

Auxiliar de ingeniería en la empresa Geotecnología S.A.S para la exploración, caracterización del subsuelo y diseño de estructuras de mitigación en proyectos asignados por la entidad.

Nathalia Quiroz Cáceres

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director

Vladimir Ernesto Merchán Jaimes

Doctor en Ingeniería del Terreno Cartográfico y Geofísica

Profesor Asistente – Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Agradezco infinitamente a mi familia, que han sido mi mayor apoyo y compañía a lo largo de toda mi vida y en especial en esta etapa universitaria, siempre animándome y guiándome a tomar las decisiones acertadas. Quiero agradecer especialmente a mis padres Claudia Cáceres y Eduardo Quiroz, a mi hermana Juliana Quiroz y a mi abuelita Beatriz Ordoñez por darme todo el amor posible, la mejor educación e inculcarme los valores y las cualidades que me han llevado hasta aquí.

A mi abuela Francisca Arrieta, que a pesar de no estar cerca, durante toda mi vida me ha dado su apoyo incondicional, se ha preocupado incansablemente por mi salud, mi felicidad, mis estudios y me ha brindado todo su amor, su cariño y sus consejos.

A mi mejor amiga Camila Prieto, a mis amigos y compañeros de universidad, Nathalia Ardila, Camilo Castellanos, Tania Alvarez y Sergio iglesias, que me acompañaron en cada día de felicidad, angustia, diversión y estrés durante los cinco años y medio de esta gran experiencia, sin ellos el paso por la universidad no habría sido igual de valioso, agradable y memorable. Agradezco de igual forma a mi mejor amiga Kristhina Pineda y a su familia que, a pesar de no estar en constante comunicación, han mostrado su felicidad y apoyo hacía mis logros innumerables veces.

Agradecimientos

Agradezco a Geotecnología S.A.S por permitirme ampliar mis conocimientos de ingeniería por medio de la práctica empresarial. Reconozco especialmente a mi tutor Cristhian Peña y al ingeniero Jaime Suarez por el respaldo técnico. A la gerente de la empresa, Fanny Ardila, por brindarme la oportunidad de ampliar mi conocimiento en el área de la geotecnia y brindarme consejos útiles para la vida profesional, independiente del campo de conocimiento. A todo el equipo de trabajo de la empresa, en especial a Dairon, Alexis, Alejandro y Adolfo, por guiarme a través de los procedimientos de la empresa para lograr los mejores resultados posibles en las actividades realizadas.

Quiero agradecer también a mi director de proyecto, Vladimir Merchán, por su constante acompañamiento y disposición para resolver mis dudas y ayudarme a mejorar cada resultado entregado, ya sea a la universidad o a la empresa. Agradezco también a los profesores que me acompañaron durante la etapa universitaria pues de cada uno pude enaltecer mis conocimientos y llevarme una enseñanza para la vida.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	12
2. Objetivos	14
2.1 Objetivo General	14
2.2 Objetivos Específicos.....	14
3. Marco de referencia	15
3.1 Marco legal	15
3.1.1 Descripción de la empresa	15
3.1.2 Misión	15
3.2 Marco conceptual.....	15
3.2.1 Estudio Geotécnico	16
3.2.2 Ensayo de penetración estándar SPT	16
3.2.3 Exploración de Campo.....	16
3.2.4 Ensayo DownHole	17
3.2.5 Tomografía geoelectrica	17
3.2.6 Análisis granulométrico	18
3.2.7 Límites de Atterberg	18
3.2.8 Estabilidad de taludes	18
3.2.9 Factor de seguridad.....	19
3.2.10 Equilibrio limite	19
4. Metodología	19
4.1 Fase 1: Caracterización del subsuelo.....	19

4.2	Fase 2: Modelos geotécnicos con base en la información obtenida.	20
4.3	Fase 3: Diseño de estructuras geotécnicas que evidencien los resultados previos. ..	20
5.	Resultados	23
5.1	Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento campo de golf Club Campestre	23
5.1.1	Seguimiento a los ensayos y resultados obtenidos en laboratorio	24
5.1.2	Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)	25
5.1.2.1	Descripción del perfil geotécnico típico	25
5.1.2.2	Parámetros del suelo a partir del software NOVO SPT	26
5.2	Estudio Geotécnico Proyecto Fiore 2, barrio La Campiña, Girón	29
5.2.1	Ensayo de tomografía geoelectrica	29
5.2.1	Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)	32
5.3	Estudio y Diseño de Cimentación Proyecto Tanque Ecodiesel	36
5.3.1	Ensayos de laboratorio Proyecto Tanque Ecodiesel	36
5.3.2	Procesamiento del ensayo sísmico DownHole	37
5.3.3	Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)	38
5.3.4	Diseño de la cimentación del Tanque	39
5.4	Estudio Geotécnico Proyecto Zima, Cañaveral	41
5.4.1	Procesamiento del ensayo sísmico de onda DownHole	42
5.4.2	Ensayo de tomografía geoelectrica	43
5.4.3	Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)	43
5.5	Estudio Geotécnico Proyecto Calle 4#4-37 Floridablanca	45
5.5.1	Ensayos de laboratorio Proyecto Calle 4#4-37	46
5.5.2	Procesamiento del ensayo sísmico DownHole	47
5.5.3	Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)	48

5.6	Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco”	49
5.6.1	Ensayo de tomografía geoelectrica	49
5.6.2	Análisis de Estabilidad de los taludes actuales	51
5.7	Diseño de estructuras de contención proyecto Sky Tower	56
5.7.1	Talud Norte	56
5.7.2	Talud Oriental	57
5.7.1	Talud Sur.....	57
5.7.2	Cantidades de obra.....	57
5.8	Diseño de Estructuras de Contención Proyecto Fontana de La Sierra.....	58
5.8.1	Talud Norte	58
5.8.2	Talud Oriental	59
5.8.3	Talud Sur.....	59
5.8.4	Talud Occidental.....	59
5.8.5	Cantidades de obra.....	59
6.	Conclusiones	60
7.	Recomendaciones	60
7.1	Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento campo de golf Club Campestre	62
7.2	Estudio Geotécnico Proyecto Fiore 2, barrio La Campiña, Girón	62
7.3	Estudio Diseño de cimentación Tanque Ecodiesel	62
7.4	Estudio Geotécnico Proyecto Zima	62
7.5	Estudio Geotécnico Proyecto Calle 4#4-37	62
7.6	Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco”	62
	Referencias Bibliográficas	63

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Actividades realizadas a lo largo de la práctica empresarial	21
Tabla 2. Ensayos de laboratorio proyecto Club Campestre	24
Tabla 3. Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Club Campestre	24
Tabla 4. Perfil representativo detallado de la zona de estudio – Sondeo 3.....	25
Tabla 5. Parámetros de diseño recomendados Proyecto Club Campestre	28
Tabla 6. Resultados del ensayo de penetración estándar SPT Proyecto Fiore 2.....	32
Tabla 7. Parámetros de diseño recomendados Proyecto Fiore 2	35
Tabla 8. Ensayos de laboratorio proyecto Tanque Ecodiesel	36
Tabla 9. Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Tanque Ecodiesel	37
Tabla 10. Parámetros de diseño recomendados Proyecto Tanque Ecodiesel	39
Tabla 11. Cantidades de obra para la cimentación del proyecto Tanque Ecodiesel	40
Tabla 12. Parámetros de diseño recomendados Proyecto Zima	45
Tabla 13. Ensayos de laboratorio proyecto Calle 4#4-37	46
Tabla 14. Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Calle 4#4-37	46
Tabla 15. Parámetros de diseño recomendados Proyecto Calle 4#4-37	48
Tabla 16. Factores de seguridad básicos mínimos.....	52
Tabla 17. Resumen factores de seguridad con abatimiento de lixiviados proyecto El Carrasco..	56
Tabla 18. Cantidades de obra del proyecto Sky Tower	57
Tabla 19. Cantidades de obra del proyecto Fontana de la Sierra.....	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de sondeos del proyecto Club Campestre	23
Figura 2. Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción.....	27
Figura 3. Localización de las líneas de tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2.....	29
Figura 4. Estaciones de toma de datos tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2.....	30
Figura 5. Interpretación tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2	31
Figura 6. Comparación de las líneas de tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2.....	32
Figura 7. Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción.....	34
Figura 8. Resultados del ensayo DownHole proyecto Tanque Ecodiesel	38
Figura 9. Localización general de la cimentación proyecto Tanque Ecodiesel.....	39
Figura 10. Planta arquitectónica del proyecto Zima	41
Figura 11. Resultados del ensayo DownHole proyecto Zima.....	42
Figura 12. Interpretación tomografía geoelectrica proyecto Zima	43
Figura 13. Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción.....	44
Figura 14. Resultados del ensayo DownHole proyecto Calle 4#4-37	47
Figura 15. Localización de las tomografías geoelectricas Proyecto El Carrasco	49
Figura 16. Resultados de las tomografías geoelectricas Proyecto El Carrasco	50
Figura 17. Perfiles analizados en el software SLOPE/W para el proyecto El Carrasco.....	52
Figura 18. Análisis de estabilidad para los perfiles determinados del proyecto El Carrasco	53

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Planos Constructivos diseño de cimentación Tanque Ecodiesel.

Apéndice B. Planos Constructivos diseño geotécnico Sky Tower.

Apéndice C. Planos Constructivos diseño geotécnico Fontana de la Sierra.

Resumen

Título: Auxiliar de ingeniería en la empresa Geotecnología S.A.S para la exploración, caracterización del subsuelo y diseño de estructuras de mitigación en proyectos asignados por la entidad. *

Autor: Nathalia Quiroz Cáceres**

Palabras Clave: Geotecnia, suelos, práctica, laboratorio, ensayos, mecánica, software, ingeniería.

Descripción: La importancia de la geotecnia reside en la necesidad de un estudio donde se evidencie la capacidad del suelo de soportar cargas, y, movimientos sísmicos de mediana y alta magnitud. Por tal motivo, a lo largo de este documento se presentan las diversas actividades realizadas en la empresa Geotecnología S.A.S en el transcurso de la práctica empresarial, donde se brindó apoyo como auxiliar de ingeniería para la exploración, caracterización del subsuelo y diseño de estructuras de mitigación.

En los cuatro meses de duración de la práctica se convidó asistencia en distintos proyectos, entre los cuales destacan los Estudios geotécnicos para los proyectos Zona de mantenimientos de Campo de Golf y Eventos del Club Campestre de Bucaramanga, Fiore 2 Barrio El Carrizal, Zima Barrio Cañaveral, Calle 4#4-37 Floridablanca, además del Estudio Geotécnico y Diseño de cimentación del Tanque Ecodiesel, Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco” y el Diseño de Estructuras de Contención del Proyecto “Sky Tower”. Dentro de cada proyecto se participó, de manera general, en los laboratorios de mecánica de suelos, el análisis de los parámetros del suelo mediante el software NOVO SPT, procesamiento e interpretación de resultados de ensayos geofísicos, análisis de estabilidad de taludes con el uso del software SLOPE/W, apoyo en la realización de planos, entre otros procesos para la caracterización del suelo.

A modo de conclusión, se comprende la importancia de cada etapa que compone un estudio geotécnico, de manera que se pueda evaluar correctamente el comportamiento sísmico del suelo y brindar recomendaciones técnicas que ayuden a controlar y disminuir los riesgos al momento de la construcción y operación de las estructuras.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil. Director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. Doctor en Ingeniería del Terreno Cartográfico y Geofísica.

Abstract

Title: Engineering auxiliary at the enterprise Geotecnología S.A.S for exploration, characterization of the subsoil and design of mitigation structures in projects assigned by the company*

Author(s): Nathalia Quiroz Cáceres**

Key Words: Geotechnics, soils, internship, laboratory, tests, mechanics, software, engineering.

Description: The importance of geotechnics lies in the need for a study that shows the soil's capacity to support loads, as well as medium and high magnitude seismic movements. For this reason, throughout this document, the various activities done and developed by the author in the company Geotecnología S.A.S during the course of the internship are presented, where support was provided as an engineering assistant for the exploration, characterization of the subsoil and the design of mitigation structures.

During the four months of the internship, assistance was provided in different projects, such as the Geotechnical Studies for the Golf Course Maintenance Area and Events projects of the Club Campestre de Bucaramanga, Fiore 2 El Carrizal neighbourhood, Zima in Cañaveral neighbourhood, Calle 4 # 4-37 in Floridablanca, in addition to the Geotechnical Study and Foundation Design of the Ecodiesel Tank, Geophysical Monitoring Campaign I of 2024 Final Disposal Site "El Carrasco" and the Design of Containment Structures for the "Sky Tower" Project. Within each project, there was general participation in the soil mechanics laboratories, the analysis of soil parameters using the NOVO SPT software, processing and interpretation of geophysical test results, slope stability analysis using the SLOPE / W software, support in the preparation of construction plans, among other processes for soil characterization.

In conclusion, the importance of each stage that makes up a geotechnical study is understood, so that the seismic behavior of the soil can be correctly evaluated, and technical recommendations that help control and reduce the risks at the time of construction and operation of the structures can be provided.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Civil Engineering School. Director: Vladimir Ernesto Merchán Jaimes. Doctor in Cartographic and Geophysical Terrain Engineering.

Introducción

En el ambiente académico, es de suma importancia desarrollar las habilidades técnicas y sociales suficientes para enfrentar las diferentes dificultades y desafíos que se puedan presentar en la siguiente etapa a encarar, especialmente en el entorno laboral.

La práctica empresarial permite al estudiante universitario desenvolverse con anticipación en este tipo de escenarios, puesto que estimula y fomenta los conocimientos previos adquiridos mediante las asignaturas cursadas, y, a su vez, motiva las habilidades blandas que mejoran el trabajo en equipo y la solución de problemas de manera eficiente.

En el caso evidenciado a lo largo de este documento, los conocimientos corresponden a competencias del ámbito de la ingeniería, concretamente del área de la geotecnia. Esta disciplina pertenece al ámbito de la Ingeniería Civil y se caracteriza por estudiar las propiedades que componen al suelo, como su origen, la distribución de las partículas y sus diferentes tamaños, su resistencia a la deformación, entre otras (Guardo, 1999), de forma que, al momento de diseñar y construir una estructura, se pueda garantizar la seguridad de la obra a desarrollar y de las personas que estarán involucradas tanto en su construcción como en su uso final. La ingeniería geotécnica usa los principios de la mecánica de suelos y rocas para el diseño de obras de tierra, estructuras de contención, además del tipo y profundidad de cimentación de edificaciones (Das, 2022).

La importancia de esta rama de la ingeniería reside en la necesidad de un estudio donde se evidencie la capacidad del suelo de soportar cargas, y, movimientos sísmicos de mediana y alta magnitud. Bucaramanga, conocida por su alta actividad sísmica, limita con una de las fallas de rumbo más significativas del país (Taboada et al., 1998), lo que implica la trascendencia de realizar ese tipo de estudios e investigaciones, que permitan, mediante la geotecnia, analizar las

cimentaciones para asegurar un correcto diseño estructural, lo que resulta en un buen soporte de cargas sísmicas por parte de la estructura.

