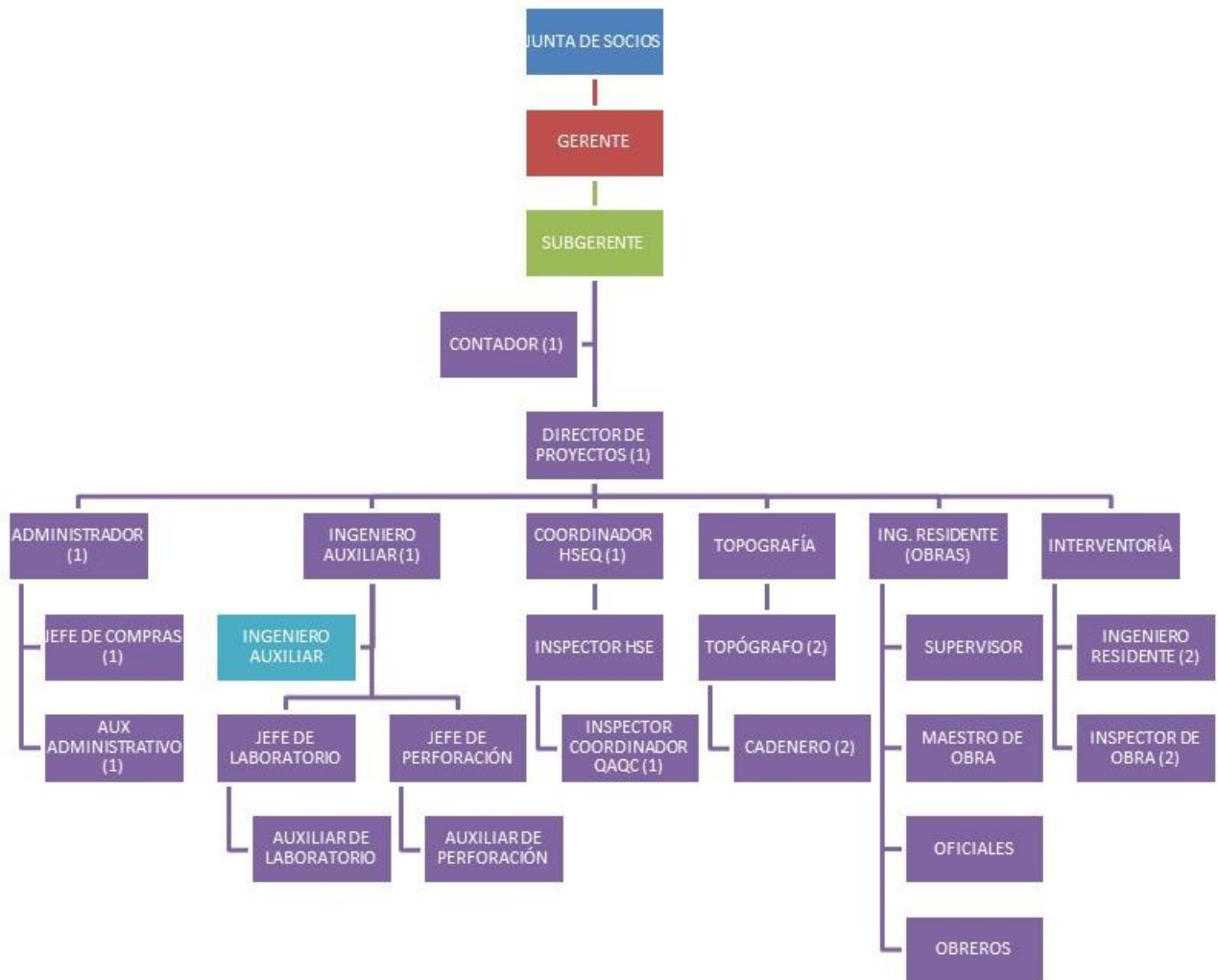


Figura 2. Esquema organizacional de SPC S.A.S.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. MÉTODOS GEOFÍSICOS

Los métodos geofísicos de exploración de suelos, son desarrollados principalmente con el propósito de determinar las variaciones en las características físicas de los diferentes estratos del subsuelo o los contornos de la roca basal que subyace a depósitos sedimentarios. Los métodos se han aplicado sobre todo en los sectores de la Geología y la Minería y en poca escala a la Mecánica de Suelos.

4.2. MÉTODO SÍSMICO

El método de refracción sísmica mide el tiempo de propagación de las ondas elásticas, transcurrido entre un sitio donde se generan ondas sísmicas y la llegada de éstas a diferentes puntos de observación. Para esto se disponen de sensores de línea recta a distancias conocidas, formando lo que se conoce como tendido sísmico o línea de refracción.

A una distancia conocida como el extremo de la línea, se indica el punto de disparo. Se generan ondas sísmicas con la ayuda de un martillo o por la detonación de explosivos induciendo vibraciones en el terreno que son detectadas por cada sensor dispuesto en la línea, conocido también como geófono.

El equipo consiste en un medidor de los tiempos de refracción de las ondas sísmicas del suelos en donde se almacenan los movimientos del terreno detectados por cada geófono, los cables de conexión entre los geófonos y la unidad principal y el cable trigger que se encarga de marcar el momento de inicio de registro en el medidor.

La aplicación más común en la ingeniería civil de la refracción sísmica es para determinar condiciones de los sitios en dónde se asentarán las estructuras o en donde se desean realizar túneles. En el contexto urbano resulta útil para la determinación de la profundidad a basamento y el perfil de las velocidades de onda P y S para la extrapolación lateral de perforaciones puntuales en suelos.

Si se suponen dos capas diferentes superpuestas A y B, cada capa tiene una velocidad correspondiente V_1 y V_2 . La onda podrá alcanzar el geófono si: a) Toma un camino lento, pero más corto por el terreno A1 o b) Toma un camino rápido, pero más largo por el terreno A2. (Veáse Figura 1)

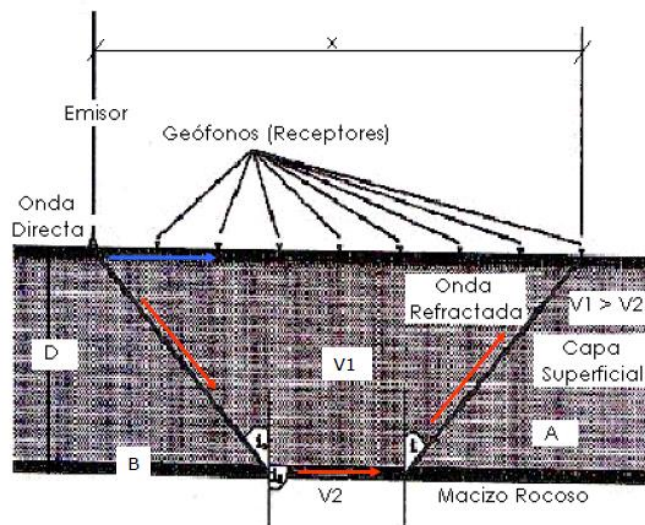


Figura 3. Ensayo Sísmica de Refracción

Los resultados obtenidos son las velocidades de propagación de las ondas de los medios encontrados, así como los espesores. Por comparación con medios tipo de referencia, es posible tener una idea de su naturaleza geológica. Este método es aplicable a determinados problemas de cimentación, así como el estudio de capas aluviales, deslizamientos, graveras, areneros, etc.

Las mediciones realizadas sobre diversos medios permiten establecer que esa velocidad de propagación fluctúa entre 150 y 2.500 m/seg en suelos, correspondiendo los valores mayores a mantos de grava muy compactos y los menores a arenas sueltas. Los suelos arcillosos tienen valores medios, mayores para arcillas duras y menores para las suaves. En roca san los valores varían entre 2.000 y 8.000 m/seg. Como término de comparación se menciona que la velocidad de propagación de la onda en el agua es de 1.400 m/seg.

Una fuerte humedad crea generalmente corto circuitos en los aparatos alterando las medidas. El hielo modifica las velocidades generando falsos resultados, así como una fuente de vibraciones próxima, provocando ondas parásitas que pueden también alterar las medidas.

Si sobre un gráfico de coordenadas, se colocan en las abscisas las distancias entre el punto emisor y el geófono, y en las ordenadas los tiempos medidos, se obtiene la Curva Dromocrónica, que normalmente está formada por segmentos de rectas correspondientes a las distintas capas del subsuelos. Estos segmentos tienen una gradiente inversamente proporcional a la velocidad del medio considerado, pudiendo por este concepto, obtenerse las velocidades buscadas.

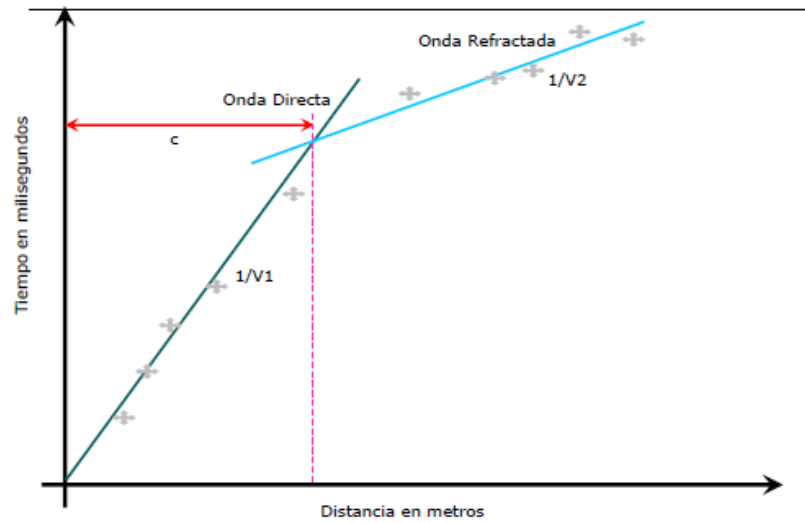


Figura 4. Curva Dromocrónica

El espesor de los diferentes estratos, se puede calcular con la siguiente expresión:

$$D = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1}}$$

Dónde:

D = espesor de cada estrato.

c = distancia horizontal correspondiente al cambio de velocidad en la Curva Democrónica.

V1 y V2 = velocidades de propagación en las diferentes capas de suelo.

A partir de las velocidades podemos intuir el estrato a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1. Relación del material con las velocidades

| MATERIAL | VELOCIDAD (pie/seg.) |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Suelo | 800 – 1800 |
| Suelo Denso | 1500 – 2000 |
| Arena o Grava Arriba Nivel Freático | 1500 – 4000 |
| Arcilla, Pizarra Blanda | 4000 – 7000 |
| Pizarra Dura | 6000 – 10000 |
| Arena Grueso | 5000 – 10000 |
| Limo Alterado | 4000 – 6000 |
| Limo | 8000 – 18000 |
| Basalto | 8000 – 13000 |
| Granito | 10000 – 20000 |
| Depósito Glacial | 40000 – 7000 |
| Losa | 10000 – 12000 |
| Agua | 5000 |
| Aire | 11000 |
| 1 pie/seg. = 0.3048 m/seg. | |

4.3. PARÁMETROS ESTÁTICOS Y DINÁMICOS DE LOS SUELOS

4.3.1. Módulo de Young

El módulo de deformación (E) fue definido por el matemático inglés Thomas Young. El módulo de elasticidad o módulo de Young es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza. Un módulo de elasticidad puede calcularse para cualquier material sólido y es la relación del esfuerzo a la deformación. Un concepto clave a recordar es que el módulo de elasticidad no es lo mismo que la fuerza.

La resistencia se mide por la tensión necesaria para romper un material, mientras que las medidas de elasticidad como de bien un material vuelve a su forma original. Cuanto menor sea el MPa o kPa, más elástico el objeto o tipo de suelo es.

Tanto el módulo de Young como el límite elástico son distintos para los diversos materiales.

El módulo típico de elasticidad de los suelos limosos es 35 a 150 MPa o 5.000 a 20.000 psi; suelos de arcilla es de 35 a 100 MPa o 5.000 a 15.000 psi, y de piedra triturada es de 150 a 300 MPa o 20.000 a 40.000 psi.

El módulo del suelo es útil para una variedad de aplicaciones dentro de la ingeniería geotécnica incluyendo cimentaciones superficiales, cimentaciones profundas, estabilidad de taludes y estructuras de contención. Con pendientes diseñadas adecuadamente y estructuras de retención, el módulo tiende a ser más alto que en la ingeniería de la cimentación debido a los niveles más bajos de tensión. Los pavimentos requieren conocimiento de módulo del suelo. El pavimento sobre el que millones de automóviles viajarán requiere un lecho de tierra con un módulo mayor que una pequeña carretera.

4.3.2. Relación de Poisson

La relación de Poisson (ν) ha sido utilizada en ingeniería por investigadores en temas relacionados con agua subterránea e hidrocarburos; para el cálculo de asentamientos en suelos entre otras aplicaciones. **Fuente especificada no válida.**

El objetivo de analizar las propiedades dinámicas en el tercio medio es el de eliminar las fronteras rígidas que representan los cabezales de la cámara triaxial, y con esto eliminar los esfuerzos cortantes que se generan en dichos límites durante el ensayo; así como el considerar que para el tercio medio se genera una deformación más uniforme en relación con la generada en toda la probeta.

La importancia del estudio de las propiedades dinámicas del suelo es para tener una comprensión más precisa del comportamiento del mismo y de esta forma poder plantear un mejor diseño ante sismo.

5. ACTIVIDADES EJECUTADAS DURANTE EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA EMPRESARIAL

5.1. Prácticas de ensayos de laboratorio

La auxiliar de ingeniería realizó las prácticas en el laboratorio de Suelos, Pavimentos y Concretos S.A.S. tales como granulometría, límites líquido y plástico, ensayos de compresión en cilindros de concreto, entre otros. Estas actividades se desarrollaron en el marco de la inducción a la empresa durante las primeras semanas.

5.1.1. Granulometría (Norma INV E-123-13)

La granulometría consiste en la determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. La distribución de las partículas mayores de 75 μm (retenidas en el tamiz 200) se determina por tamizado y las partículas menores mediante sedimentación.

Equipo

SPC SAS cuenta con una balanza de sensibilidad 0.01g para pesar el material que pasa el tamiz No. 10.

Se deben tener a la mano los tamices y ordenarlos así:

Tabla 2. Orden de los tamices

| | |
|---------|-------------|
| 3" | 75.00 mm |
| 2" | 50.00 mm |
| 1 1/2" | 37.50 mm |
| 1" | 25.00 mm |
| 3/4" | 19.00 mm |
| 3/8" | 9.50 mm |
| No. 4 | 4.75 mm |
| No. 10 | 2.00 mm |
| No. 20 | 850 μ m |
| No. 40 | 425 μ m |
| No. 60 | 250 μ m |
| No. 140 | 106 μ m |
| No. 200 | 75 μ m |

De manera alternativa se pueden utilizar:

Tabla 3. Orden alternativo de tamices

| | |
|--------|-------------|
| 3" | 75.00 mm |
| 1 1/2" | 37.50 mm |
| 3/4" | 19.00 mm |
| 3/8" | 9.50 mm |
| No. 4 | 4.75 mm |
| No. 8 | 2.36 mm |
| No. 16 | 1.10 mm |
| No. 30 | 600 μ m |
| No. 50 | 300 μ m |

| | |
|---------|-------------------|
| No. 100 | 150 μm |
| No. 200 | 75 μm |



Figura 5. Tamices armados para hacer granulometría

Procedimiento

Se toma una muestra representativa de 200 gramos de suelo al que se le realizará el estudio. Lo primero que se debe hacer es pesar la muestra total inicial. Luego se debe lavar el suelo para saber qué porcentaje de finos tiene la muestra. Ya lavada, se seca en el horno y se vuelve a pesar el contenido de la muestra. Se pasa la muestra restante a través del armado de los tamices mostrados en la imagen anterior. Posteriormente se insertan los tamices idealmente en un agitador.

Al terminar de agitarse desarman los tamices y se empieza a pesar el contenido de suelo retenido en cada tamiz.

Un análisis del gráfico granulométrico exige el uso de parámetros como:

1. **D10**: Tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 10% más fina del suelo.(Diámetro efectivo)
2. **D30**: Tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 30% más fina del suelo.
3. **D60**: Tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 60% más fina del suelo.

La obtención de éstos es sencilla y consiste en:

- Trazar abscisas por los porcentajes 10, 30 y 60 del material pasante hasta intersecar la curva de granulometría acumulativa.
- Los diámetros correspondientes a los puntos de intersección, serán, respectivamente, D10, D30 y D60.
- Éstos parámetros sirven para la obtención de los coeficientes de uniformidad y curvatura, que definen cuantitativamente la graduación de los materiales granulares.

Cu: Coeficiente de uniformidad, es la razón por cociente entre D60 y D10. Éste no tiene valores límites.

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Si el **Cu**, aumenta, significa que mejora la graduación del material. Si, por el contrario, D60 y D10 son muy parecidos en sus valores, se tiene un material mal

graduado (Su gráfica tiende a ser una línea vertical). De manera que **Cu** mide la mejor representación de tamaños.

En arenas graduadas: $Cu > 6$, mientras que en las gravas bien graduadas $Cu > 4$.

Cc: Coeficiente de curvatura, controla la curvatura o rectitud del gráfico en el intervalo. Los materiales bien graduados poseen un coeficiente de curvatura fluctuante entre 1 y 3.

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Estos valores de llevan a un formato de granulometría, como el siguiente:

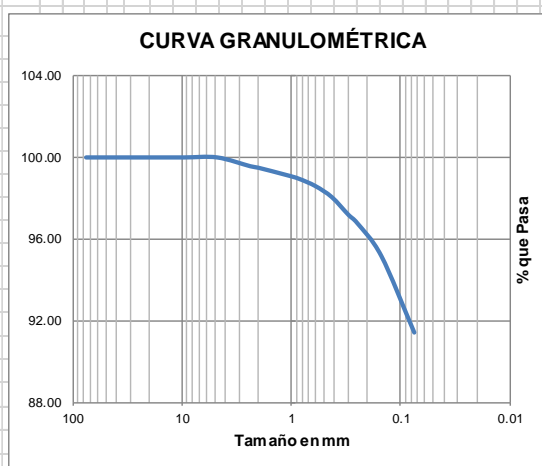


| | | | |
|---|---|----------|----------------|
| Documento: | CLASIFICACIÓN DE SUELOS S.U.C.S. | Código: | F-PS-15 |
| | | Versión: | 1 |
| | | Página: | 2 DE 2 |
| SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS S.A.S. | | | |
| NIT: 829.000.738-4 | | | |
| Calle 50 No. 19-77, Barrio Colombia. Tels.: 602 37 61 - 620 13 90. e-mail: spcsas@hotmail.com | | | |
| Barrancabermeja - Santander - Colombia | | | |

| | |
|----------------------|-------------------------------------|
| CLIENTE: | MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA |
| PROYECTO: | CONTRATO DE CONSULTORIA No. 2176-14 |
| LOCALIZACIÓN: | BARRIO LOS LAGOS - COMUNA 7 |
| MUESTRA No.: | 5 |
| SONDEO No.: | 8 |
| PROFUNDIDAD: | 4.85 A 5.30 |
| FECHA: | 21/04/2015 |

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

| TAMIZ | W _{ret} [g] | % RETENIDO | % QUE PASA |
|---------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------|
| 3" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 2" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1 1/2" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/4" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| 3/8" | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| No. 4 | 0.00 | 0.00 | 100.00 |
| No. 8 | 0.60 | 0.43 | 99.57 |
| No. 10 | 0.10 | 0.07 | 99.49 |
| No. 16 | 0.50 | 0.36 | 99.13 |
| No. 20 | 0.25 | 0.18 | 98.95 |
| No. 30 | 0.50 | 0.36 | 98.59 |
| No. 40 | 0.75 | 0.54 | 98.05 |
| No. 50 | 1.20 | 0.87 | 97.18 |
| No. 60 | 0.55 | 0.40 | 96.78 |
| No. 100 | 2.25 | 1.63 | 95.15 |
| No. 200 | 5.20 | 3.76 | 91.39 |
| FONDO | 1.70 | 1.23 | - |
| W_{LST200} | 13.60 | W_{muestra} [g]: | 138.15 |



| | |
|-------------------------------------|----------|
| TAMAÑO MÁXIMO, (TM) | No. 4 |
| | 4.75 mm |
| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL, (TMN) | No. 200 |
| | 0.075 mm |

| | |
|---------|-------|
| % GRAVA | 0.00 |
| % ARENA | 8.61 |
| % FINOS | 91.39 |

| | | | |
|--------------------------------|----|---------------------|-------------------------------------|
| CLASIFICACIÓN S.U.C.S.: | MH | DESCRIPCIÓN: | LIMO INORGANICO DE ALTA PLASTICIDAD |
|--------------------------------|----|---------------------|-------------------------------------|

OBSERVACIONES: * El análisis granulométrico de suelos por tamizado de realizo según norma I.N.V. E - 123 - 07
 * El análisis se hizo después de separar los finos por lavado sobre tamiz No. 200

| | | | |
|--|---|--|--|
| REALIZÓ: | REVISÓ: | VoBo | |
| Erlendis Rocha Cerpa Aux. Laboratorio | Henry A. Mercado Otavo Ing. Civil - Jefe Laboratorio | Juan Camilo Jerez Gómez Msc. Geotecnia - Ing. Civil | |

Figura 6. Formato de SPC SAS para los datos de granulometría

Posteriormente se hacen los cálculos pertinentes para conocer los porcentajes de gravas, arenas y finos en la muestra.