Por esta razón, el estudio de las propiedades del suelo es de gran interés para el desarrollo de proyectos de construcción. Geotecnología S.A.S es una empresa especializada en la investigación y crecimiento científico del área de la geotecnia en el país. Con alrededor de 49 años de experiencia, Geotecnología S.A.S se caracteriza por la excelencia técnica en cada servicio brindado. Liderada por el ingeniero Jaime Suarez Díaz, la empresa busca realizar estudios geotécnicos y análisis de suelos con la más alta calidad (Geotecnología S.A.S, 2021).

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Desarrollar habilidades técnicas relacionadas a procesos de exploración y caracterización del subsuelo, así como el diseño geotécnico, en proyectos asignados por la empresa Geotecnología S.A.S.

2.2 Objetivos Específicos

Realizar labores de caracterización del subsuelo con base en información de campo y laboratorio para los proyectos asignados.

Establecer modelos geotécnicos conceptuales con base en información geológica, geomorfológica y de caracterización del subsuelo.

Adquirir competencias para el diseño de estructuras geotécnicas, como estructuras de contención, control de erosión, entre otros, que permitan evidenciar los resultados obtenidos en el análisis geotécnico.

3. Marco de referencia

3.1 Marco legal

3.1.1 Descripción de la empresa

Geotecnología S.A.S es una empresa de consultoría de ingeniería geotécnica, su principal propósito es brindar calidad técnica y rigor científico en los proyectos, empleando tecnología de última generación. Su enfoque principal es la estabilidad de taludes y erosión, sin embargo, sus servicios abarcan la exploración del subsuelo mediante sondeos mecánicos, ensayos geofísicos y de laboratorio de mecánica de suelos, estudios geotécnicos, análisis de deslizamientos y diseño de obras geotécnicas. (Geotecnología S.A.S, 2021).

Fundada en 1975 por el ingeniero Jaime Suarez Díaz, Geotecnología S.A.S se ubica en la ciudad de Bucaramanga, con más de cinco mil proyectos a nivel nacional.

3.1.2 Misión

Geotecnología S.A.S tiene como principal misión realizar estudios geotécnicos con la más alta calidad técnica, la mejor presentación y el mayor profesionalismo posible. Su compromiso es brindar integridad, experiencia y veracidad. (Geotecnología S.A.S, 2021).

3.2 Marco conceptual

El estudio de los suelos es de gran importancia puesto que, en contexto de la ingeniería, son los encargados de darle apoyo a las estructuras que se cimientan sobre ellos. Caracterizar de forma mecánica, hidráulica y química los suelos y rocas permite realizar un buen diseño de cimentación, estructuras de contención y obras de tierra, que sean seguras para ser usadas (Das, 2022). Para comprender adecuadamente los conceptos relacionados con el estudio de estas características, es relevante definir los principales términos desarrollados.

3.2.1 Estudio Geotécnico

Un estudio geotécnico hace referencia a la investigación del subsuelo que, mediante la definición de las propiedades físico-mecánicas del suelo, permite determinar los parámetros para el diseño y construcción de estructuras que se encuentren en contacto con el suelo, de manera que se pueda determinar la viabilidad, asegurando el buen comportamiento de la edificación, entre otros elementos que se puedan ver afectados por el suelo. Generalmente, un estudio está compuesto por la descripción del proyecto, la información recolectada en sitio, criterios del análisis geotécnico desarrollado, además de recomendaciones para la construcción y diseño de la estructura (Guardo, 1999).

3.2.2 Ensayo de penetración estándar SPT

Es uno de los ensayos más comunes para la exploración del subsuelo debido a la facilidad de ejecución y a los bajos costos. Este método fue desarrollado por Terzaghi a finales del año 1920, sin embargo, su estandarización se dió en 1958 gracias a la Sociedad Estadounidense para pruebas y materiales ASTM (González, 1999). Consiste en el hincado de un muestreador de cuchara partida de aproximadamente 45 centímetros de largo, colocado mediante un martillo con un peso de aproximadamente 140 libras que se deja caer libremente a una altura de 76 centímetros. El objetivo de este ensayo es determinar el número de golpes, conocido como N de penetración estándar, requerido para hincar los últimos 300 milímetros del tubo. Con este valor es posible determinar el ángulo de fricción, así como la densidad relativa del suelo. (Suarez, 2009).

3.2.3 Exploración de Campo

Hace referencia a distintos métodos o ensayos que permiten determinar las principales propiedades del suelo y condiciones hidrológicas del sitio en el cual se plantea la construcción de una obra civil. Puede realizarse de forma directa, mediante pozos, ensayos de penetración estándar,

apiques, entre otros, de los cuales es posible extraer muestras alteradas e inalteradas y una visualización directa de la estratigrafía que compone el suelo (Guardo, 1999). Esta exploración puede ser ejecutada, de igual forma, mediante exploración indirecta, con ensayos de refracción sísmica, ensayo Downhole, y demás, que representan una manera rápida y económica de explorar extensas áreas, además que permiten determinar parámetros dinámicos y sísmicos del suelo.

3.2.4 Ensayo DownHole

Es un método de exploración geofísica que consiste en la transmisión de impulsos mediante un martillo que golpea sobre una platina metálica en la superficie, que, a su vez, son captados mediante un geófono ubicado a una profundidad específica en una perforación revestida con un tubo de PVC. Estos golpes se dan en sentido horizontal y vertical, de manera que se puedan captar y generar ondas primarias (P) y secundarias (S). Este ensayo sirve para determinar los módulos elásticos del suelo mediante el cálculo de las velocidades de las ondas antes mencionadas. (Geotecnología, 2021).

3.2.5 Tomografía geoeléctrica

Es un procedimiento de reconocimiento en dos o tres dimensiones, que, por medio de imágenes, proporciona las distribuciones de las resistividades del suelo, que depende de la composición del suelo, su porosidad, su contenido de agua, entre otras propiedades. Esta figura permite reconocer y asociar distintos tipos de suelo, contaminantes y otro tipo de materiales enterrados. (Molina et al., 2004). Este método consiste en hacer pasar una corriente eléctrica entre una serie de electrodos, de manera que sigan una misma alineación a una separación homogénea. A su vez, estos electrodos, también llamados geófonos, se conectan a un multicable que transmite los datos a un resistímetro, que se encarga de calcular la resistividad real y aparente del suelo. De acuerdo con la distribución de los geófonos se puede obtener una profundidad de estudio

mayor, entre los arreglos más conocidos están el Schlumberger y el Wenner (Geotecnología, 2021).

3.2.6 Análisis granulométrico

Consiste en la medición de la respectiva masa de suelo que resulta retenida en una serie de mallas de diferentes aberturas, que permite determinar el porcentaje acumulado de material que atraviesa cada tamiz. Mediante este análisis se obtiene la distribución de granos compuestos por material grueso, como gravas y arenas, y, la cantidad de material fino, puesto que para definir si se tratan de limos o arcillas es necesario llevar a cabo un análisis mediante un hidrómetro. (Das, 2022).

3.2.7 Límites de Atterberg

Compuestos por el límite líquido y plástico del suelo, estos procedimientos permiten determinar la consistencia de las partículas finas que componen el suelo. De acuerdo con el contenido de agua del material, su comportamiento se puede dividir en cuatro estados, que son líquido, plástico, semisólido y sólido. El límite líquido representa la humedad del suelo a la cual se presenta la transición de estado plástico a líquido, y, en el caso del límite plástico, el paso de un estado semisólido a plástico. (Das, 2022).

3.2.8 Estabilidad de taludes

Un talud hace referencia a cualquier superficie que represente una inclinación, respecto a la horizontal, artificial o natural, como pueden ser los terraplenes o las laderas. Por otro lado, la estabilidad significa la capacidad de un sistema o entidad de mantener su equilibrio constante en medio de cambios. Estudiar la estabilidad de un talud mediante el fenómeno de estado último o de rotura de masas permite establecer las condiciones de seguridad de operación de estas inclinaciones de tierra. (Valiente et al., 2016).

3.2.9 Factor de seguridad

Se define como la relación entre la resistencia real de un material y la tensión máxima que este debe soportar al estar en servicio, es decir, la tensión admisible. En otras palabras, este factor hace referencia a cuánto más resistente es un material de lo que normalmente debería ser para soportar una carga determinada (Mucuta-Lito, 2020). En Colombia, los factores de seguridad para determinar la estabilidad de un talud se rigen por la Norma Colombiana de Construcción Sismo-Resistente NSR-10, título H.

3.2.10 Equilibrio limite

Es un análisis que permite determinar el estado de equilibrio de una masa de material de suelo que puede o no encontrarse en un estado inestable. Este método, basado en las leyes de la estática, no tiene en cuenta las deformaciones del terreno, es decir, asume que la masa encontrada en la superficie potencial de falla se comporta de manera rígida y perfectamente plástica, por lo que es posible obtener un factor de seguridad constante sobre toda la superficie de suelo. Por otro lado, permite realizar el modelado de geometrías de alta complejidad de manera fiable y rápida, representando la superficie de rotura más probable (Curauma y Quinto, 2019).

4. Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se siguieron tres fases metodológicas, que siguen el orden típico llevado a cabo por la empresa para la ejecución de un estudio geotécnico.

4.1 Fase 1: Caracterización del subsuelo.

Esta fase fue desarrollada mediante la investigación de proyectos efectuados en zonas cercanas al sitio de ejecución del estudio para establecer la tendencia en el tipo de suelo que se

espera encontrar, la realización de ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, como ensayos de humedad, granulometría y límites de Atterberg, y, adicionalmente, mediante visitas técnicas en campo para evaluación de las condiciones del suelo. En esta fase también se desarrolla acompañamiento a la ejecución de ensayos geofísicos en los proyectos.

4.2 Fase 2: Modelos geotécnicos con base en la información obtenida.

El principal objetivo de la fase 2 consiste en determinar las propiedades del suelo, como el módulo de elasticidad, peso unitario, entre otras, que, junto al análisis de estabilidad de taludes, permite detectar posibles riesgos y brindar recomendaciones constructivas y de diseño. Este tipo de actividades se desarrollaron mediante programas especializados, como los softwares NOVO SPT, para obtener el peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción del suelo; PickWin, para el procesamiento del ensayo DownHole, que permite obtener las variables sísmicas del suelo; Slope/W, que proporciona los factores de seguridad de taludes, de manera que se determine su cumplimiento de acuerdo con la NSR-10, y, el software Res2dinvx32, para el procesamiento de la información de resistividades del suelo, obtenida a partir de las actividades realizadas en campo, de modo que se pueda obtener la tomografía geoeléctrica para realizar la respectiva interpretación.

4.3 Fase 3: Diseño de estructuras geotécnicas que evidencien los resultados previos.

A lo largo de esta fase se evidencia la información obtenida en campo, junto a su análisis, siguiendo los lineamientos establecidos en la NSR-10 para la presentación de un estudio geotécnico. Yuxtapuesto al informe, se elaboran planos con la información necesaria para la construcción de estructuras de control de riesgos. Estas estructuras se diseñan a partir de los resultados y parámetros obtenidos en la fase previa. En los cuatro meses de duración de la práctica empresarial en la empresa Geotecnología S.A.S, se participó y apoyó en la ejecución de los proyectos evidenciados en la Tabla 1.

Tabla 1*Actividades realizadas a lo largo de la práctica empresarial*

Proyecto	Descripción de actividades
Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento campo de golf y eventos Club Campestre de Bucaramanga.	<ul style="list-style-type: none"> • Visita a campo para la evaluación preliminar del suelo. • Apoyo en los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente en la descripción de las muestras, ensayos de granulometría y humedad. • Uso del <i>software</i> NOVO SPT y Excel para la correlación del número de golpes y obtención del ángulo de fricción del suelo, peso unitario y módulo de elasticidad. • Apoyo en la elaboración del informe geotécnico, concretamente en los capítulos de caracterización geotécnica del suelo y análisis de datos.
Estudio Geotécnico Proyecto Fiore 2, Barrio La Campiña, Girón.	<ul style="list-style-type: none"> • Visita a campo para la ejecución de una línea de tomografía geoelectrica. • Colaboración en el procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos para la tomografía geoelectrica, empleando el <i>software</i> Res2dinvx32. • Uso del <i>software</i> NOVO SPT y Excel para la obtención del ángulo de fricción del suelo, peso unitario y módulo de elasticidad. • Apoyo en la elaboración del informe geotécnico, específicamente en los capítulos de tomografía geoelectrica, caracterización geotécnica y análisis de datos.
Estudio Geotécnico y Diseño de cimentación del Tanque Ecodiesel, Barrancabermeja.	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo en los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente en la descripción de las muestras, ensayos de granulometría y humedad. • Colaboración en el procesamiento y cálculo de la velocidad de onda obtenidos para el ensayo sísmico DownHole, para el cual se emplean los <i>softwares</i> PickWin y PSLog. • Uso del <i>software</i> NOVO SPT y Excel para la obtención del ángulo de fricción del suelo, peso unitario y módulo de elasticidad. • Participación en la elaboración del informe geotécnico, en los capítulos de DownHole, caracterización geotécnica y análisis de datos. Además de la elaboración y diseño de planos para la cimentación propuesta.
Estudio Geotécnico Proyecto Zima, Barrio Cañaverál, Floridablanca.	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración en el procesamiento y cálculo de la velocidad de onda obtenida para el ensayo sísmico DownHole, para el cual se emplean los <i>softwares</i> PickWin y PSLog.

Proyecto	Descripción de actividades
<p>Estudio Geotécnico Proyecto Calle 4#4-37, Floridablanca.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración en el procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos para la tomografía geoeléctrica, empleando el <i>software</i> Res2dinvx32. • Uso del <i>software</i> NOVO SPT y Excel para la obtención del ángulo de fricción del suelo, peso unitario y módulo de elasticidad. • Apoyo en la elaboración del informe geotécnico, concretamente en los capítulos de caracterización geotécnica del suelo, tomografía geoeléctrica, ensayo Downhole y análisis de datos. • Apoyo en los laboratorios de mecánica de suelos, específicamente en la descripción de las muestras, ensayos de granulometría y humedad. • Colaboración en el procesamiento y cálculo de la velocidad de onda obtenidos para el ensayo sísmico DownHole, para el cual se emplean los <i>softwares</i> PickWin y PSLog. • Uso del <i>software</i> NOVO SPT y Excel para la obtención del ángulo de fricción del suelo, peso unitario y módulo de elasticidad. • Apoyo en la elaboración del informe geotécnico, concretamente en los capítulos de caracterización geotécnica del suelo, DownHole y análisis de datos.
<p>Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración en el procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos para las trece tomografías geoeléctricas realizadas, empleando el <i>software</i> Res2dinvx32. • Uso del <i>software</i> SLOPE/W para el análisis de la estabilidad de siete taludes. • Apoyo en la elaboración del informe de monitoreo, específicamente en los capítulos de tomografías geoeléctricas y análisis de estabilidad.
<p>Diseño de Estructuras de Contención Proyecto Sky Tower, Bucaramanga</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo en el cálculo de cantidades de obra para las estructuras de contención de excavación planteadas. • Colaboración en la elaboración de planos.
<p>Diseño de Estructuras de Contención Proyecto Fontana de La Sierra, Bucaramanga</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo en el cálculo de cantidades de obra para las estructuras de contención de excavación planteadas. • Colaboración en la elaboración de planos.