En SPC existe una hoja de cálculo con la cual se ha agilizado el proceso de condensación de datos.

5.1.2. Límite plástico (Norma INV E-126-13)

El límite plástico se determina presionando de manera repetida una pequeña porción de suelo húmedo, de manera de formar rollos de 3.2 mm (1/8) diámetro, hasta que su contenido de agua se reduce a un punto en el cual se produce agrietamiento y/o desmoronamiento de los rollos. El límite plástico es la humedad más baja con la cual se pueden formar rollos de suelo de éste diámetro, sin que éstos se agrieten o desmoronen. El ensayo se realiza sobre el material que pase por el tamiz No. 40.

Equipo

- Placa de vidrio esmerilado
- Espátula
- Cápsula para evaporación
- Balanza
- Cápsulas para determinación de humedad
- Botella plástica

- Horno
- Tamiz (No. 40)
- Agua



Figura 7. Límite plástico

Procedimiento

Primero se adiciona agua a la muestra hasta obtener una mezcla manejable y homogénea. Se hacen rollos de 3 mm de diámetro, si los rollos no se agrietan o se desmoronan se les toma la humedad, la cual corresponde al límite plástico. Se colocan en el tomamuestras y se pesan. Luego se llevan al horno y cuando estén secos se vuelven a pesar. Se recomienda hacer por lo menos tres pruebas y promediar los valores más cercanos.

5.1.3. Límite líquido

El ensayo de límite líquido se realiza con la Cazuela de Casagrande. La copa es de bronce o de latón y la altura de caída de la copa es de 1 cm. El diámetro de la copa es de 54 mm, su espesor es de 2 mm y su peso de 200 ± 20 gramos. En SPC SAS se desarrolla el método multipunto, que es por lo general, más preciso que el de un solo punto. Se toman tres puntos, uno entre 10-20 golpes, otro entre 20-30 y uno mayor de 30 golpes.

Equipo

- Cazuela de Casagrande: La copa es de bronce o de latón y la altura de caída de la copa es de 1 cm. El diámetro de la copa es de 54 mm, su espesor es de 2 mm y su peso de 200 ± 20 gramos.
- Ranurador
- Agua



Figura 8. Límite líquido

Procedimiento

Primero se humedece el material hasta obtener una muestra suave, homogénea y manejable. Luego la muestra se coloca dentro de la copa de Casagrande, de forma que la muestra quede enrasada, y se realiza una ranura trapezoidal con un ranurador rectangular. Se acciona la copa a una velocidad de 2 golpes por segundo y se cuenta el número de golpes requerido para que la ranura se cierre. El procedimiento se repite para las 3 humedades. La prueba se hace con tres puntos de los cuales deben tener un número de golpes entre 10 y 20, otro punto entre 20 y treinta y el último entre 30 y 40 golpes. Cuando la ranura se cierra se toma una

muestra para determinar su humedad. Se colocan en el tomamuestras y se pesan. Luego se llevan al horno y cuando estén secos se vuelven a pesar.

A partir de los datos tomados, se genera una curva de fluidez, que hace parte de la condensación de datos en los formatos de SPC S.A.S.

5.1.4. Ensayo de falla de cilindros de concreto a compresión (Norma INV E-410-13)

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, con una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión se determina dividiendo la máxima carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal del espécimen.

Éste método se refiere a la determinación de la resistencia a compresión de los especímenes cilíndrico en concreto, tanto cilindros moldeados, como núcleos extraídos, y está limitado a concretos con una densidad superior a 800 kg/m³.



Figura 9. Ensayo de compresión de cilindros de concretos

Equipo

- **Máquina de ensayo:** Debe ser de un tipo que tenga suficiente capacidad de carga y que satisfaga las condiciones de velocidad para el ensayo. En SPC S.A.S. se utiliza una máquina de ensayo marca PINZUAR y tiene una capacidad de 1000kN. Las dimensiones de la prensa son 420 mm x 420 mm x 1100 mm.



Figura 10. Prensa hidráulica para ensayos a compresión de cilindros de concreto

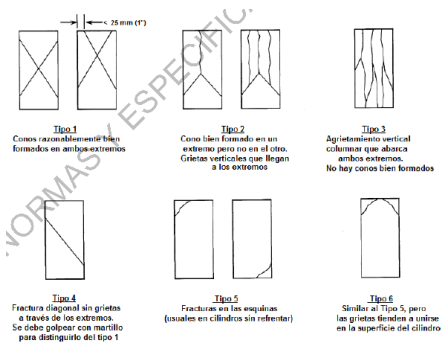


Figura 11. Esquemas de patrones de falla típicos¹

Procedimiento

Los ensayos de compresión de especímenes curados en agua deben hacer inmediatamente después de removerlos del almacenamiento húmedo.

Los especímenes se pueden ensayar a 24 horas y a 3, 7, 28 y 90 días.

Se coloca el bloque de carga inferior sobre la platina de la máquina de ensayo, con su cara endurecida arriba y directamente debajo del bloque de carga superior. Se coloca el espécimen sobre el bloque inferior. Se alinea cuidadosamente el eje del espécimen con el centro de empuje del bloque superior. La carga se debe aplicar

¹ Figura 410-3 Esquemas de patrones de falla típicos Norma INV E-410-13

una velocidad correspondiente a una tasa de aplicación de esfuerzo a 0.25 ± 0.05 MPa/s.


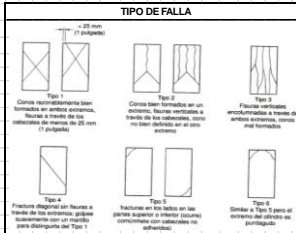
|  | Documento: | RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILINDRICOS DE CONCRETO | | | | | | | | | | | | Código: | FPS-21 | | | | | | |
|--|---------------|--|---------------------------------------|----------|------|---|-------|------|--|--------------------|--------------------|---|-----------|-------------------------------|-------------------------------------|--------|-----------------------------|----------------|---------------|----------|--------|
| | | SUELOS PAVIMENTOS Y CONCRETOS S.A.S. | | | | | | | | | | | | Version: | 1 | | | | | | |
| Calle 50 No. 19-77, Barrio Colombia. Tels: 602 37 61 - 620 13 90. e-mail: spcsas@hotmail.com Barrancabermeja - Santander - Colombia | | | | | | | | | | | | | | Página: | 1 DE 1 | | | | | | |
| CLIENTE: | | | CONSORCIO CONSTRUCTOR MAGDALENA MEDIO | | | PROYECTO: | | | CONSTRUCCION Y MONTAJE DE LA LINEA DE TRANSMISION A 230 Kv | | | LOCALIZACIÓN: | | | ESTACION COMUNEROS, MAGDALENA MEDIO | | | | | | |
| IDENTIFICACIÓN | FECHA DE TOMA | FECHA DE ENSAYO | EDAD [días] | DIAMETRO | | LONGITUD | | L/D | F.C. | AREA | | VOLUMEN [m ³] | PESO [Kg] | DENSIDAD [Kg/m ³] | CARGA MAXIMA | | RESISTENCIA A LA COMPRESION | | TIPO DE FALLA | | |
| | | | | [mm] | [in] | [mm] | [in] | | | [mm ²] | [in ²] | | | | [lb] | [kN] | [psi] | Promedio [MPa] | | Promedio | |
| ZAPATA LINEA 19 | 23/02/2015 | 02/03/2015 | 7 | 150 | 5.91 | 309 | 12.17 | 2.06 | 1 | 17671.5 | 27.39 | 5.46E-03 | 12.67 | 2320.86 | 69638.00 | 314.49 | 2542.39 | 2392.17 | 17.80 | 16.75 | Tipo 2 |
| | 23/02/2015 | 02/03/2015 | 7 | 150 | 5.91 | 304 | 11.97 | 2.03 | 1 | 17671.5 | 27.39 | 5.37E-03 | 12.65 | 2354.19 | 61409.00 | 277.33 | 2241.96 | 15.69 | | | Tipo 2 |
| | 23/02/2015 | 09/03/2015 | 14 | 150 | 5.91 | 300 | 11.81 | 2.00 | 1 | 17671.5 | 27.39 | 5.30E-03 | 12.86 | 2425.19 | 124975.00 | 564.40 | 4562.66 | 4616.04 | 31.94 | 32.31 | Tipo 2 |
| | 23/02/2015 | 09/03/2015 | 14 | 150 | 5.91 | 300 | 11.81 | 2.00 | 1 | 17671.5 | 27.39 | 5.30E-03 | 12.80 | 2415.19 | 127899.00 | 577.61 | 4669.41 | 32.69 | | | Tipo 2 |
| | 23/02/2015 | 23/03/2015 | 28 | 151 | 5.94 | 300 | 11.81 | 1.99 | 1 | 17907.9 | 27.76 | 5.37E-03 | 12.78 | 2379.03 | 135241.00 | 610.76 | 4872.28 | 4872.28 | 34.11 | 34.11 | Tipo 3 |
| OBSERVACIONES: El laboratorio de SPC SAS solo se encargó de la resistencia a la compresión. La muestra fue traída por el cliente. Concreto suministrado por ARGOS. Resistencia de diseño de 3000 psi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REALIZÓ: <u>Eledis Rocha Cerpa</u> Aux. Laboratorio | | | | | | REVISÓ: <u>Henry Andrey Mercado Otavo</u> Jefe de Laboratorio - Ing. Civil | | | | | | VOBO: <u>Juan Camilo Jerez Gómez</u> Ingeniero Civil | | | | | | | | | |
| TIPO DE FALLA  | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 12. Formato de ensayos de compresión

5.2. Cálculos de laboratorio

Se realizó el trabajo de clasificación de suelos a partir de los datos tomados en los ensayos de límites de Atterberg y Granulometría. Este procedimiento se realiza básicamente con la teoría de la mecánica de suelos y a través del formato que SPC S.A.S. utiliza en sus estudios de suelos. Esa clasificación de suelos se realizó para los sondeos del Talud Los Lagos el cual hace parte de un contrato de consultoría que está desarrollando Suelos, Pavimentos y Concretos S.A.S. y también para los sitios en donde se realizaron perforaciones para la comparación con el método de refracción sísmica.