5. Resultados

En el transcurso de esta sección se evidencian las actividades y los resultados obtenidos para los proyectos enunciados anteriormente. Estos corresponden a los proyectos donde hubo una mayor participación durante el desarrollo de la práctica empresarial.

5.1 Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento campo de golf Club Campestre

El proyecto está compuesto por una estructura de un solo nivel correspondiente a la zona de mantenimiento del campo de golf y una edificación de tres niveles con un semisótano, en un área aproximada de 3400 m², que, de acuerdo con la tabla H.3.1-1 de la NSR-10, corresponden a dos edificaciones de categoría baja. Por lo tanto, se ejecutaron 4 sondeos a profundidades variables de 2,0 a 5,0 metros.

Se participó principalmente en los laboratorios de mecánica del suelo y el uso del software NOVO SPT para la obtención de parámetros del suelo.

Figura 1

Localización de sondeos del proyecto Club Campestre



Nota. Localización de sondeos. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 12), por Geotecnología, 2024.

5.1.1 Seguimiento a los ensayos y resultados obtenidos en laboratorio

Las muestras recuperadas en campo son trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos de Geotecnología, donde se describen las muestras de manera visual, y posteriormente, se seleccionan aquellas con las características y peso adecuado para realizar los respectivos ensayos.

Para el proyecto de interés se realizaron los ensayos de laboratorio evidenciados en la Tabla 2.

Tabla 2

Ensayos de laboratorio proyecto Club Campestre

Ensayo	Norma	No. De ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123	6
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122	6
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4218 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E 126	6
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	6

Nota. Ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 27), por Geotecnología, 2024.

Para la obtención de los parámetros del suelo, es de gran importancia obtener los resultados de laboratorio. A continuación, en la Tabla 3 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos.

Tabla 3

Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Club Campestre

Ensayos de Clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	%I.P.	Clasif S.U.C.S.
1	2,0	20	46,29	50	25	25	SC
2	1,0	15	17,63	34	20	14	SC
3	2,0	9	32,47	32	19	13	SC

Ensayos de Clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	%I.P.	Clasif S.U.C.S.
3	5,0	13	28,13	25	15	10	SC
4	1,0	18	39,97	38	24	14	SC
4	3,0	21	32,60	47	28	19	SM

Nota. Ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 28), por Geotecnología, 2024.

5.1.2 Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)

Para obtener los parámetros de diseño a emplear para la zona estudiada, se emplea el software NOVO SPT, los resultados obtenidos del ensayo de penetración estándar (SPT) y los laboratorios de mecánica de suelos. A continuación, se presenta a detalle la obtención del perfil geotécnico y las propiedades del suelo a partir de la correlación con el ensayo SPT realizada por el software, para el sondeo 3.









5.1.2.1 Descripción del perfil geotécnico típico

Mediante los ensayos de laboratorio y la descripción visual realizada una vez se da la recepción de muestras, se obtiene un perfil con las características del sondeo más representativo realizado en el proyecto. A continuación, en la Tabla 4 se presenta el perfil geotécnico.

Tabla 4

Perfil representativo detallado de la zona de estudio – Sondeo 3

Prof. (m)	N Diseño	Muestra	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
0,0 a 0,5	5		RELLENO compuesto por arenas arcillosas, no coherentes, de consistencia suelta, húmedas, algo permeables, con presencia de raíces, sin olor específico, de color marrón.	SC
0,5 a 1,0	10			

Prof. (m)	N Diseño	Muestra	Descripción	Clasificación S.U.C.S.
1,0 a 1,5	11		RELLENO compuesto por arenas arcillosas, no coherentes, de consistencia medio densa, húmedas, algo permeables, sin olor específico, de color marrón pálido.	SC
1,5 a 2,0	12			
2,0 a 2,5	20		SUELO ALUVIAL compuesto por arenas arcillosas, no coherentes, de consistencia medio densa, húmedas, algo permeables, con presencia de gravas finas, sin olor específico, de color marrón claro.	SC
2,5 a 3,0	23		Flujo de Escombros (QFe).	
3,0 a 3,5	15		SUELO ALUVIAL compuesto por arenas arcillosas, no coherentes, de consistencia densa, húmedas, algo permeables, sin olor específico, de color amarillo rojizo, marrón rojizo claro.	SC
3,5 a 4,0	37		Flujo de Escombros (QFe).	
4,0 a 4,5	18		SUELO ALUVIAL compuesto por arenas arcillosas, no coherentes, de consistencia densa, húmedas, algo permeables, con presencia de gravas finas, sin olor específico, de color marrón amarillento claro.	SC
4,5 a 5,0	60		Flujo de Escombros (QFe).	

Nota. Perfil representativo detallado de la zona de estudio. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 26), por Geotecnología, 2024.

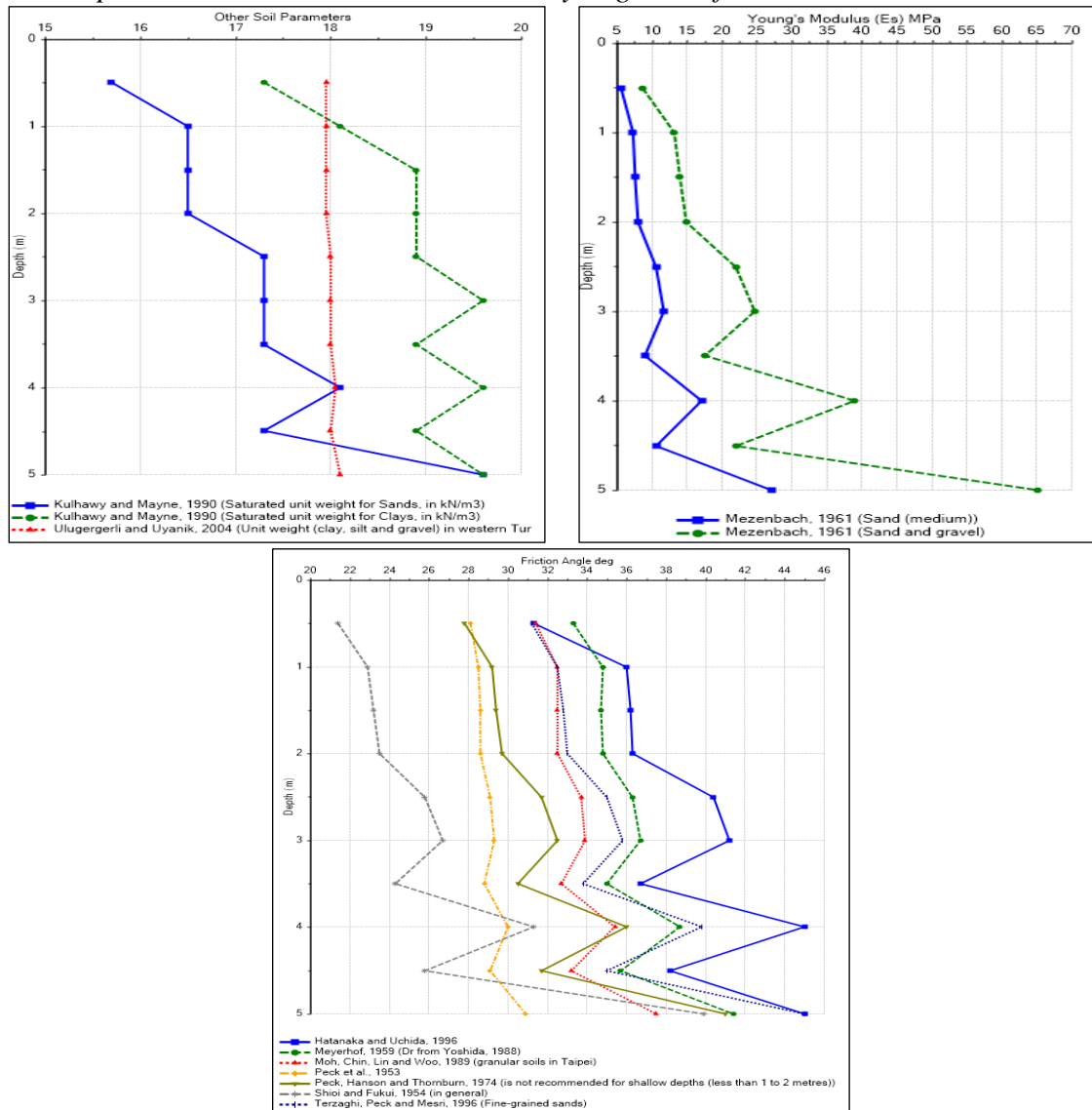
5.1.2.2 Parámetros del suelo a partir del software NOVO SPT

Para la ejecución de este proceso, se realiza la correlación de peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción. Para el caso del primer parámetro se usan las formulaciones para arcillas y arenas saturadas (Kulhawy & Mayne, 1990) y para arcillas, limos y gravas (Ulugergerli & Uyanik, 2004); para el módulo de elasticidad se emplean las expresiones de (Mezenbach, 1961) para arenas medias y para gravas; y para la tercera correlación se emplean siete formulaciones,

entre las cuales se encuentran (Hatanaka & Uchida, 1996), (Meyerhof, 1959), (Moh, Chin, Lin & Woo, 1989), (Peck et al., 1953), (Peck, Hanson & Thornburn, 1974), (Shioi & Fukui, 1954) y (Terzaghi, Peck Mesri, 1996). A continuación, se evidencia en la Figura 2 los resultados obtenidos de las correlaciones para el sondeo 3.

Figura 2

Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción



Nota. Peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 34), por Geotecnología, 2024.

Una vez se obtienen los resultados en el software NOVO SPT, se trasladan a una hoja de Excel, donde se determina un valor promedio de cada parámetro, que permita trabajar con mayor facilidad en el cálculo de asentamientos del suelo. Para cada estrato de suelo, se realiza el cálculo de dichos parámetros, estos estratos son seleccionados de acuerdo con los resultados del Ensayo de Penetración Estándar SPT y a la clasificación de suelo obtenida en el laboratorio.

Es importante aclarar que los valores o parámetros obtenidos a partir del software son una referencia, es decir, pueden modificarse de acuerdo con los resultados de laboratorio y a los conocimientos previos, adquiridos a partir de estudios anteriores realizados en la zona o literatura existente referente a las propiedades del suelo. En la Tabla 5 se muestran los parámetros de diseño para cada estrato de suelo del sondeo 3.

Tabla 5

Parámetros de diseño recomendados Proyecto Club Campestre

Prof. (m)	Peso Unitario (kN/m³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m²)
0,0 a 2,0	17,52	15	30	5
2,0 a 4,5	18,22	30	32	10
4,5 a 5,0	19,10	70	35	20

Nota. Parámetros de diseño recomendados. Tomado de *Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento Campo de Golf* (p. 36) por Geotecnología, 2024.

Estos parámetros fueron obtenidos a partir de promediar los resultados obtenidos en las correlaciones del software NOVO SPT evidenciadas anteriormente, y, en el caso de la cohesión, de los resultados de ensayos de laboratorio ejecutados tanto en el presente proyecto como en estudios cercanos a la zona en estudio.

5.2 Estudio Geotécnico Proyecto Fiore 2, barrio La Campiña, Girón

El proyecto está compuesto por tres edificaciones de apartamentos de aproximadamente 16 niveles, sin sótanos, y, una edificación de parqueaderos de 4 niveles, incluyendo 3 sótanos, que, de acuerdo con la tabla H.3.1-1 de la NSR-10, corresponden a tres estructuras categoría alta y una categoría media.

A lo largo de este proyecto, se brindó apoyo principalmente en la ejecución en campo y procesamiento de una línea de tomografía geoelectrica, y, en el uso del software NOVO SPT para la obtención de parámetros del suelo.

5.2.1 Ensayo de tomografía geoelectrica

Este ensayo permite determinar los diferentes valores de resistividad eléctrica del suelo, y, a partir de estos, elaborar un perfil geotécnico. El objetivo de ejecución del ensayo para el proyecto evidenciado es conocer la presencia de una posible fractura geológica que pueda afectar las estructuras planteadas, por lo tanto, los resultados obtenidos son comparados con una línea de tomografía geoelectrica realizada en una zona cercana al lote en estudio.

Figura 3

Localización de las líneas de tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2



Nota. Localización de líneas de tomografía en Fiore 2 - 2024 y en La Marquesa -2022. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 34), por Geotecnología, 2024.

Para la ejecución de este ensayo se determinan tres estaciones de toma de datos, de manera que se puedan determinar las resistividades a lo largo de la línea. Este proceso se realiza mediante un Terrameter, que almacena los datos de campo para su procesamiento posteriormente. En el caso en estudio, se emplea un arreglo de longitud total de 100 metros, conformado por 81 electrodos espaciados cada 1,25 metros. En la Figura 4 se pueden observar las estaciones de toma de datos.

Figura 4

Estaciones de toma de datos tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2



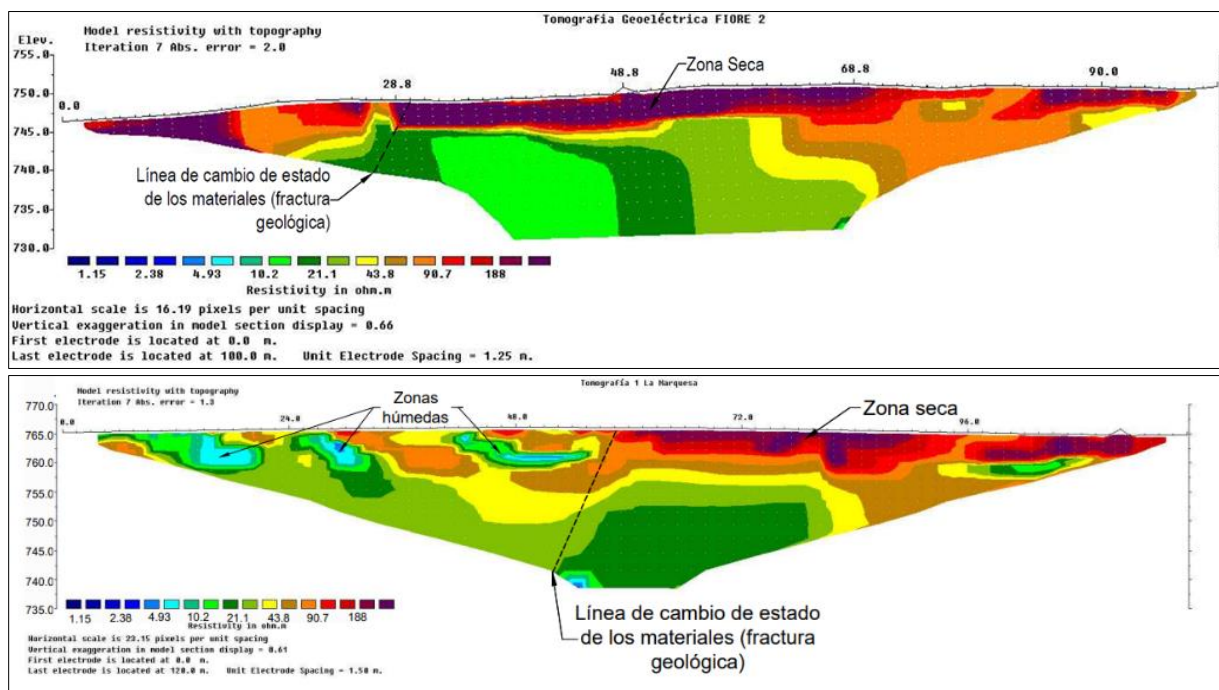
Nota. Descripción del arreglo línea de tomografía geoelectrica. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 35), por Geotecnología, 2024.