5.3. Software Strater 4 – Golden Software

SPC S.A.S. es una empresa que constantemente busca innovar en el medio. Es así que su inversión en software para optimizar los procesos y resultados en los estudios se ve reflejado en el crecimiento a diario del mismo.

Strater 4 muestra los datos en bruto de secciones transversales de los suelos estudiados. Es una herramienta que proporciona gráficos profesionales para la creación de perfiles estratigráficos del suelo. Es un software con una interfaz que permite cambiar fácilmente los diseños que se creen. En el siguiente gráfico se muestra el producto del software.

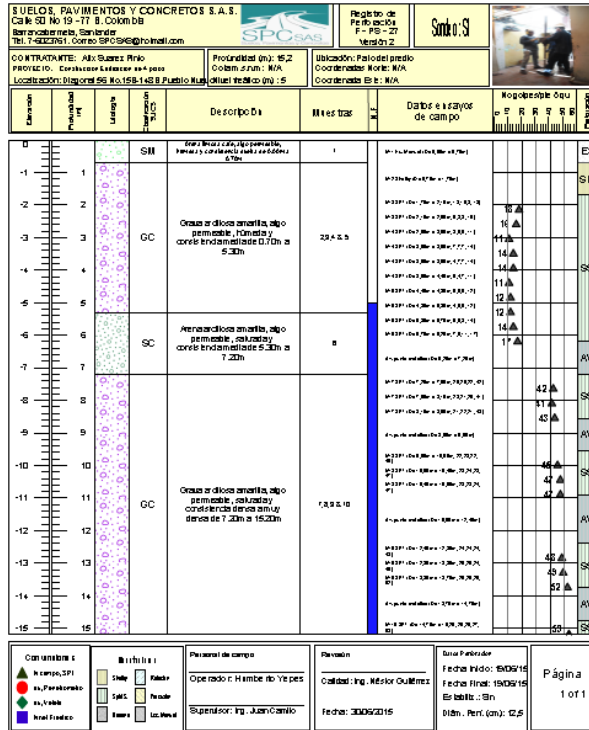


Figura 13. Perfiles estratigráficos creados con Strater 4

5.4. SPT (Norma INV E-111-13)

El SPT conocido en español como Ensayo Normal de Penetración, consiste en conducir un muestreador de tubo partido dentro del suelo para obtener muestras alteradas con el fin de identificar los suelos, midiendo su resistencia a la penetración del muestreador.

Los resultados del ensayo se emplean para estimar las condiciones del subsuelo en el diseño de cimentaciones. Los ensayos de resistencia a la penetración se desarrollan, generalmente, en intervalos de 1.5m, o cuando se detectan cambios significativos durante la perforación.

Equipo

- Equipo de perforación. El equipo de perforación realiza simultáneamente con el muestreo un orificio adecuado antes de la inserción del tomamuestras y no altera el suelo antes de la penetración del tubo muestreador. Este equipo incluye: borcas de arrastre, tipo cincel y tipo cola de pescado, brocas tricono, barrenas helicoidales de vástago hueco, barrenas tipo balde y barrenas helicoidales continuas y sólidas.
- Tuberías para muestreo. Se deben emplear tubos de perforación de acero de junta lisa para conectar el tomamuestras de tubo partido al martinete. La mayor rigidez del tubo de muestreo deberá ser igual o mayor que la de una varilla de perforación de pared paralela TIPO A.

Procedimiento

La perforación debe avanzar por incrementos, de manera que permita el muestreo intermitente o continuo. Generalmente, los intervalos y profundidades de los ensayos se definen con anticipación. El intervalo típico es de 1.5 m o menos en estratos homogéneos, con toma de muestra adicional en cada cambio de estrato. La profundidad de la perforación se debe anotar con una aproximación de 0.05m. Éste método de ensayo involucra el uso de equipos de perforación de rotación.

Cuando se alcanza la profundidad deseada para el muestreo, se limpia el fondo de la perforación retirando los residuos o detritos de la misma y se registra la profundidad de limpieza con una aproximación de 0.05m.

Para iniciar el ensayo se conecta el tomamuestras de tubo partido a la tubería de perforación y se baja suavemente dentro del hueco. No se debe permitir que el tubo caiga dentro del suelo que va a ser ensayado.

Se coloca el martillo en posición y se instala el yunque en la parte superior de la tubería de muestreo. Se dejan descansar suavemente el muestreador, la tubería y el yunque y el peso se hinca sobre el fondo de la perforación.

Se marcan los tubos de perforación en tres incrementos sucesivos de 0.15 m de manera que se pueda observar fácilmente el avance del muestreador bajo el impacto del martillo para cada incremento.

Se hinca el tomamuestras a golpes del martillo de 623 N (140 lbf) y se cuenta el número de golpes aplicados en cada incremento de 0.15 m hasta que se presente una de las siguientes condiciones:

- Que se haya aplicado un total de 50 golpes en cualquiera de los tres incrementos de 0.15 m
- Que se haya aplicado un total de 100 golpes
- Que no se observe el avance del tomamuestras durante la aplicación de 10 golpes sucesivos.
- Que el tubo muestreador avance los tres incrementos completos.

5.4.1. SPT Coliseo Luis F. Castellanos

Se realizó el ensayo de penetración estándar en el mismo lugar en dónde se hizo la primera línea de refracción sísmica, detrás del Coliseo Luis F. Castellanos. Esto con el fin de obtener información geotécnica del suelo para luego generar una comparación con los datos obtenidos en el ensayo de refracción sísmica. En el lugar se encontró un relleno compactado. El sitio de la perforación está cerca a la Ciénaga Miramar. A pesar de que se llevó el equipo de rotación, se decidió hacer el SPT manual. El personal estuvo conformado por un ingeniero de campo, una ingeniera auxiliar de campo, un jefe de perforación y dos auxiliares de perforación.

Tabla 4. SPT Luis F. Castellanos

| | |
|------------------------|--|
| Cliente: | Suelos, Pavimentos y Concretos SAS |
| Proyecto: | Clasificación de suelos para comparación con ensayos de refracción sísmica |
| Localización: | Detrás del Coliseo Luis F. Castellanos, Barrancabermeja |
| No. de sondeos: | 2 |
| Profundidad: | -9.5 metros |
| Fecha: | 13 de julio de 2015 |



Figura 14. Ensayo de penetración estándar en el lote ubicado detrás del Coliseo
Luis F. Castellanos



Figura 15. Excavación inicial para remover el relleno antropogénico



Figura 16. Tomamuestras abierto luego de hacer SPT SONDEO 2



Figura 17. Toma del nivel freático (Izquierda). Toma muestras SONDEO 1 (Derecha)

5.4.2. SPT Barrio Pueblo Nuevo

Tabla 5. SPT Barrio Pueblo Nuevo

| | |
|----------------|-------------------|
| Ciente: | Alix Suárez Pinto |
|----------------|-------------------|

| | |
|------------------------|--|
| Proyecto: | Construcción de edificación de cuatro pisos en el municipio de Barrancabermeja |
| Localización: | Diagonal 56 No. 15B-148 Barrio Pueblo Nuevo, Barrancabermeja |
| No. de sondeos: | 3 |
| Profundidad: | -15.2 metros |
| Fecha: | 19 de junio de 2015 |

Se realizó en ensayo normal de penetración en la Diagonal 56 No.15B-148 Barrio Pueblo Nuevo en el municipio de Barrancabermeja, debido a que se quiere construir un edificio de 4 pisos. Se realizaron tres sondeos: el primero ubicado en el patio de la casa de 15 m de profundidad, el segundo en el antejardín de la casa de 6.2 m y el último en la zona del comedor a 6.2 m.

El equipo que realizó el ensayo estuvo conformado por un ingeniero de campo, una ingeniera auxiliar de campo, un jefe de perforación y dos auxiliares de perforación.



Figura 18. Ubicación de la casa en el barrio Pueblo Nuevo



Figura 19. Sondeo 2 – Antejardín de la casa – Barrio Pueblo Nuevo



Figura 20. Sondeo 1 – Muestra 4



Figura 21. Sondeo 2 – Muestra 5

5.4.3. SPT Cancha Altos del Campestre

Tabla 6. SPT Cancha Altos del Campestre

| | |
|------------------------|--|
| Cliente: | Suelos, Pavimentos y Concretos SAS |
| Proyecto: | Clasificación de suelos para comparación con ensayos de refracción sísmica |
| Localización: | Cancha de fútbol del Barrio Prados del Campestre, Barrancabermeja |
| No. de sondeos: | 3 |
| Profundidad: | -4.1 metros |
| Fecha: | 13 de agosto de 2015 |

Para la comparación del método de refracción sísmica se escogieron varios sitios que según la geología de Barrancabermeja nos ofrece. Entre estos se encuentra el barrio Prados del Campestre ubicado en la comuna siete de Barrancabermeja.