Del procesamiento de la línea de tomografía se obtienen tres pseudosecciones que indican la resistividad aparente media del terreno, la resistividad calculada y ajustada a los datos de campo,

y la resistividad del terreno a partir de las dos secciones anteriores mediante el algoritmo del modelo inverso por mínimos cuadrados. La tomografía ilustrada en la Figura 5 muestra la resistividad del terreno relacionada a la topografía de la misma, junto a la interpretación de los resultados obtenidos. Así mismo, se observa la tomografía realizada en el proyecto La Marquesa, con la cual se realiza una comparación de los resultados.

Figura 5

Interpretación tomografías geoelectricas proyecto Fiore 2



Nota. Interpretación tomografía geoelectrica – marzo 2024 y junio 2022. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 36), por Geotecnología, 2024.

En la tomografía realizada se observa en la zona occidental del lote una verticalización o cambio de estado de los materiales, que, al ser comparada con la línea de tomografía geoelectrica realizada para el proyecto La Marquesa en 2022, corresponde a una fractura geológica que pasa a través de las dos zonas estudiadas, como se puede evidenciar en la Figura 6. Esta fractura se debe

a un levantamiento por acción de las fallas del Suárez en los depósitos del Segmento Órganos Superior (Qbos).

Figura 6

Comparación de las líneas de tomografía geoelectrica proyecto Fiore 2



Nota. Resultado de líneas de tomografía geoelectrica en Fiore 2 - 2024 y en La Marquesa -2022. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 37), por Geotecnología, 2024.

5.2.1 Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)

Para esta sección del estudio se emplea el software NOVO SPT. A continuación, se puede observar los resultados obtenidos del ensayo de penetración estándar para los sondeos realizados en el lote en estudio, y, las propiedades del suelo a partir de la correlación con el ensayo SPT realizada por el software, para el sondeo 5.

Tabla 6

Resultados del ensayo de penetración estándar SPT Proyecto Fiore 2

Prof. (m)	Sondeo												
	SPT – N Golpes/Pie												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,0 a 0,5	18	10R	17	20	46	11	27	34	124R	30	39	16	38
0,5 a 1,0	40	RT	20	45	69	6	87	25		43	105R	16	30
1,0 a 1,5	RT	RT	9	27	38	12		32		60		13	76
1,5 a 2,0	RT	RT	8	43	26	36		38		54		11	
2,0 a 2,5	RT	89	41	32	9			38		20		26	
2,5 a 3,0	RT	50	RT	51	14			51		47		51	
3,0 a 3,5	RT	37	RT	42	21			53		66		46	
3,5 a 4,0	RT	62	RT	45	RT					58		32	
4,0 a 4,5	RT	RT	RT	26	RT					28		40	
4,5 a 5,0	RT	RT	RT	34	RT					26		74	
5,0 a 5,5	25	RT	35	25	RT					32		34	
5,5 a 6,0	RT	RT	80	34	RT					41		41	
6,0 a 6,5	RT	RT	RT	18R	RT					54		52	
6,5 a 7,0	RT	RT	RT	RT	RT					54		60	
7,0 a 7,5	RT	RT	RT	RT	RT								
7,5 a 8,0	RT	RT	RT	RT	RT								
8,0 a 8,5	RT	RT	45	RT	RT								
8,5 a 9,0	RT	RT	62R	RT	RT								
9,0 a 9,5	RT	RT	RT	RT	RT								
9,5 a 10,0	43R	RT	RT	20	25								
10,0 a 10,5	RT	RT	RT	47	44								
10,5 a 11,0	RT	22	RT	29	31								
11,0 a 11,5	RT	31	RT	25	38								
11,5 a 12,0	RT	20	RT	RT	37								
12,0 a 12,5	48	30	55	40	34								
12,5 a 13,0	84	RT	98	46	47								
13,0 a 13,5	47	RT	48	31	43								
13,5 a 14,0	97	RT	95	67	46								
14,0 a 14,5	116	RT	69	49	63								
14,5 a 15,0	62R	52R	53R	41	50								

Nota. Resultados de los ensayos SPT, donde RT es rotación y R es rechazo. Tomado de *Estudio*

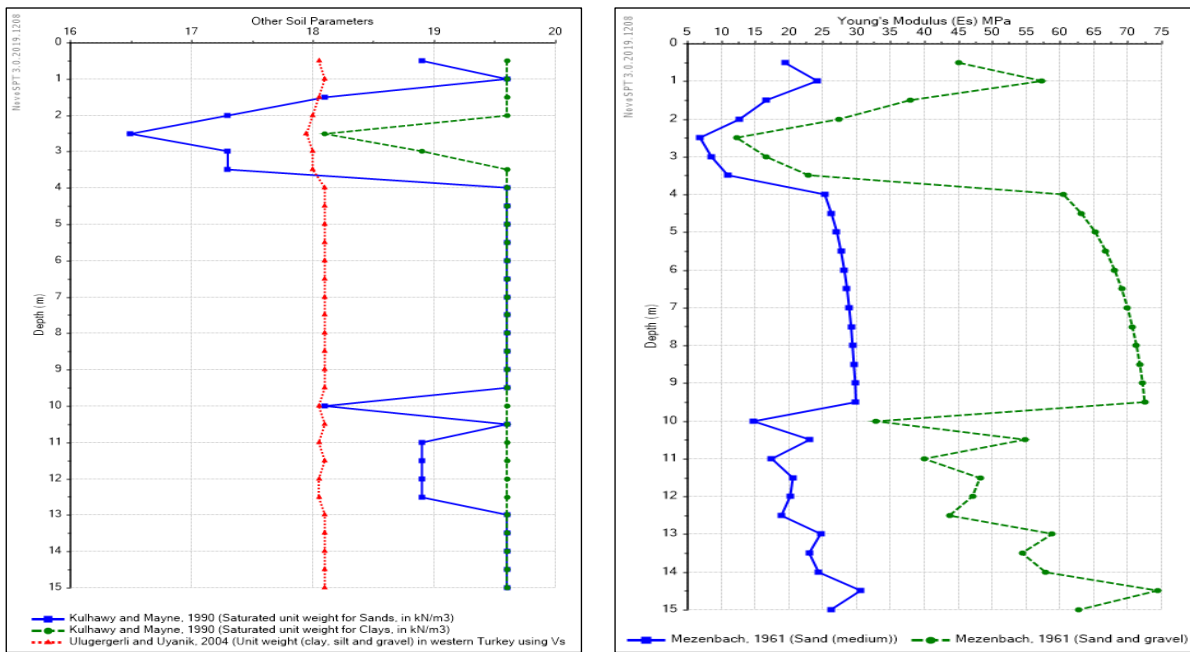
Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón (p. 27), por Geotecnología, 2024.

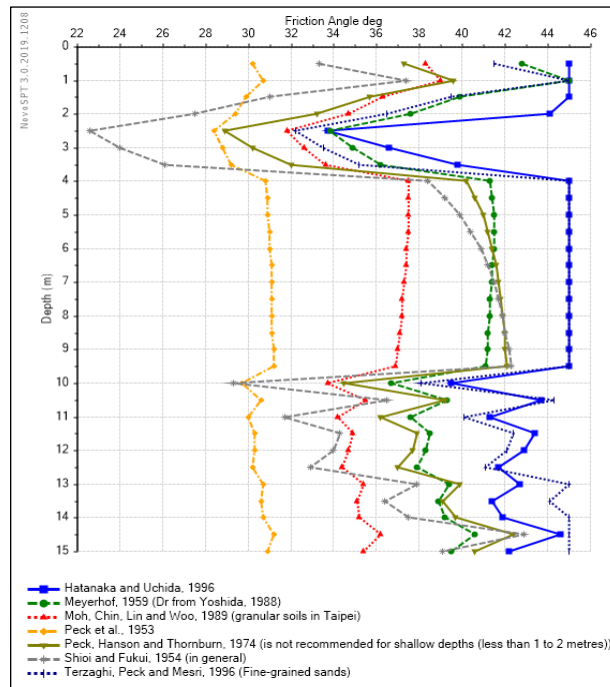
Es de importancia aclarar que, para la correlación de los valores obtenidos anteriormente y el software NOVO SPT se toma como límite un número de golpes máximo de 60, puesto que le

empresa Geotecnología considera que es un valor conservador y confiable para realizar los análisis. En la Figura 7 se observan los resultados del software NOVO SPT.

Figura 7

Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción





Nota. Peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 45), por Geotecnología, 2024.

A partir de las gráficas observadas anteriormente y de los datos arrojados por el software, se determinan los parámetros de diseño a utilizar, de acuerdo con la estratigrafía del suelo. En la Tabla 7 se observa el resumen de los parámetros.

Tabla 7

Parámetros de diseño recomendados Proyecto Fiore 2

Prof. (m)	Peso Unitario (kN/m ³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m ²)
0,0 a 3,5	18,39	35	32	5
3,5 a 15,0	19,03	65	36	20

Nota. Parámetros de diseño recomendados. Tomado de *Estudio Geotécnico Fiore 2 Lote ET3, Girón* (p. 46), por Geotecnología, 2024.

Con estos valores es posible calcular la capacidad de soporte mediante el criterio de condición de rotura, empleando el software LOADPCAP, y, los asentamientos de la estructura, mediante el software Plaxis 3D Foundation. Generalmente, estos procesos son ejecutados por el director y los ingenieros encargados del proyecto.

5.3 Estudio y Diseño de Cimentación Proyecto Tanque Ecodiesel

Este proyecto está compuesto por un Tanque de 1500 toneladas, de 15,5 metros de diámetro y una altura de 12,3 metros. Se ubica en la Refinería de Ecopetrol, en Barrancabermeja, y, de acuerdo con la norma NSR-10, se clasifica como una estructura de categoría baja.

5.3.1 Ensayos de laboratorio Proyecto Tanque Ecodiesel

Para el proyecto en cuestión, se ejecutaron los ensayos de laboratorio evidenciados en la Tabla 8.

Tabla 8

Ensayos de laboratorio proyecto Tanque Ecodiesel

Ensayo	Norma	No. De ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123	9
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122	9
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4218 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E 126	9
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	9
Peso Unitario	ASTM D 2937-71	4

Nota. Ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel* (p. 20), por Geotecnología, 2024.

Este tipo de ensayos son de gran importancia para el cálculo de los parámetros y propiedades de diseño. Estos se realizan mediante la toma de muestras en campo y la ejecución de ensayos de granulometría, límites de Atterberg, y la posterior clasificación de acuerdo a la carta de plasticidad de Casagrande y a la clasificación S.U.C.S. Para los ensayos de peso unitario se determinan mediante el cálculo del volumen de la probeta y el contenido de agua del suelo.

Tabla 9

Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Tanque Ecodiesel

Ensayos de Clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	%I.P.	Clasif S.U.C.S.
1	6,0	18	5,52	NP	NP	NP	SP-SC
1	8,0	30	64,31	30	19	11	CL
1	15,0	21	7,39	NP	NP	NP	SW-SC
2	5,0	17	5,8	NP	NP	NP	SP-SC
2	9,0	22	32,87	NP	NP	NP	SC
2	15,0	18	1,29	NP	NP	NP	SP
3	1,0	12	35,03	32	18	14	SC
3	8,0	29	59,66	33	18	15	CL
3	10,0	24	10,54	NP	NP	NP	SW-SC
Ensayo de Peso Unitario							
Sondeo	Profundidad (m)		Peso Unitario Seco (gr/cm³)				
1	1,0		1,785				
2	0,5		1,766				
2	2,0		1,781				
2	8,0		1,685				

Nota. Resumen de ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel* (p. 20), por Geotecnología, 2024.

5.3.2 Procesamiento del ensayo sísmico DownHole

Para el proyecto se realizó un ensayo de onda sísmica DownHole para determinar los valores de velocidad de ondas primarias V_p y de ondas secundarias V_s .

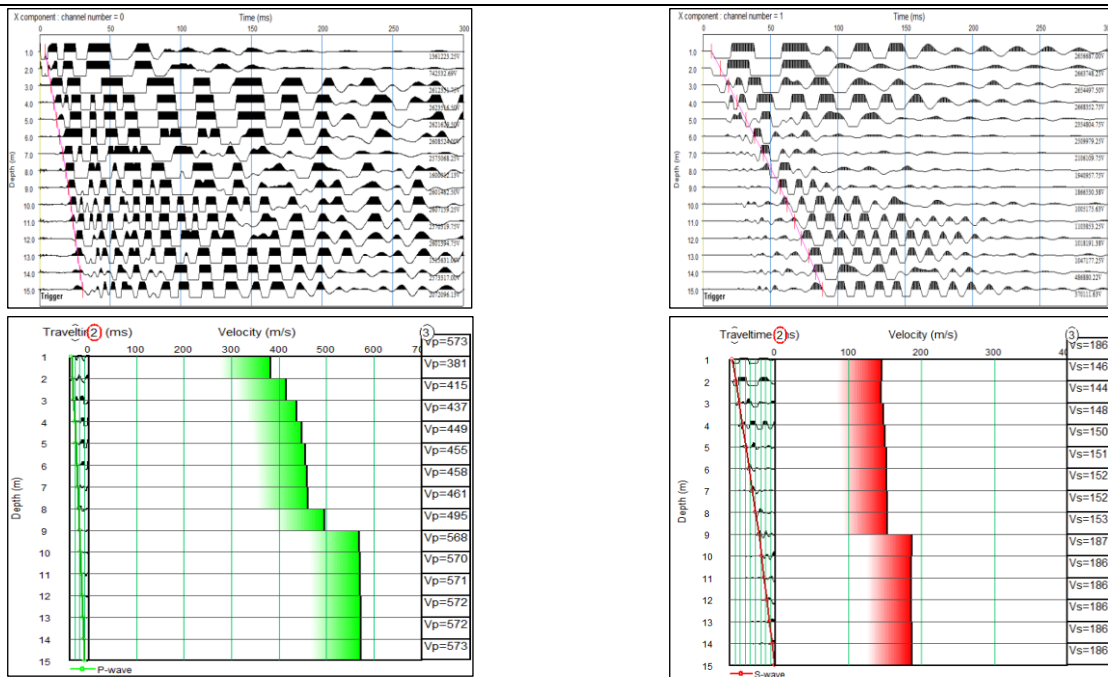
Para la realización de este ensayo se tomaron mediciones cada metro a lo largo del perfil del sondeo, que tenía una profundidad de 15 metros. En la Figura 8 se puede observar el resultado del picado y velocidad de onda realizada para el sondeo 1.