Se realizaron tres sondeos a lo largo de la cancha como se aprecia en el siguiente gráfico:



Figura 22. Localización de Sondeos en Altos del Campestre



Figura 23. Trabajo en campo de las perforaciones en Altos del Campestre

5.4.4. SPT Palacio Municipal, Galán – Santander

Tabla 7. SPT Palacio Municipal - Galán, Santander

| | |
|------------------------|---|
| Cliente: | JALKH SAS |
| Proyecto: | Construcción de edificación de dos pisos del Palacio Municipal del municipio de Galán, Santander. |
| Localización: | Calle 6 #5-35 Galán, Santander |
| No. de sondeos: | 3 |
| Profundidad: | -6.35 metros |
| Fecha: | 19 y 20 de septiembre de 2015 |



Figura 24. Palacio Municipal del municipio de Galán, Santander

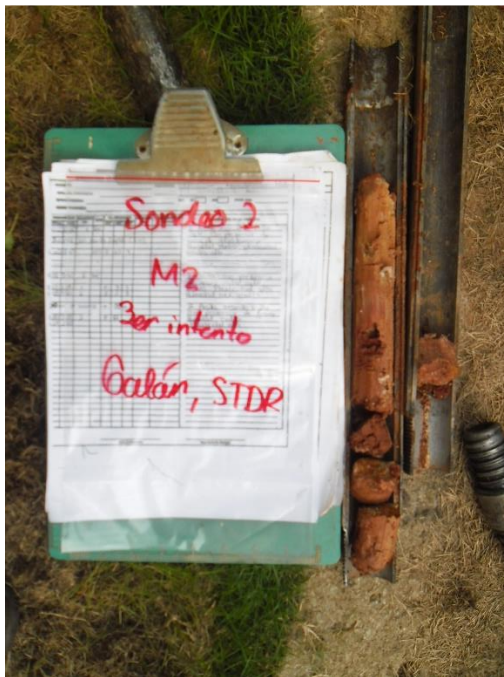


Figura 25. Muestra tomada SPT Galán, Santander

5.4.5. SPT Barrio Buenos Aires

Tabla 8. SPT Barrio Buenos Aires

| | |
|------------------------|---|
| Cliente: | Copacrédito |
| Proyecto: | Construcción de edificación de cinco pisos en el municipio de Barrancabermeja |
| Localización: | Carrera 18 #47-58 Barrio Buenos Aires, Barrancabermeja |
| No. de sondeos: | 4 |
| Profundidad: | -15.25 metros |
| Fecha: | 10 de junio de 2015 |



Figura 26. SPT Barrio Buenos Aires

5.5. Visitas técnicas del Contrato de Consultoría No. 2176-14

En el desarrollo de la práctica se realizaron cuatro visitas a diferentes puntos del municipio de Barrancabermeja. Estas visitas hacen parte del CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 2176 DE 2014 ESTUDIOS TÉCNICOS Y DISEÑO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE TALUDES DE LOS BARRIOS BOSQUES DE LA CIRA, ALTOS DEL ROSARIO, JERUSALEM, PRADOS DEL CAMPESTRE, CRISTO REY, VILLANUEVA, PROVIVIENDA, PRIMERO DE MAYO, LOS LAGOS, BUENA VISTA, TAMARINDOS, COMUNAS 3,4, 5 Y 7 DEL MUNICIPIO DE BARRANCABERMEJA.

SPC SAS como consultor de este contrato debió realizar estudios y diseños para 13 taludes con el fin de estabilizarlos en diferentes sitios del municipio de Barrancabermeja.

5.5.1. Visita técnica Talud Los Lagos

El barrio Los Lagos limita con la cancha del barrio Planada del Cerro, en el municipio de Barrancabermeja. En ese punto se encuentra un talud el cual se había intentado estabilizar con muros en gaviones. Sin embargo la construcción de los muros no ofreció a la comunidad una solución debido a que hubo un mal proceso constructivo y el bolo se salió de las mallas. Además las mallas de los muros sufrieron corrosión.

Es así que el municipio de Barrancabermeja decidió abrir una licitación para que se hicieran los estudios topográficos, de suelos y el diseño geotécnico, estructural y arquitectónico para estabilizar el talud presente en el barrio Los Lagos.



Figura 27. Visita al talud del barrio Los Lagos

La visita se realizó con el Ingeniero Hernán David Flórez, quien es el director del contrato de consultoría de los taludes, junto con un ingeniero geotecnista de la empresa y la practicante de ingeniería.

Durante la visita se pudo apreciar el deterioro de los gaviones existentes. La visita se hizo con el objetivo de replantear la ubicación del muro en concreto que se desea proyectar en el sitio.

Además del problema existente de los gaviones, la comunidad se aqueja debido a que las aguas lluvias no tienen manejo. Es así que cuando llueve las aguas lluvias que caen sobre la cancha se depositan en el talud. Es necesario diseñar un sistema de aguas lluvias para proteger el talud.



Figura 28. Visita técnica al barrio Los Lagos



Figura 29. Cancha de fútbol del barrio Planada del Cerro

5.5.2. Visita técnica Talud Altos del Campestre

Este talud hace parte del contrato de consultoría CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 2176 DE 2014 y en este caso se tienen dos taludes que debido a una descarga de aguas lluvias se han socavado los taludes. La solución que se dará a la estabilización de los taludes será la construcción de una canal que a su vez sirva para contener los taludes.



Figura 30. Barrio Altos del Campestre



Figura 31. Taludes socavados por un colector de aguas lluvias

5.5.3. Visita técnica Talud Primero de Mayo

La visita al barrio Primero de Mayo se realizó con el fin de rectificar medidas y ver algunos detalles constructivos para la estabilización del talud.



Figura 32. Escaleras a reemplazar en el Primero de Mayo

Estas escaleras se reemplazaran con el proyecto de la estabilización del talud en el barrio Primero de Mayo, ubicado en el nororiente del municipio de Barrancabermeja. La idea es hacer un mejoramiento urbano, cambiando las losas por un diseño arquitectónico moderno.



Figura 33. Talud a estabilizar en el barrio Primero de Mayo

Para estabilizar este talud se diseñaron dos muros de contención en concreto, uno en la parte superior del talud, y otro en la parte inferior del talud. La casa de la imagen inferior invade el espacio público, ya que el muro construido por la casa no permite la libre circulación de los peatones por el andén.



Figura 34. Invasión de espacio público de la casa

5.5.4. Visita técnica Talud Buena Vista - Sitio II

En el barrio Buena Vista actualmente existe un muro de contención construido con concreto ciclópeo y que necesita intervención para realizar el cambio. Es así que SPC S.A.S. A través del CONTRATO DE CONSULTORÍA No. 2176-14. En la siguiente imagen se observa el muro que se encuentra actualmente construido en la zona junto con el árbol, Ficus, que deberá ser cortado debido a que la cimentación del muro no permite que la especie siga en pie.

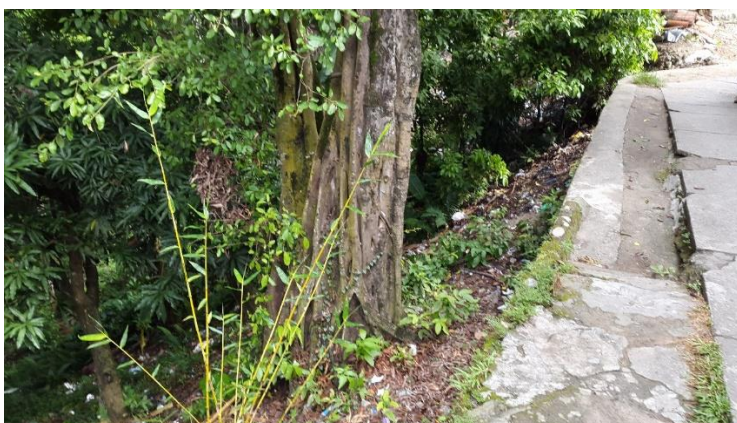


Figura 35. Muro existente en el barrio Buena Vista

En la siguiente imagen tenemos una perspectiva total del muro a reemplazar. Se realizaron previamente extracciones de núcleos en el muro, y se determinó que la composición del concreto es bolo junto con cemento. En este proyecto además de las obras geotécnicas se planea realizar obras de orden urbano, tales como un parque para que las personas tengan mejor calidad de vida.



Figura 36. Vista del muro del barrio Buena Vista

5.6. Fotos aéreas capturadas en el Lote La Vega y La Morena

SPC S.A.S. a través del Concurso de Méritos Abierto No. 001/2015 ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LAS OBRAS DE URBANISMO DE LOS PREDIOS DENOMINADOS LA VEGA Y LA MORENA de la entidad descentralizada Empresa de Desarrollo Urbano y Fondo de Vivienda de Interés Social del municipio de Barrancabermeja.

Se han definido las siguientes disciplinas como áreas fundamentales que se deberán desarrollar en la elaboración de los estudios y diseños de mejoramiento: Topografía, Arquitectura, Urbanismo y Paisajismo, Estudio de Suelos y Diseño Geotécnico, Diseño Estructural, Estudios de Hidrología, Diseño Hidráulico, Diseño Geométrico de Vías, Diseño de Pavimentos, Diseño de Redes Hidro-sanitarias

(acueducto y alcantarillado), Presupuesto y Especificaciones Técnicas de Construcción.

Sin embargo el lote La Vega y La Morena ha sufrido del fenómeno de invasión. Las personas se han apropiado ilegalmente del lote, parcelándolo y construyendo viviendas alrededor del lote.

Con el topógrafo de SPC S.A.S. y el ingeniero de presupuestos nos dirigimos hasta el lote con el fin de tomar fotos aéreas para observar con una visual más amplia como durante el último año las personas.



Figura 37. Vista aérea del lote de La Vega y La Morena



Figura 38. Lote de La Vega y La Morena en donde se tiene planeado un proyecto de vivienda

El lote La Vega y La Morena se encuentran actualmente colmado de viviendas, inclusive en las formaciones difíciles con las que cuenta el terreno y se tiene proyectada su estabilización.



Figura 39. Lote La Vega y La Morena

6. APORTES DEL PRACTICANTE

6.1. Ensayo de refracción sísmica (Norma ASTM D5777-00)

6.1.1. Visita para reconocimiento de sitios de refracción sísmica

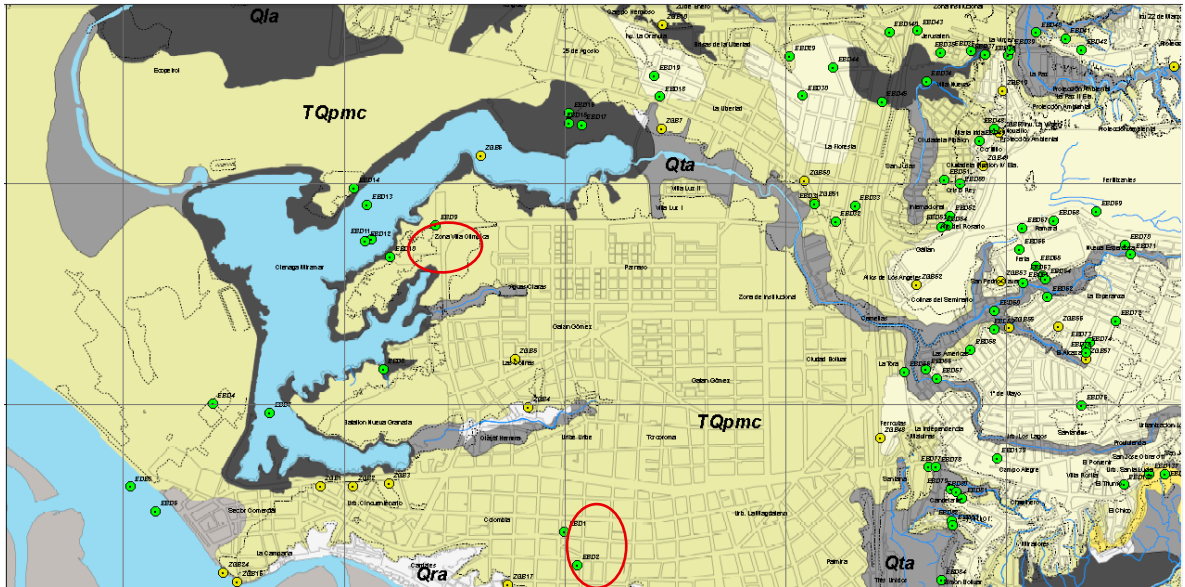


Figura 40. Mapa geológico de Barrancabermeja – Zoom Norte

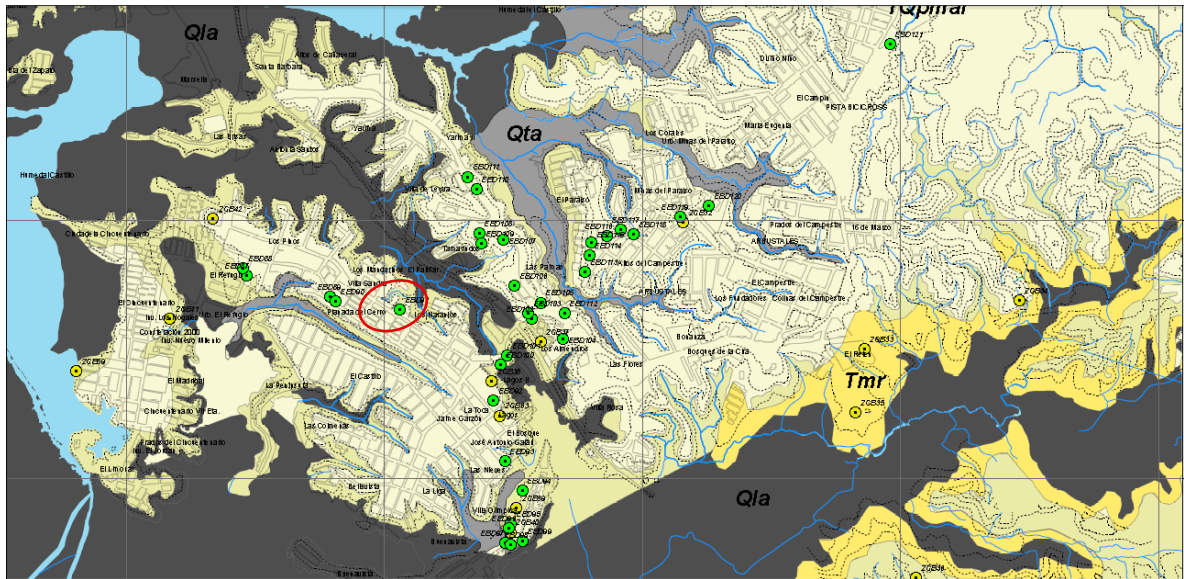


Figura 41. Mapa geológico de Barrancabermeja – Zoom Sur-Oriente

Se realizaron visitas técnicas con el fin de escoger los espacios ideales para realizar el ensayo de refracción sísmica. A partir de un plano geológico se idealizaron los lugares. Finalmente se realizó el ensayo de refracción sísmica en tres sitios: Cerca al Coliseo Luis F. Castellanos, Barrio Buenos Aires y Cancha de Altos del Campestre. Los cuales están demarcados en el mapa con el color rojo.

6.1.2. Ensayo de refracción sísmica Coliseo Luis F. Castellanos

Durante la primera semana de práctica la auxiliar de ingeniería realizó un ensayo de refracción sísmica en un lote ubicado detrás del Coliseo Luis F. Castellanos de Barrancabermeja. El ensayo de refracción sísmica debe realizarse bajo dos parámetros. Uno de ellos es que debe ser un espacio libre de ruido y ondas que

puedan afectarlo. En el lugar no debe haber tráfico de ningún tipo. Por otra parte debe haber el espacio suficiente para extender la línea.



Figura 42. Ubicación del sitio en donde se ubicó la línea de refracción sísmica



Figura 43. Ubicación de la línea de refracción sísmica

Nos trasladamos a un campo libre ubicado entre el Estadio Daniel Villa Zapata y el Coliseo Polideportivo Luis F. Castellanos en el municipio de Barrancabermeja para apreciar el uso del equipo de refracción sísmica por primera vez en SPC S.A.S.



Figura 44. Ubicación de la línea de refracción sísmica detrás del Coliseo Luis F. Castellanos

Equipo

- Un equipo de refracción sísmica
- Un computador

Procedimiento

El procedimiento para el ensayo comienza tomando la medida total de la línea de refracción sísmica que se desea. Es ideal para la geotecnia realizar líneas de refracción sísmica de 100 metros de longitud. Luego se extiende la línea principal a lo largo de la longitud previamente medida.

El equipo posee 16 geófonos y uno adicional. Se ubican los geófonos a una distancia equivalente, la cual se calcula dividiendo la distancia total entre los 15 espacios que se generan entre los geófonos (máximo de 8 metros, por el largo de la línea principal), y se van enchufando a través de unas conexiones marcadas de color azul, que envían a través de la línea principal las señales tomadas por los geófonos.

El geófono adicional debe ubicarse a un extremo a la distancia equivalente, de tal forma que ese geófono marque el SHOT o golpe que genera las ondas. Al geófono adicional se le conecta el cable TRIGGER o gatillo. Se conecta el equipo al computador a través de la entrada USB y se abre el software en campo. Es de relevancia que las líneas de refracción sísmica se realicen en espacios en donde no sea interrumpido el ensayo por ondas producidas por, personas, tráfico, ruido, entre otros.

Al llegar al lugar lo primero que se realizó bien como el procedimiento lo dice fue medir la longitud total que se quiere. La línea en total se hizo con 51 m de longitud. Se ubicaron la totalidad de los geófonos a 3 m de longitud equivalente.



Figura 45. Tendido de línea de refracción sísmica: ajuste de medidas

Luego se conectaron los geófonos a la línea principal, que se observa en las fotografías como el cable de color amarillo, a través de las conexiones azules. Esa línea principal no se conecta con el geófono del SHOT, ya que el cable TRIGGER es el que envía la señal al computador del golpe.

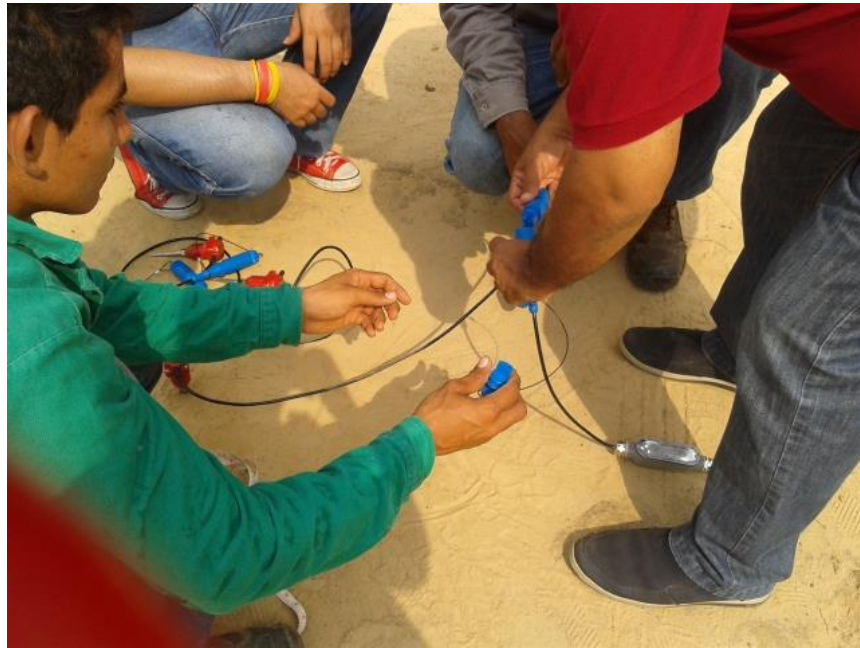


Figura 46. Conexión entre los geófonos (Color rojo) y la línea principal



Figura 47. Línea de refracción sísmica lista para el SHOT



Figura 48. Software de control del equipo de refracción sísmica

En la imagen anterior se puede observar al ingeniero de campo conectando el computador al equipo de refracción sísmica (color naranja). En la imagen de abajo se observan cómo deben ir las conexiones en el equipo de refracción sísmica.



Figura 49. Conexión del software al equipo de refracción sísmica



Figura 50. Línea principal con sus respectivos geófonos

Al abrir el software deben crearse inmediatamente tres subcarpetas: INICIO, MEDIO Y FINAL. Esto con el fin de guardar los SHOTS que se tomarán tanto en el centro como en los dos extremos de la línea. Se da PLAY en el software Seismidaq y se guarda cada SHOT en la carpeta deseada.

Al abrir el software en el computador aparece así:

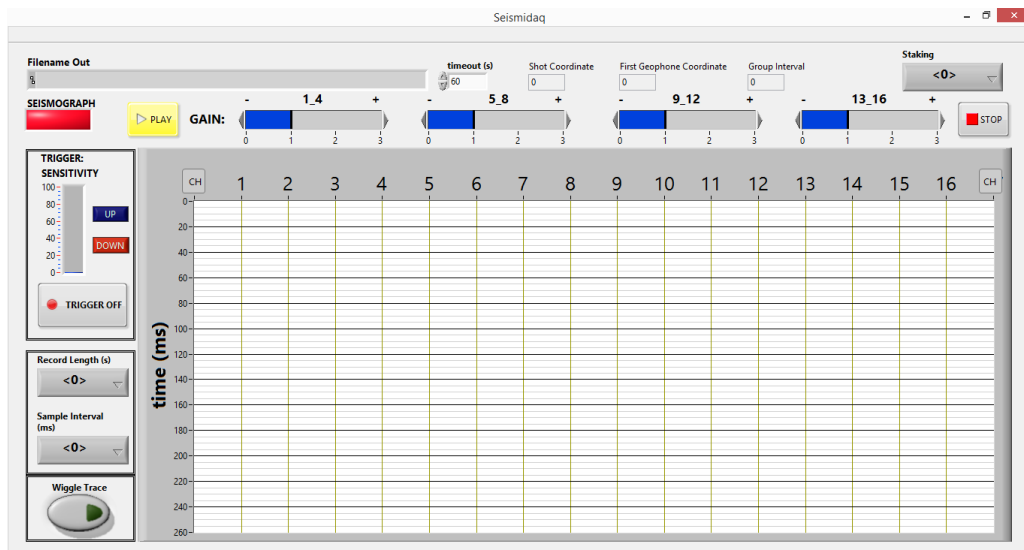


Figura 51. Pantalla principal del software Seismidaq del equipo de refracción sísmica



Figura 52. Lectura de las ondas en campo

La imagen anterior es la vista en campo de las ondas en el computador conectado al equipo de refracción sísmica.