Figura 8

Resultados del ensayo DownHole proyecto Tanque Ecodiesel

Velocidad de los arribos de las ondas “P”

Velocidad de los arribos de las ondas “S”



Nota. Adaptado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel* (p. 27), por Geotecnología, 2024.

Una vez procesados los datos de velocidad, se obtiene un promedio, de manera que se pueda clasificar el tipo de suelo de acuerdo con la NSR-10. Para el caso estudiado la velocidad promedio de onda “S” para el sondeo 1, de profundidad 15 metros, es de 165,21 m/s, que, de acuerdo con la norma, clasifica la zona en estudio con un perfil de suelo E.

5.3.3 Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)

A continuación, se presentan los parámetros de diseño calculados a partir del software.

Tabla 10*Parámetros de diseño recomendados Proyecto Tanque Ecodiesel*

Prof. (m)	Peso Unitario (kN/m³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m²)
0,0 a 1,0	16,68	5,00	27,0	1,0
1,0 a 9,0	17,38	7,87	28,0	2,0
9,0 a 15,0	18,20	13,76	31,0	5,0

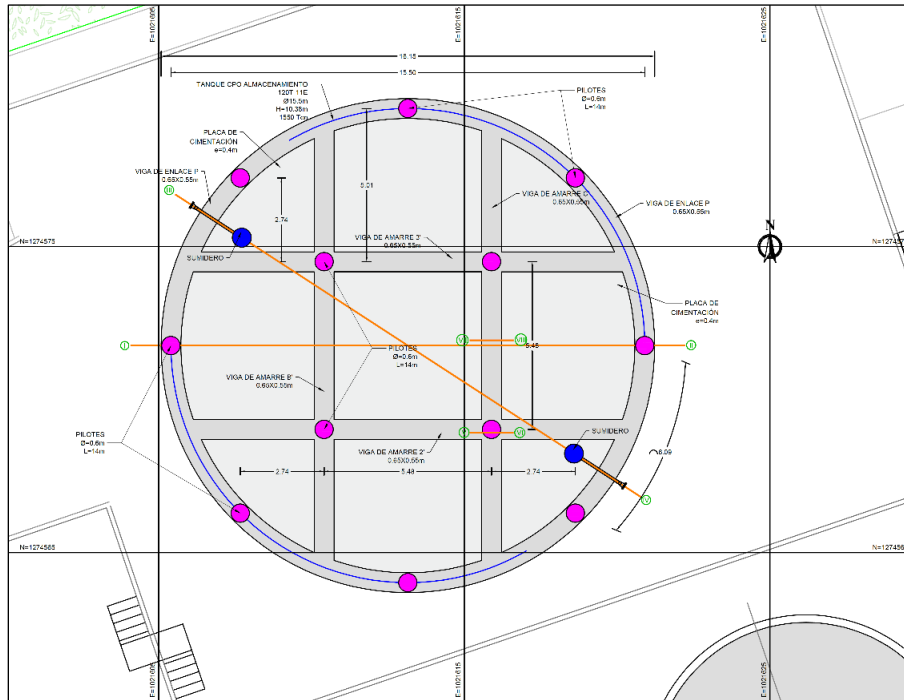
Nota. Parámetros de diseño recomendados. Tomado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel* (p. 37), por Geotecnología, 2024.

5.3.4 Diseño de la cimentación del Tanque

Debido al perfil de suelo obtenido por medio del ensayo de DownHole, y a los resultados del ensayo de penetración estándar, donde se evidencia un suelo con poca capacidad de soporte, con valores de N de penetración entre 1 y 25 aproximadamente, y asentamientos diferenciales del tanque de 8.8 centímetros aproximadamente, es decir, asentamientos significativos que pueden poner en riesgo la estabilidad del tanque, por lo tanto, luego de analizar alternativas con micropilotes y pilotes, y, de acuerdo a la decisión tomada por el cliente, se plantea cimentar el tanque sobre un sistema de vigas con 12 pilotes de diámetro 0.6 metros y profundidad 14 metros, junto a una placa de cimentación, lo que implica asentamientos diferenciales de 3.2 centímetros en la estructura. En la Figura 9, se observa la estructura de fundación planteada para el proyecto.

Figura 9

Localización general de la cimentación proyecto Tanque Ecodiesel



Nota. Localización general. Tomado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel*, por Geotecnología, 2024.

Para la ejecución de este diseño, la principal función fue la elaboración de planos y el cálculo de cantidades de obra. A continuación, se presentan las cantidades de obra calculadas para la construcción de la cimentación planteada.

Tabla 11

Cantidades de obra para la cimentación del proyecto Tanque Ecodiesel

Descripción	Unidad	Cantidad
Pilotes		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	2735,06
Concreto tipo Tremie de mínimo 3000 PSI	M3	45,63
Placa de Cimentación		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	6007,76
Concreto de 4000 PSI	M3	55,59
Vigas de Amarre		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	6190,98
Concreto de 4000 PSI	M3	36,11

Nota. Cantidades de obra. Tomado de *Estudio y Diseño Geotécnico Tanque Ecodiesel*, por Geotecnología, 2024.

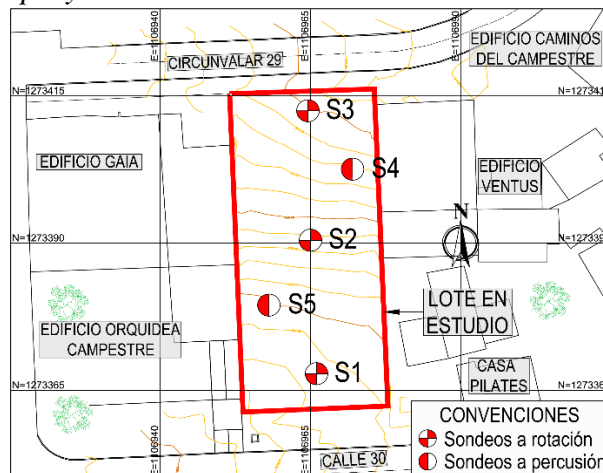
Adicionalmente a las cantidades de obra, en el Apéndice A del presente documento se evidencian los planos realizados para el proyecto.

5.4 Estudio Geotécnico Proyecto Zima, Cañaveral

Este proyecto se compone por una edificación de vivienda de 31 niveles, incluyendo tres sótanos, en un área aproximada de 1300 m², que, de acuerdo con la tabla H.3.1-1 de la NSR-10, corresponde a una edificación de categoría especial. Para este caso, se realizaron 3 sondeos a 20,0 metros de profundidad y 2 sondeos a 6,0 metros.

Figura 10

Planta arquitectónica del proyecto Zima



Nota. Planta arquitectónica del proyecto. Tomado de *Estudio Geotécnico Zima Cañaveral* (p. 14), por Geotecnología, 2024.

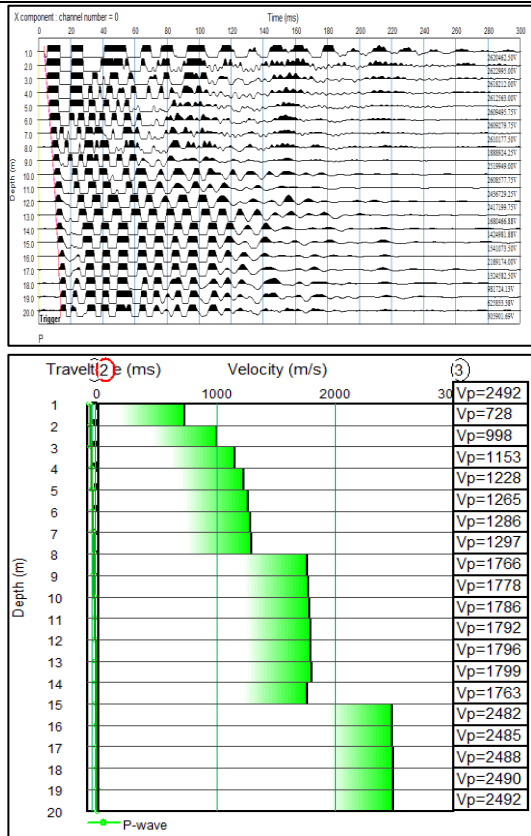
5.4.1 Procesamiento del ensayo sísmico de onda DownHole

Para la realización de este ensayo se tomaron mediciones cada metro a lo largo del perfil del sondeo, que tenía una profundidad de 20 metros. En la Figura 11 se puede observar el resultado del picado y velocidad de onda realizada para el sondeo 1.

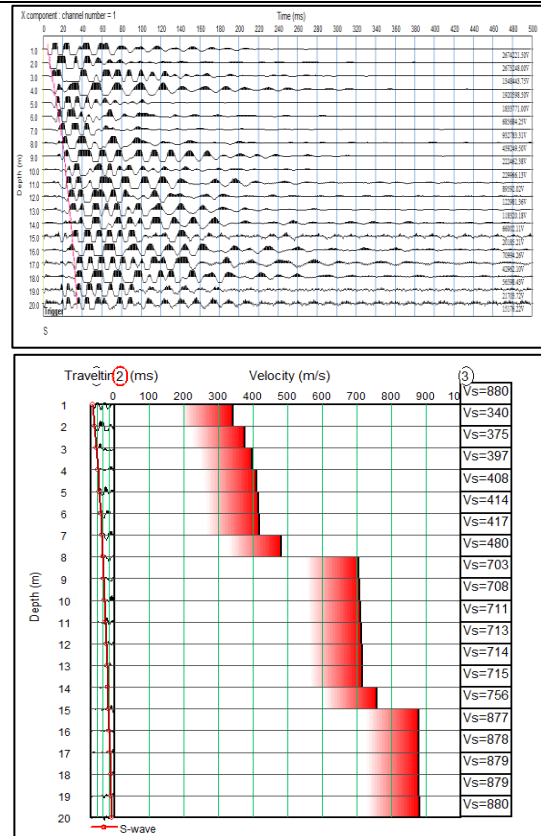
Figura 11

Resultados del ensayo DownHole proyecto Zima

Velocidad de los arribos de las ondas “P”



Velocidad de los arribos de las ondas “S”



Nota. Adaptado de Estudio Geotécnico Zima Cañaverl (p. 14), por Geotecnología, 2024.

Para el caso particular de este proyecto se presentaba un estrato de suelo de consistencia media y de 8,0 metros de profundidad, y, un segundo estrato de roca de 12,0 metros de profundidad, por lo tanto, se obtiene que la velocidad promedio de onda “S” para el sondeo 1 es

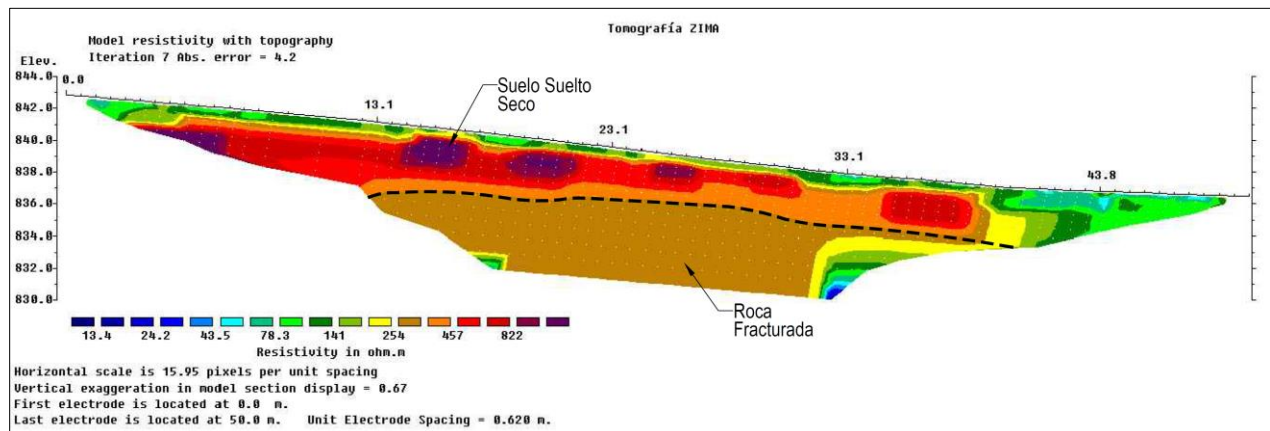
de 404,43 m/s y 784,42 m/s respectivamente. Es decir, para el estrato de suelo donde se plantea la cimentación de la estructura, según la NSR-10, se presenta un perfil de suelo tipo B.

5.4.2 Ensayo de tomografía geoelectrica

En este proyecto, se emplea un arreglo lineal de longitud total de 50 metros, con 81 electrodos espaciados de manera uniforme cada 0,625 metros. El objetivo de este ensayo es determinar la presencia de roca en la zona de estudio, para plantear recomendaciones adecuadas para la cimentación de la estructura. A continuación, en la Figura 12, se observa el resultado e interpretación de la tomografía geoelectrica.

Figura 12

Interpretación tomografía geoelectrica proyecto Zima



Nota. Interpretación de tomografía geoelectrica. Tomado de *Estudio Geotécnico Zima Cañaveral* (p. 42), por Geotecnología, 2024.

A partir de esta tomografía se puede decir que subsuperficialmente se detecta la presencia de suelo suelto seco, y, a una mayor profundidad aparece roca fracturada.