ASTM D5777-00 (Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation)

6.1.3. Ensayo de refracción sísmica Altos del Campestre

Se realizó un ensayo de refracción en la cancha de Altos del Campestre, ubicada al suroriente del municipio de Barrancabermeja. La cancha se encontraba en perfectas condiciones ya que había pocas opciones de que se interrumpieran las ondas por factores externos.



Figura 53. Tendido del cableado a lo largo de la línea

Inicialmente se extendió la línea con la cual se conectan los geófonos (color rojo) los cuales son los que transmiten la señal de las ondas al equipo.



Figura 54. Geófono con su respectiva conexión a la línea (amarillo)

Los geófonos se conectan a la línea a través de las conexiones que se aprecian en las imágenes de color azul, ya que tienen un sistema que intenta proteger la señal al máximo.

Ya que la señal se emite a partir de un estruendo, el ayudante hace un golpe contra una platina en el geófono que exclusivamente se coloca para el SHOOT.



Figura 55. El SHOOT se realiza a partir de un estruendo



Figura 56. Las señales de las ondas llegan al equipo a través del cableado



Figura 57. El ayudante genera un golpe para la generación de las ondas

Finalmente los datos quedan guardados en el equipo para su posterior proceso. Se guardan los golpes en tres carpetas diferentes INICIO, MEDIO y FIN.

6.1.4. Software SEEISE

Para posteriormente observar las trazas creadas a partir de las ondas que los geófonos captan, se descargó el software SEEISE. Los datos que reconoce este software están en formato SEG-Y. EL software se encuentra gratuito en la página principal de su distribuidor DMNG. <http://www.dmng.ru/eng/freeware.html>

El software es desarrollado por una empresa rusa interesada en el análisis de los temas geofísicos.

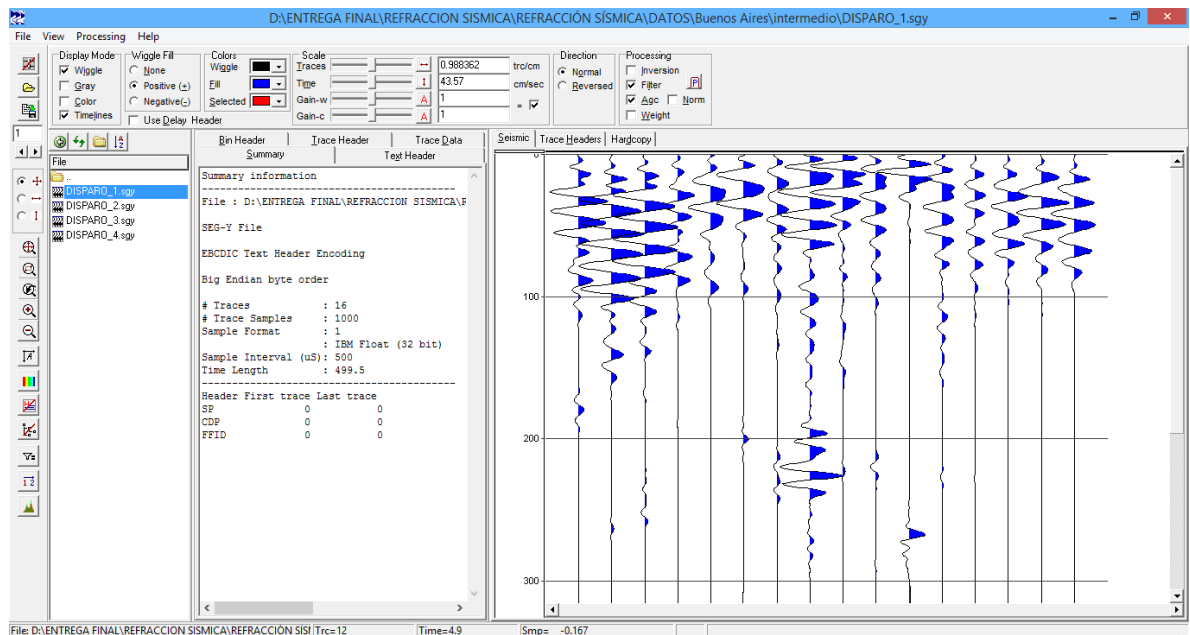


Figura 58. Visualización del software SEEISE

Ofrece diversos modos de visualización de las amplitudes positivas y negativas que presentan.

6.1.5. Software EASY REFRACT

En SPC S.A.S. se preocupan por tener tecnología de punta. Es así como el Ing. Hernán Flórez ha obtenido licencias para correr varios software del área de geotecnia.

EasyRefract es el software que GeoStru ha dedicado a la interpretación de ensayos de refracción sísmica.

La definición del perfil del tendido es sumamente flexible y no impone restricciones al número de impactos.

El software guía al operador a través de las fases de análisis permitiéndole el control completo del proceso operativo. En el programa se ha implementado un eficiente sistema de localización que permite también editar la foto aérea de la zona analizada.

Los datos obtenidos en campo se extraen directamente de los archivos digitales que generan los equipos (archivos en formato SEG2, SEGY, SU, etc.) y se representan en diagramas para permitirle al usuario identificar las primeras llegadas, las cuales se pueden insertar también manualmente o con un simple copiar y pegar.

Al determinar las primeras llegadas, el software podrá ya efectuar el análisis de regresión y establecer las dromocrónicas, dando al usuario amplia posibilidad de intervenir para definir y modificar los puntos de codo. Durante esta fase de análisis los tiempos de llegada se asignan a los refractores corregidos.

Después de haber construido las dromocrónicas e identificado la velocidad de propagación de la señal sísmica en los diferentes estratos de suelo, se llega a la fase de interpretación.

El software utiliza el método de los tiempos de intercepto para elaboraciones con un solo impacto, el método recíproco para estudios con dos impactos y el método recíproco generalizado (G.R.M.) cuando se trata de identificar configuraciones morfológicas complejas. Este último método se basa en la búsqueda, en el gráfico tiempo-distancia, de la distancia XY óptima entre geófonos tal que los rayos sísmicos provenientes de puntos de energía opuestos, colocados simétricamente en las extremidades de la implantación, lleguen desde un mismo punto del refractor a los geófonos puestos en X y en Y.

Además de la búsqueda automática de XY óptima, EasyRefract proporciona, para los valores admisibles de XY, el gráfico de la función velocidad con la desviación cuadrática media para cada regresión asociada y el gráfico de la función tiempo-profundidad con el valor de rugosidad.

Tutorial de EASY REFRACT por GeoStru:
<https://www.youtube.com/watch?v=F4TPbRfjqDk>

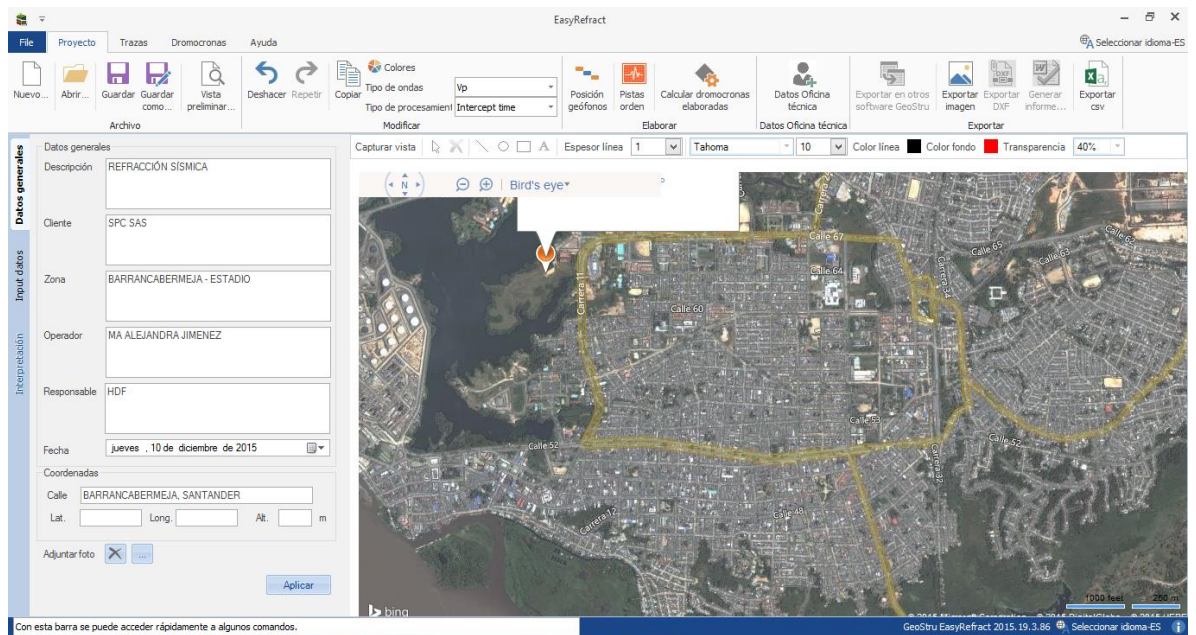


Figura 59. Página inicial de EASYREFRACT

En esta primera imagen se aprecia la página principal en donde se puede colocar una descripción del proyecto y se puede colocar la ubicación exacta del sitio en donde se hace la refracción sísmica.