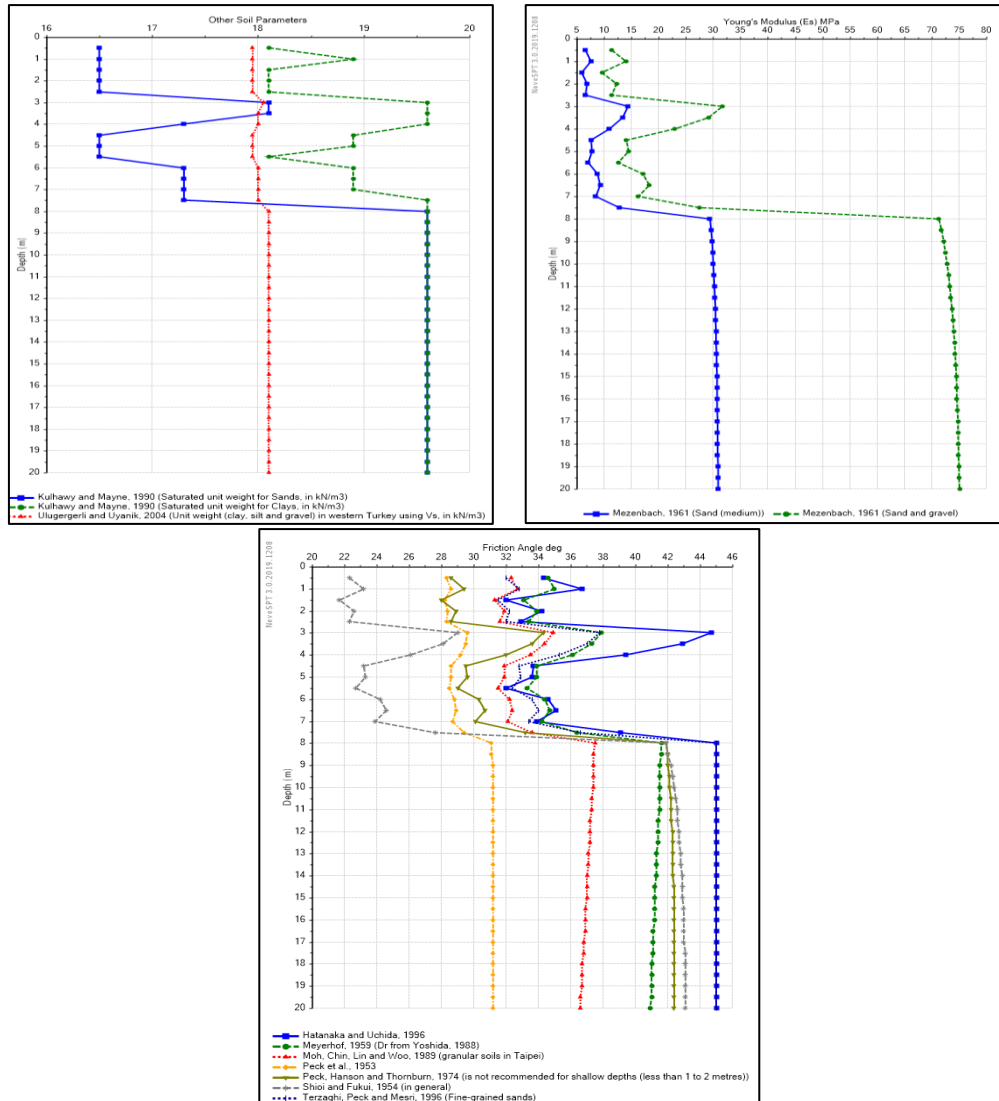
5.4.3 Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)

Para obtener los parámetros de diseño del suelo se emplean los resultados del ensayo de penetración estándar SPT y los resultados de laboratorio para el sondeo 1. En la Figura 13, se

pueden observar las gráficas obtenidas mediante el software NOVO SPT para el peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción.

Figura 13

Resultados peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción



Nota. Peso unitario, módulo de elasticidad y ángulo de fricción. Tomado de *Estudio Geotécnico Zima Cañaverál* (p. 49), por Geotecnología, 2024.

De acuerdo con los resultados del software obtenidos a partir de las correlaciones de (Kulhawy & Mayne, 1990), (Mezenbach, 1961), (Terzaghi, Peck Mesri, 1996), entre otros autores,

la información obtenida en laboratorio, a partir del ensayo de corte directo, y, tomando como referencia estudios realizados alrededor de la zona de estudio, se obtienen los siguientes parámetros de diseño recomendados.

Tabla 12

Parámetros de diseño recomendados Proyecto Zima

Prof. (m)	Peso Unitario (kN/m³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m²)
0,0 a 2,0	17,58	30	28,0	5
2,0 a 7,5	18,05	50	30,0	10
7,5 a 11,0	19,10	120	40,0	25
11,0 a 20,0	26,00	400	45,0	12000

Nota. Parámetros de diseño recomendados. Tomado de *Estudio Geotécnico Zima Cañaverál* (p. 52), por Geotecnología, 2024.

De acuerdo con los parámetros de diseño y el tipo de estructura a construir, el director del proyecto propone como tipo de cimentación una placa apoyada sobre caissons empotrados en el estrato de roca encontrado. A partir de ahí, el ingeniero calcula las estimaciones de asentamientos esperados teniendo en cuenta la cimentación a emplear.

5.5 Estudio Geotécnico Proyecto Calle 4#4-37 Floridablanca

Este proyecto está compuesto por dos edificaciones de vivienda de 19 y 18 niveles respectivamente, sin sótanos, y una edificación de parqueaderos de hasta 4 sótanos. El área aproximada del lote es de 4356 m². Por lo que, de acuerdo con la NSR-10, el proyecto cuenta con dos edificaciones de categoría alta y una edificación categoría media.

Para la ejecución de este proyecto se brindó apoyo en la ejecución de los ensayos de laboratorio, en el procesamiento del ensayo sísmico DownHole y el uso del software NOVO SPT para la obtención de los parámetros de diseño.

5.5.1 Ensayos de laboratorio Proyecto Calle 4#4-37

Las muestras recuperadas en campo son trasladadas al laboratorio de mecánica de suelos de Geotecnología, donde se describen las muestras de manera visual, y posteriormente, se seleccionan aquellas con las características y peso adecuado para realizar los respectivos ensayos.

Para el proyecto de interés se realizaron los ensayos de laboratorio evidenciados en la Tabla 13.

Tabla 13

Ensayos de laboratorio proyecto Calle 4#4-37

Ensayo	Norma	No. De ensayos
Análisis granulométrico por tamizado	ASTM D422-63 – AASHTO T88 I.N.V.E. 123	9
Determinación en laboratorio del contenido de agua (humedad) en suelo, roca y mezcla de suelo-agregado	ASTM D 2216 I.N.V.E. 122	9
Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de los suelos	ASTM D 4218 – AASHTO T 89-90 I.N.V.E 126	9
Clasificación de suelos	ASTM D 2487	9

Nota. Ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio Geotécnico Calle 4#4-37 Floridablanca* (p. 21), por Geotecnología, 2024.

Para la obtención de los parámetros del suelo, es de gran importancia obtener los resultados de laboratorio. A continuación, en la se presentan los resultados obtenidos en los ensayos.

Tabla 14

Resumen de ensayos de laboratorio proyecto Calle 4#4-37

Ensayos de Clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	%I.P.	Clasif S.U.C.S.
1	1,0	18	53,65	60	33	27	MH
1	3,0	17	55,99	42	24	18	CL
1	6,0	16	35,61	36	24	12	SC

Ensayos de Clasificación							
Sondeo	Prof. (m)	W%	%Finos	%L.L.	%L.P.	%I.P.	Clasif S.U.C.S.
2	1,0	14	28,36	34	22	12	SC
2	4,0	16	48,48	39	25	14	SC
2	9,0	15	26,69	33	23	10	SC
3	2,5	20	56,59	55	28	27	CH
3	4,5	16	37,44	39	25	14	SC
3	7,5	15	30,66	36	21	15	SC

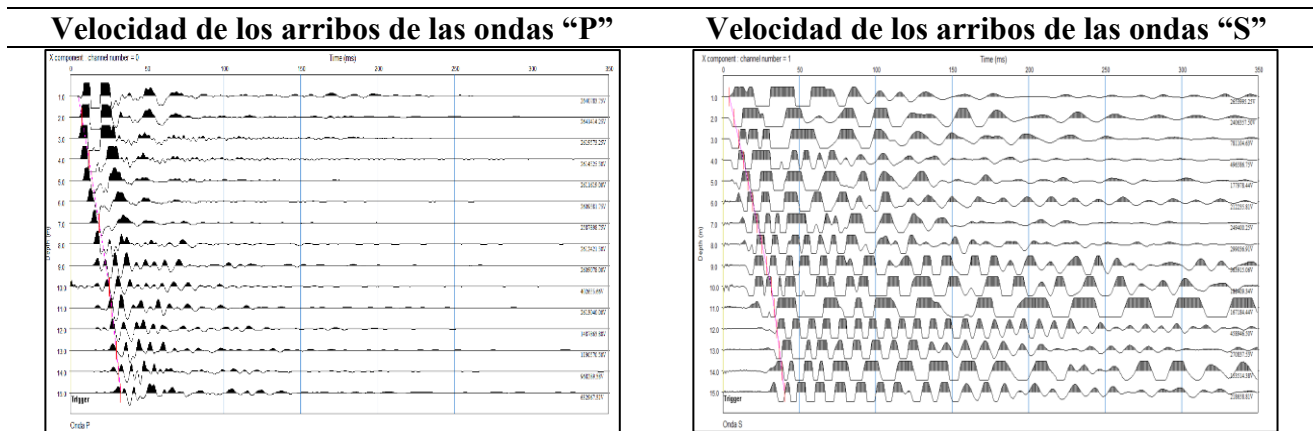
Nota. Resumen de ensayos de laboratorio. Tomado de *Estudio Geotécnico Calle 4#4-37 Floridablanca* (p. 22), por Geotecnología, 2024.

5.5.2 Procesamiento del ensayo sísmico DownHole

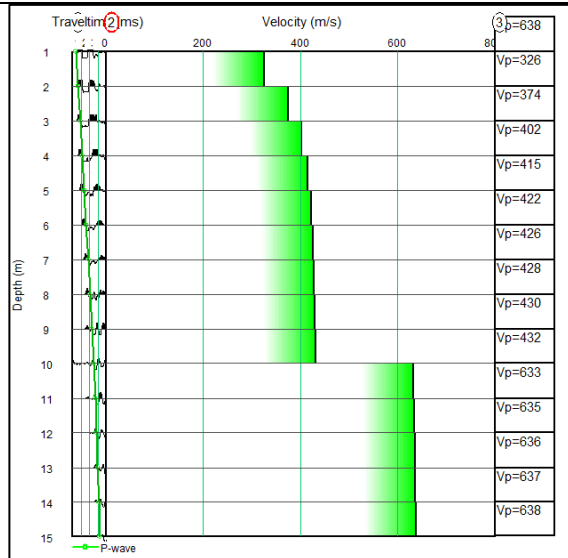
Para la ejecución de este ensayo se realizaron mediciones cada metro a lo largo del perfil de sondeo 4, para una profundidad total de 15 metros. En la Figura 14 se observan los resultados obtenidos para el picado y velocidades de ondas primarias y secundarias una vez se realizó el procesamiento.

Figura 14

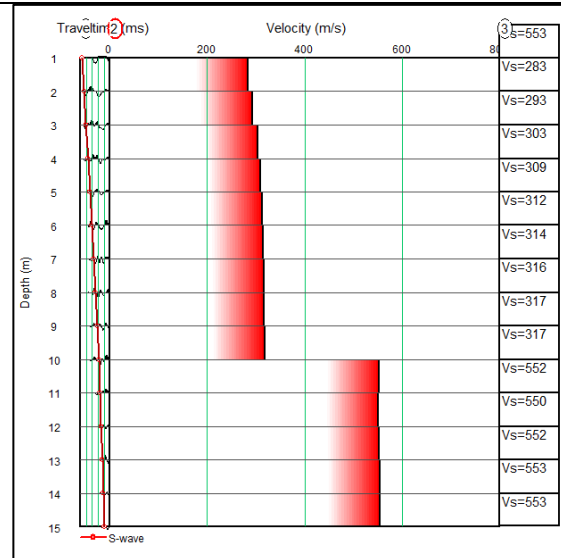
Resultados del ensayo DownHole proyecto Calle 4#4-37



Velocidad de los arribos de las ondas “P”



Velocidad de los arribos de las ondas “S”



Nota. Adaptado de *Estudio Geotécnico Calle 4#4-37 Floridablanca* (p. 27), por Geotecnología, 2024.

Una vez procesados los datos de velocidad, se obtiene un promedio, de manera que se pueda clasificar el tipo de suelo de acuerdo con la NSR-10. Para el caso estudiado la velocidad promedio de onda “S” para el sondeo 4, de profundidad 15 metros, es de 394,57 m/s, que, de acuerdo con la norma, clasifica la zona en estudio con un perfil de suelo C.

5.5.3 Propiedades del suelo (Software NOVO SPT)

A continuación, se presentan los resultados de los parámetros de diseño calculados mediante el software NOVO SPT.

Tabla 15

Parámetros de diseño recomendados Proyecto Calle 4#4-37

Prof. (m)	Peso Unitario (kN/m ³)	Módulo de Elasticidad E (MPa)	Ángulo de fricción Φ (°)	Cohesión (kN/m ²)
0,0 a 10,5	18,29	25	32,0	5
10,5 a 15,0	19,07	60	38,0	10

Nota. Parámetros de diseño recomendados. Tomado de *Estudio Geotécnico Calle 4#4-37*

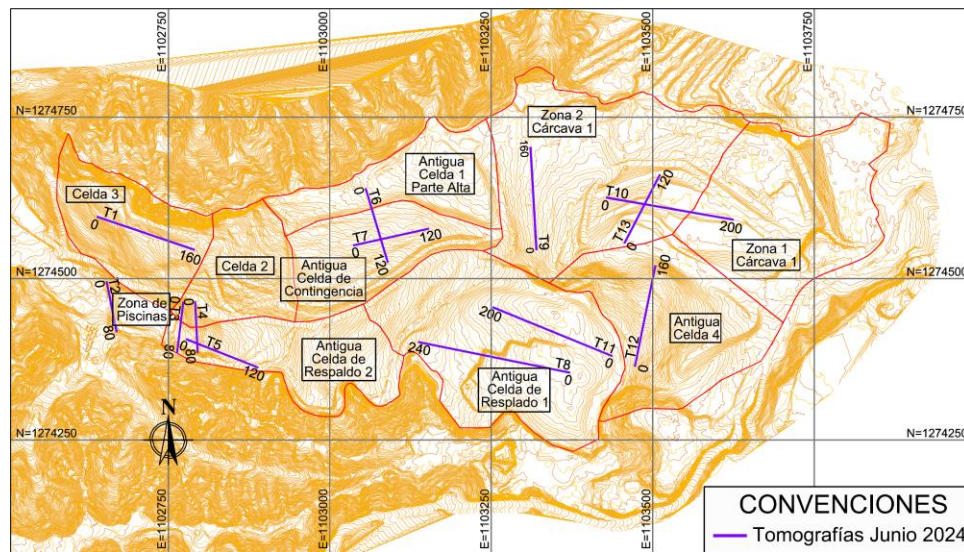
Floridablanca (p. 36), por Geotecnología, 2024.

5.6 Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco”

Este proyecto busca determinar las condiciones de saturación y presencia de lixiviados en los sectores del relleno sanitario, de manera que se puedan recomendar obras para el manejo de biogás y lixiviados en el sitio de disposición final El Carrasco. Para este análisis se realizaron 13 líneas de tomografía geoelectrica alrededor del relleno y se calculó la estabilidad de 7 perfiles de taludes. A continuación, en la Figura 15, se observa la localización de las líneas de tomografía geoelectrica.

Figura 15

Localización de las tomografías geoelectricas Proyecto El Carrasco



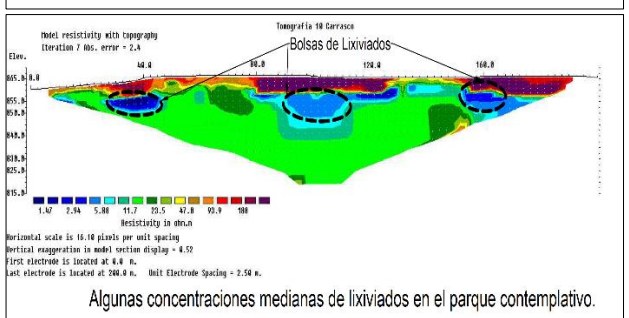
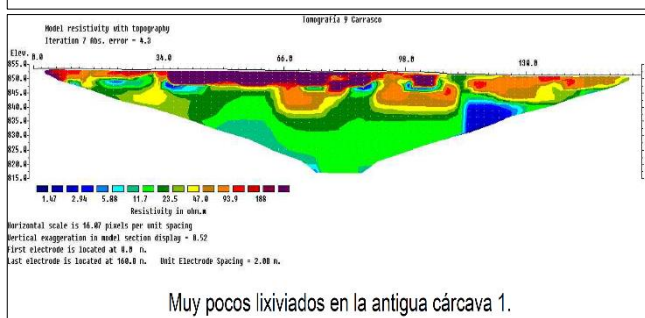
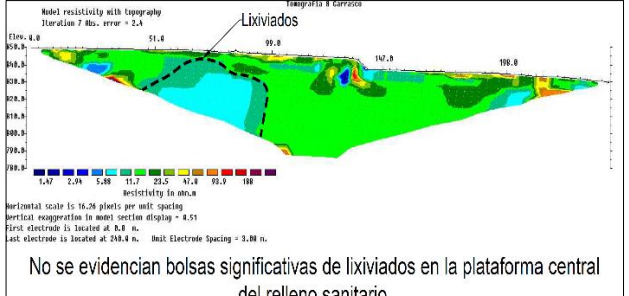
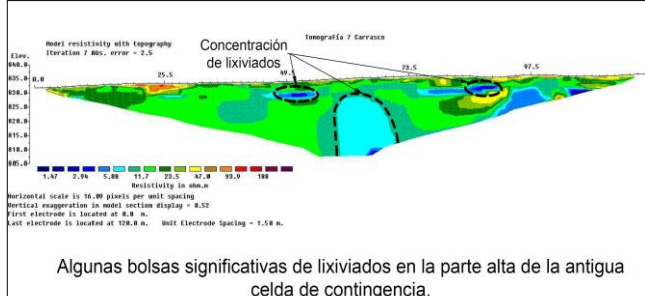
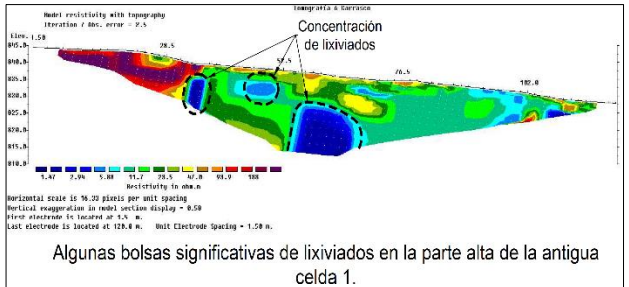
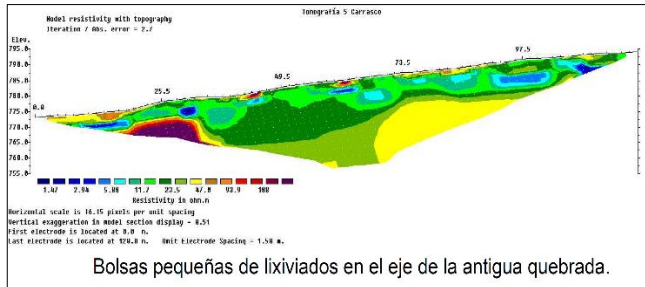
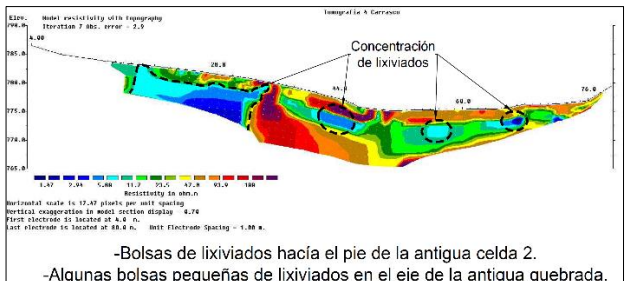
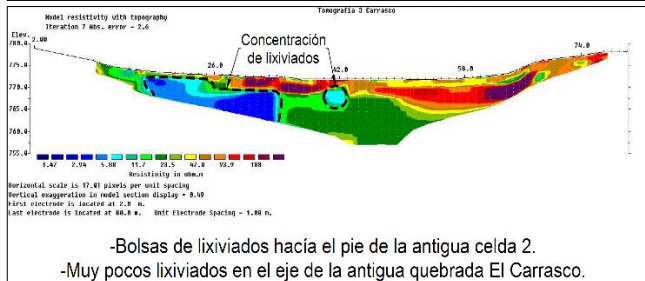
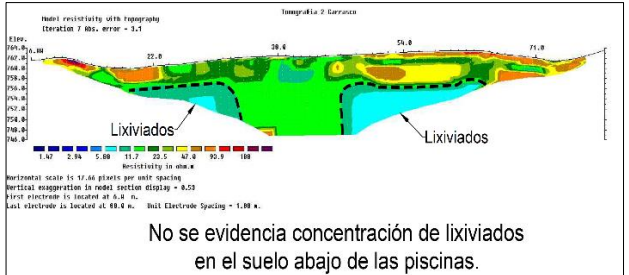
Nota. Localización de las tomografías geoelectricas realizadas en junio 2024. Tomado de *Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoelectricas* (p. 10), por Geotecnología, 2024.

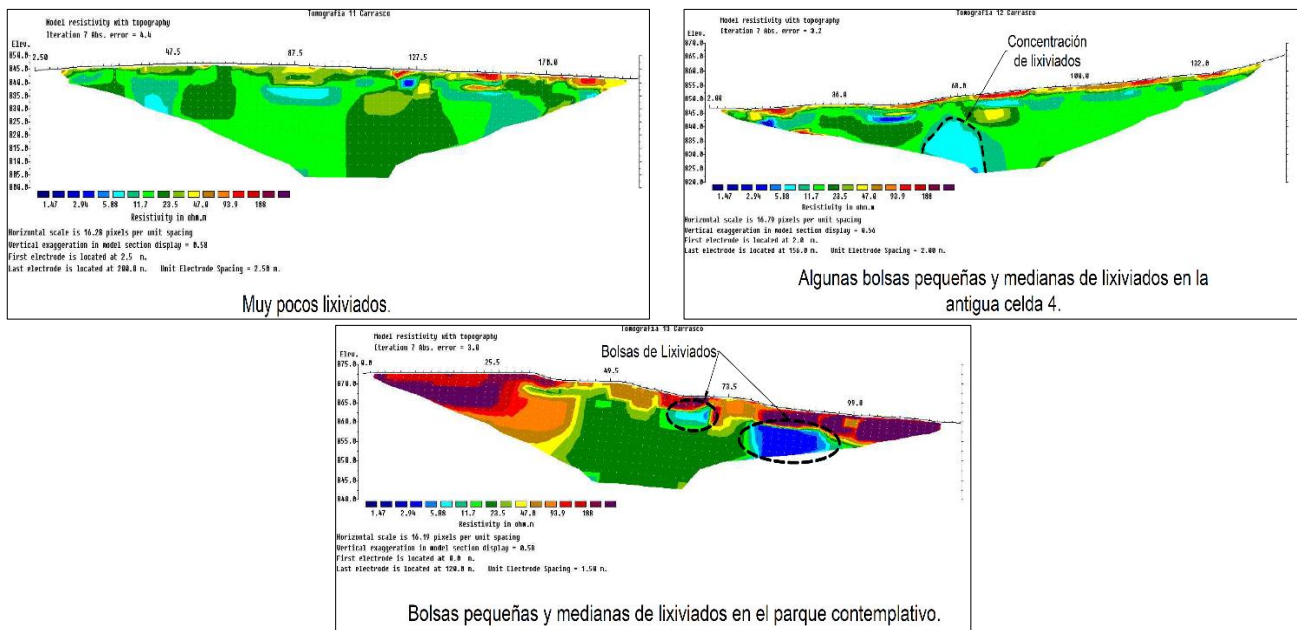
5.6.1 Ensayo de tomografía geoelectrica

A partir de la ejecución en campo de las líneas de tomografía geoelectrica y del procesamiento en oficina mediante el software Res2dinvx32, se obtienen los siguientes perfiles observados en la Figura 16.

Figura 16

Resultados de las tomografías geoelectricas Proyecto El Carrasco





Nota. Adaptado de *Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoelectricas* (p. 49), por Geotecnología, 2024.

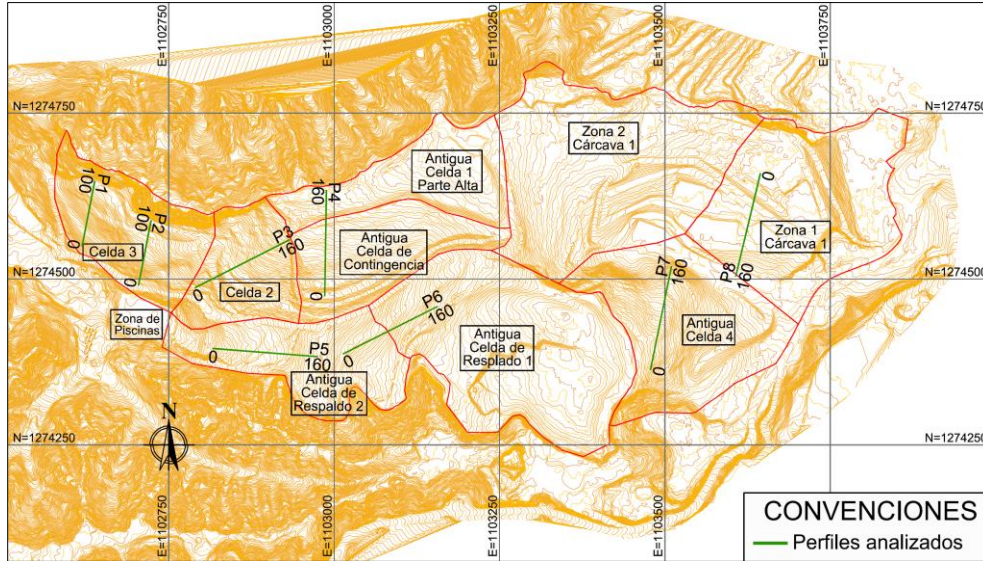
De acuerdo con una comparación realizada con las tomografías geoelectricas realizadas en diciembre del año 2023, y a lo observado en los resultados de junio de 2024, se puede decir que el represamiento de lixiviados en gran parte del sitio de disposición final ha disminuido, sin embargo, en la celda 2, celda 3 y parte de la antigua celda de contingencia se presenta una concentración considerable de lixiviados. En ese caso, es importante realizar un análisis de la estabilidad de los taludes de la zona.

5.6.2 Análisis de Estabilidad de los taludes actuales

Para este análisis se emplea el software SLOPE/W, que permite evaluar una gran variedad de superficies de deslizamiento, condiciones de nivel freático, propiedades del suelo y carga. Para el proyecto se empleó como método de análisis el propuesto por Spencer. En la Figura 17, se pueden observar los perfiles analizados.

Figura 17

Perfiles analizados en el software SLOPE/W para el proyecto El Carrasco



Nota. Planta de localización de perfiles analizados. Tomado de *Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoeléctricas* (p. 52), por Geotecnología, 2024.

El resultado obtenido, que corresponde al factor de seguridad del talud, se evalúa de acuerdo con los valores establecidos en la tabla H.2.4-1 de la NSR-10, que se evidencian a continuación.

Tabla 16

Factores de seguridad básicos mínimos

Condición	FSBM Diseño	FSBM Construcción
Taludes – Condición estática y agua subterránea normal	1,50	1,25
Taludes – Condición pseudo-estática y agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño	1,05	1,00

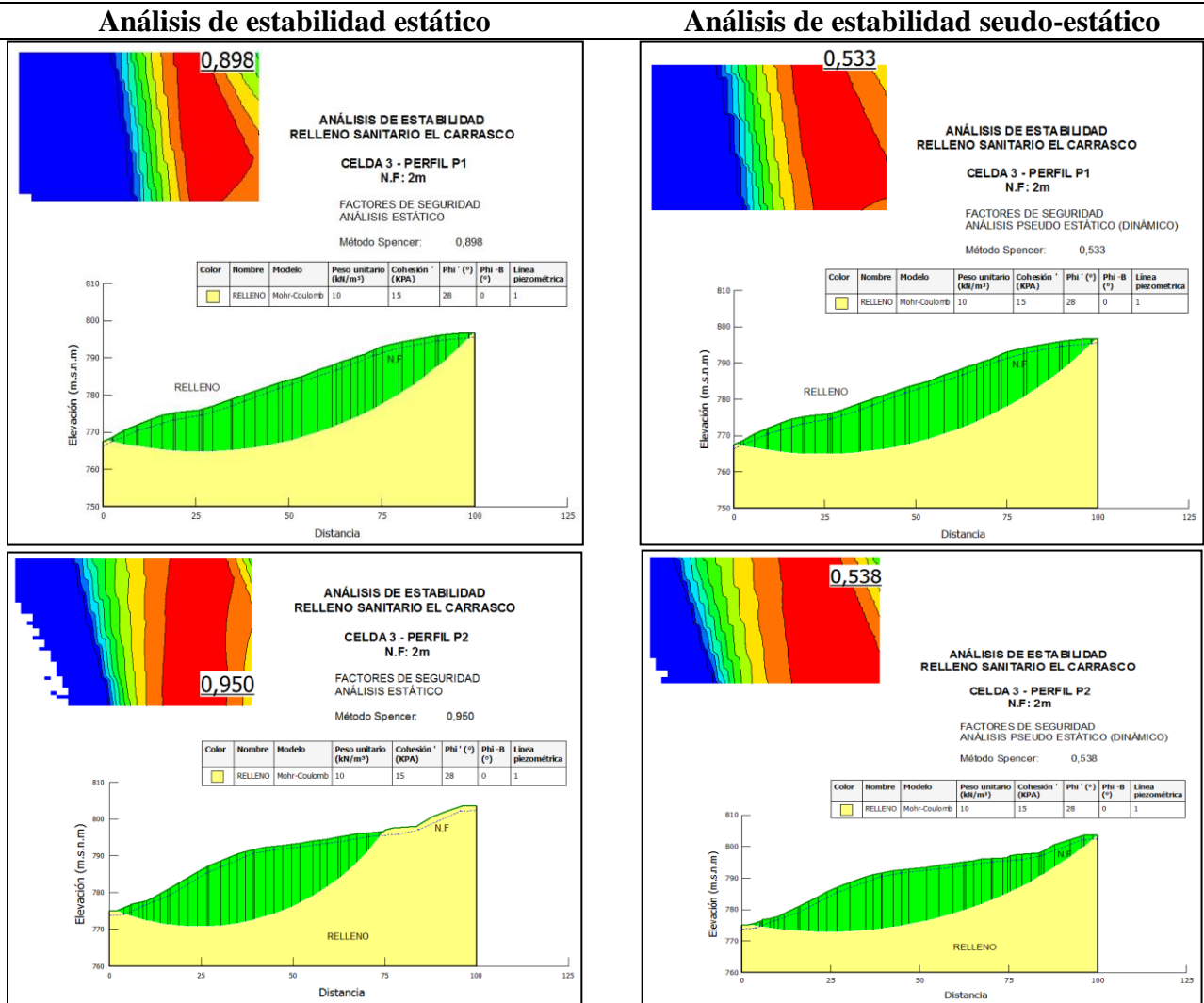
Nota. Adaptado de Tabla H.2.4-1 por *Norma Colombiana de Construcción Sismoresistente NSR-*

10.