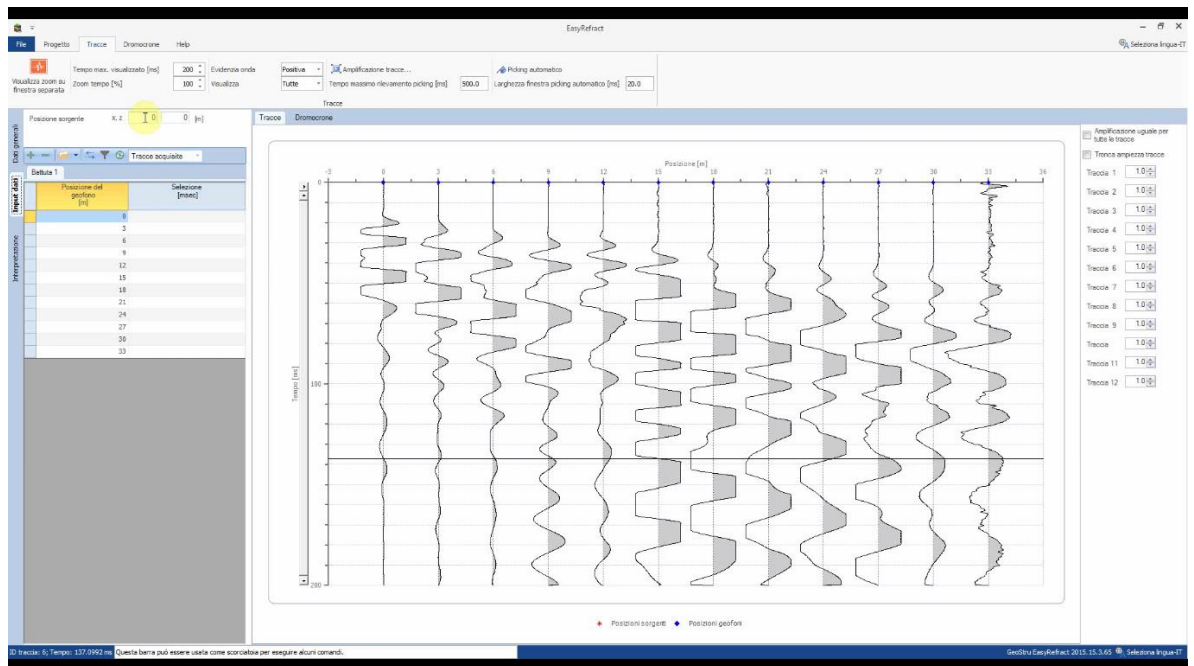


Figura 60. Segunda pestaña de EASYREFRACT

En la segunda pestaña de EASYREFRACT se adjuntan las trazas previamente tomadas en campo, tanto la INICIAL, MEDIO y FINAL. Se coloca la distancia a la que se tomó cada geófono y a que distancia se hizo cada SHOOT.

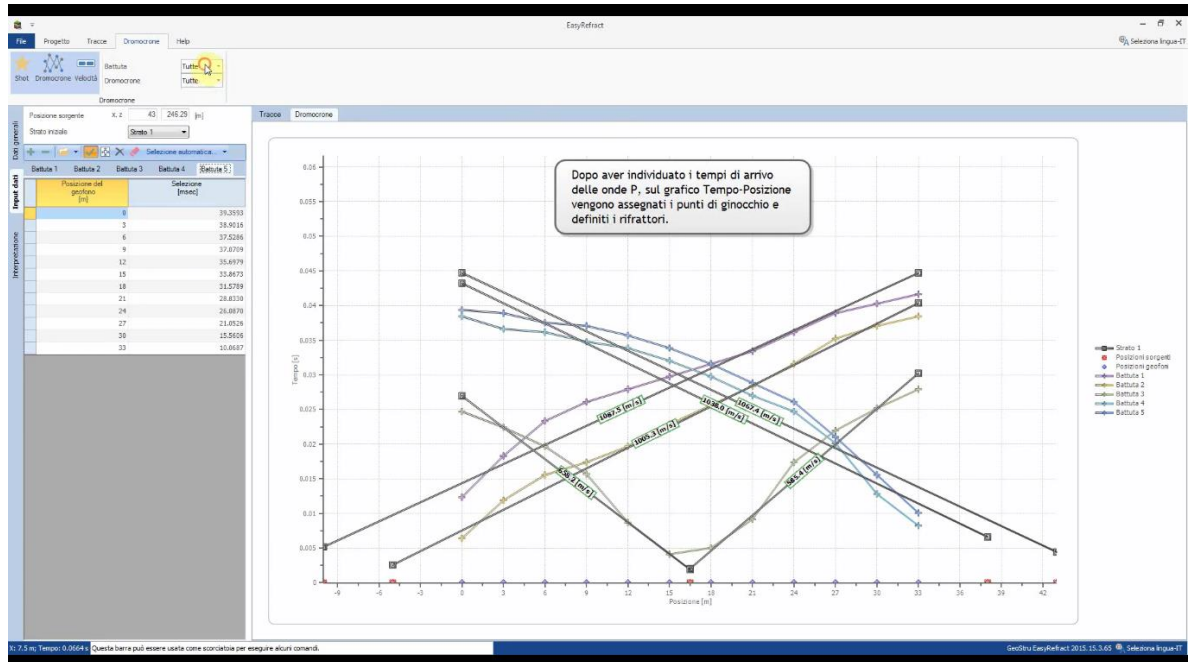


Figura 61. Creación de dromocronas a partir de las trazas

Finalmente el software calcula las dromocronas a partir de las velocidades iniciales de las ondas. El software puede generar los perfiles estratigráficos del suelo y así mismo obtener parámetros como módulos de elasticidad y Poisson.

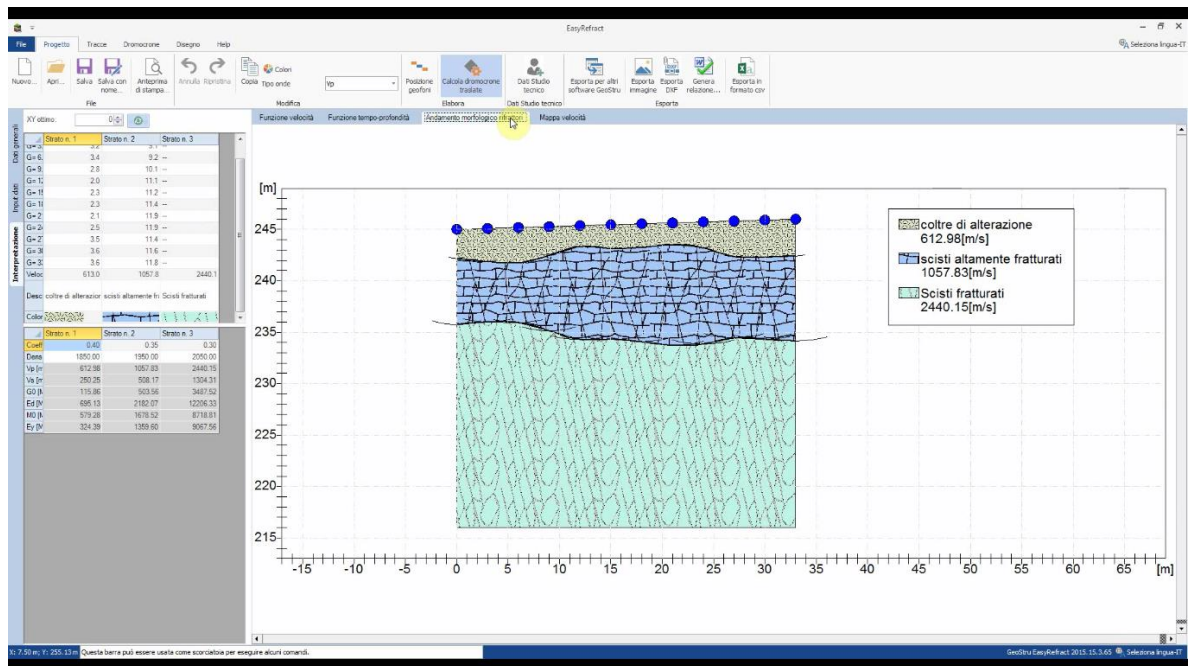


Figura 62. Pantalla final de EASYREFRACT

7. RECOMENDACIONES

- A pesar de que el ensayo de refracción sísmica es más económico a largo plazo, sus resultados no reemplazan los de una perforación típica. Se recomienda utilizar el ensayo de refracción sísmica como información complementaria en los estudios de suelos.
- Es de vital importancia al realizar cualquier tipo de ensayo utilizar la protección personal adecuada para el caso, ya sea dentro del laboratorio o en campo.
- Se debe estimular a los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga a que se interesen por aprender el uso de las herramientas informáticas que le facilitan en la actualidad la vida a los ingenieros civiles.

8. CONCLUSIONES

- Los métodos geofísicos funcionan como complemento para los métodos tradicionales de estudios de suelos. No es posible reemplazar un SPT con una refracción sísmica ya que los resultados de la refracción sísmica pueden variar debido a múltiples factores. Si el ensayo de refracción sísmica no se realiza con las recomendaciones dadas, las ondas pueden tener una variación en su velocidad que se ve reflejada en la desviación de las trazas y así mismo en el perfil estratigráfico que se genera a partir de las dromocronas.
- Los ensayos de perforación estándar nos suministran información confiable del terreno ya que son datos que se obtienen del mismo. Sin embargo la inversión en estos ensayos es de alto costo, ya que se necesitan equipos propios de la geotecnia y más personal que para la realización de un ensayo de refracción sísmica.
- Los software son una herramienta muy útil en la ingeniería actual ya permiten analizar con agilidad los datos, en este caso, obtenidos en campo. Es más ardua la tarea de realizar las dromocronas manual y gracias a las herramientas informáticas se obtienen de forma eficaz los resultados de un ensayo de refracción sísmica.
- Al realizar una práctica empresarial se obtiene un gran conocimiento de profesionales que ya han tenido experiencia y se logra aprender en gran medida a partir de proyectos realizados para disminuir errores a futuro.

9. REFERENCIAS

ASTM. 2011. *Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation ASTM D5777.* 2011.

ASTM D5777-00 *Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation*

Ensayos de Refracción Sísmica. **Alba Hurtado, Jorge E.** Lima : s.n.

Flores, O; Romo, M. P; Ruiz, G; Flores, R;. *Relación de Poisson y parámetros dinámicos con mediciones locales.*

INVIAS *Normas y Especificaciones Invías 2013. Sección 100 y 400*

JRedpath, Bruce B. 1973. *Seismic refraction exploration for engineering site investigations.* Livermore : NTIS, 1973.

ANEXO A.
DATOS DE LABORATORIO ANALIZADOS

ANEXO B.
PERFILES ESTRATIGRÁFICOS EN STRATER