Como se observa a continuación, los perfiles son analizados para una condición estática del suelo, y, para una condición pseudo-estática.

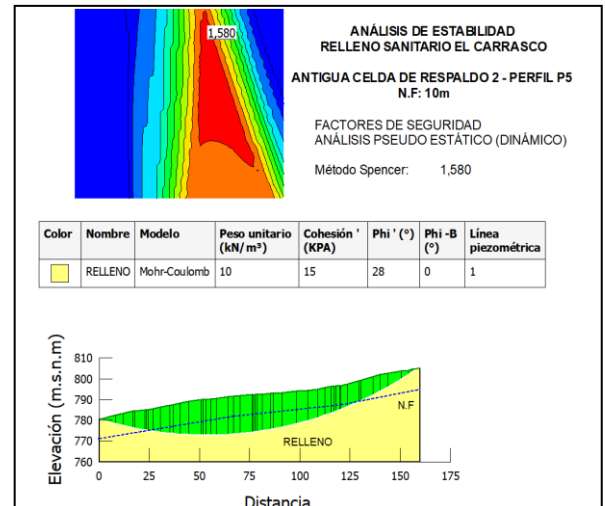
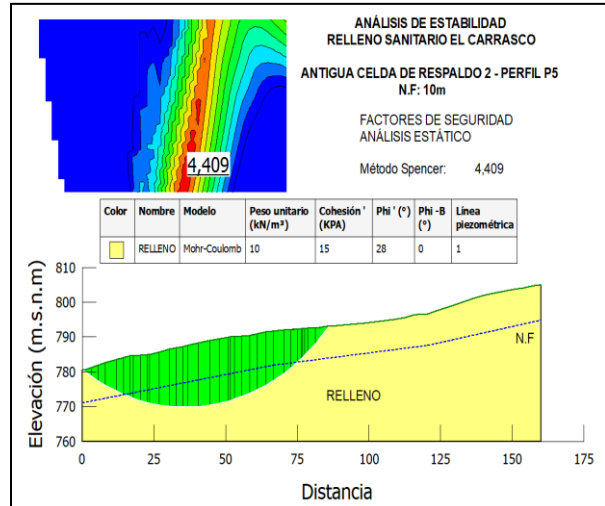
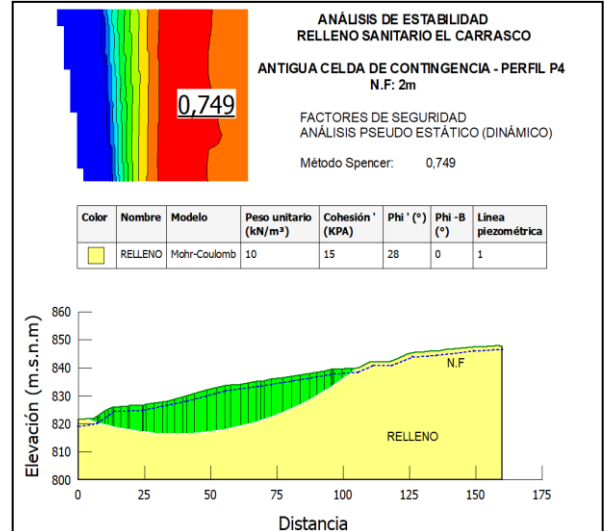
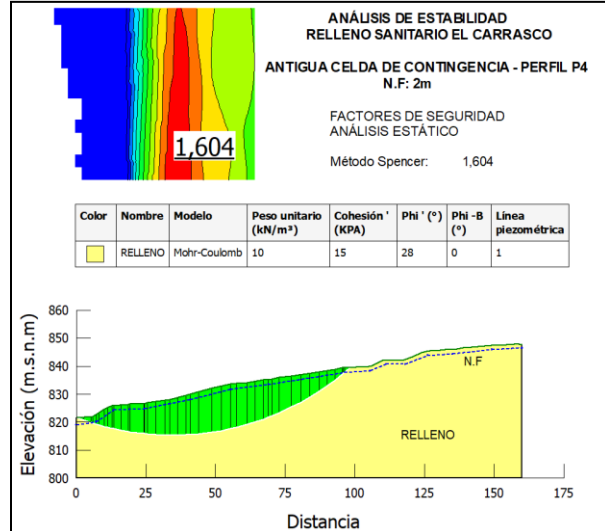
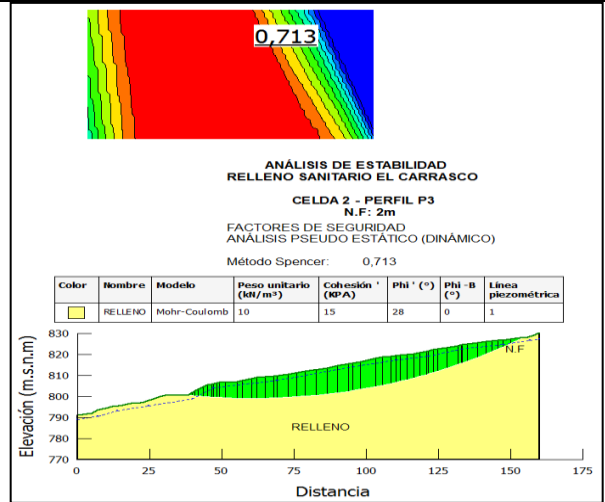
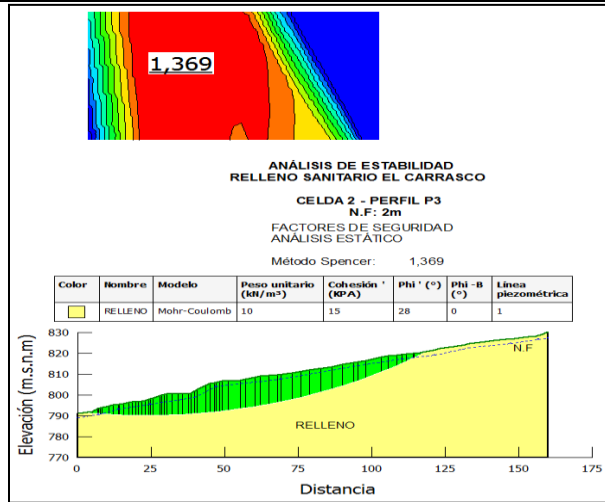
Figura 18

Análisis de estabilidad para los perfiles determinados del proyecto El Carrasco

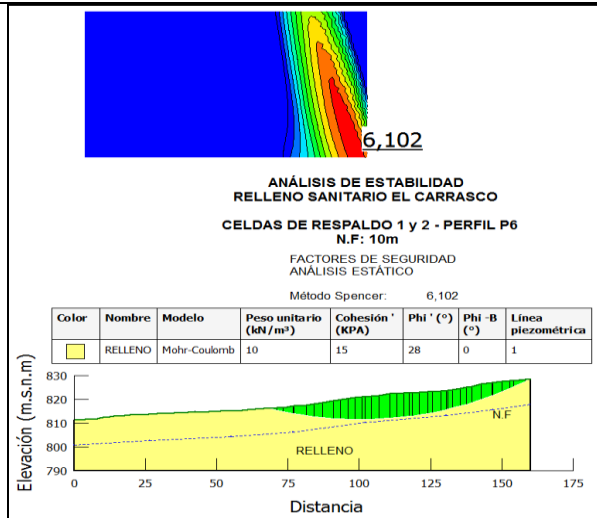


Análisis de estabilidad estático

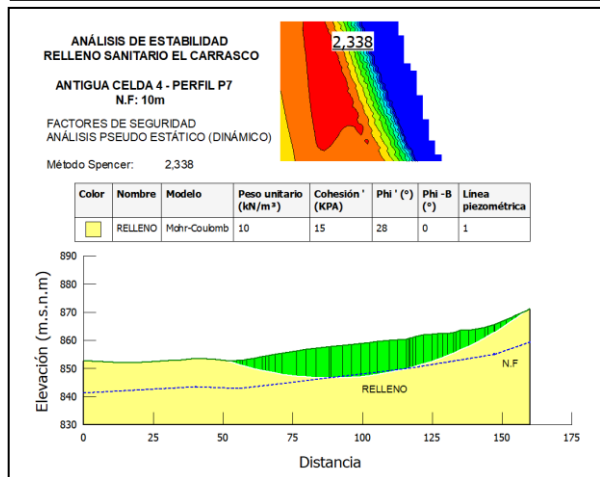
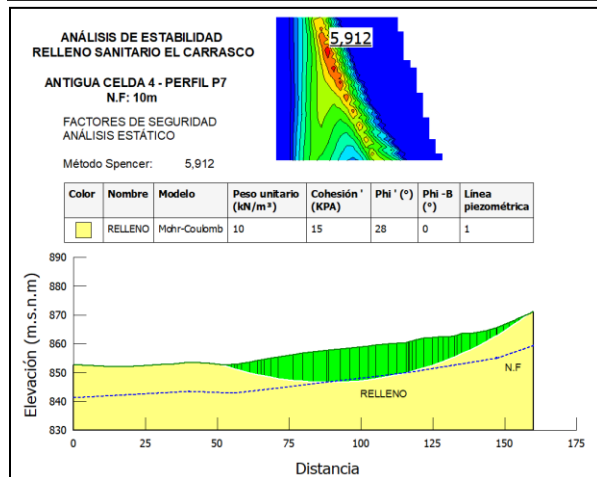
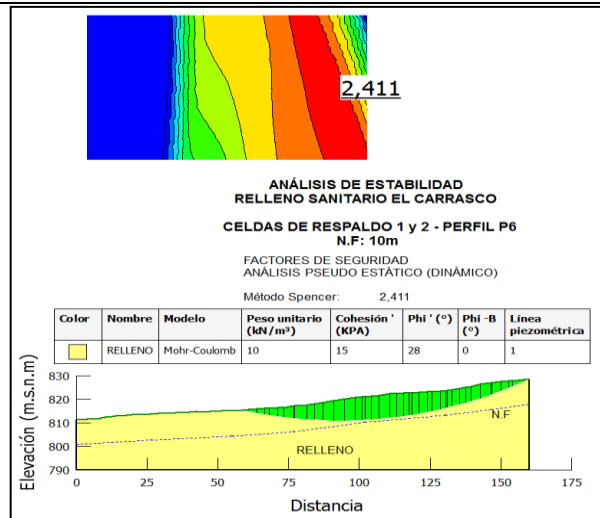
Análisis de estabilidad pseudo-estático



Análisis de estabilidad estático



Análisis de estabilidad pseudo-estático



Nota. Adaptado de *Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoelectricas* (p. 53-60), por Geotecnología, 2024.

De los resultados anteriores se puede notar una concentración alta de lixiviados en la zona de las celdas 2, 3 y la antigua celda de contingencia, que, como consecuencia atrae problemas de estabilidad. Para estos casos, la alternativa más fácil de estabilización consiste en el abatimiento del nivel de lixiviados mediante pozos de extracción forzada. En la Tabla 17, se presentan los resultados del factor de seguridad para la zona descrita anteriormente, teniendo en cuenta el abatimiento del nivel de lixiviados.

Tabla 17

Resumen factores de seguridad con abatimiento de lixiviados proyecto El Carrasco

Perfil	Celda	F.S Estático (Spencer)	F.S pseudo-estático (Spencer)
1	Celda 3	2,007	1,166
2	Celda 3	1,978	1,176
3	Celda 2	2,742	1,469
4	Celda de Contingencia	3,550	1,659

Nota. Resumen factores de seguridad obtenidos para el análisis de estabilidad con abatimiento de lixiviados. Tomado de *Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoeléctricas* (p. 66), por Geotecnología, 2024.

5.7 Diseño de estructuras de contención proyecto Sky Tower

Este proyecto consiste en una edificación de 34 niveles de apartamentos, incluyendo 3 sótanos en un área aproximada de 5077 m².

Para el proyecto en estudio se plantea una excavación de 15,26 metros a partir del nivel de terreno actual para el talud norte, una de 13,97 metros para el talud oriental, y, para el talud sur se propone una excavación de máximo 15,11 metros aproximadamente.

De acuerdo con las características del lote, y con los predios vecinos, se propuso las siguientes estructuras para cada talud estudiado.

5.7.1 Talud Norte

Para la parte superior del talud se plantea una pantalla de concreto armado de 0,30 metros de espesor, con un sistema de parejas de micropilotes y columnetas cada 2,0 metros, dichos micropilotes con diámetro de 0,25 metros. Esta estructura va a poyada en una viga cabezal de concreto armado.

En la parte inferior se plantea la construcción de una pantalla de concreto armado de 0,30 metros de espesor, con un sistema de parejas de micropilotes de diámetro 0,25 metros con separación cada 10,0 metros.

5.7.2 Talud Oriental

Para la parte superior del talud se plantea una pantalla de concreto armado de 0,30 metros de espesor, con un sistema de parejas de micropilotes y columnetas cada 4,0 metros. Esta estructura va a apoyada en una viga cabezal de concreto armado.

En la parte inferior se plantea la construcción de una pantalla de concreto armado de 0,30 metros de espesor, con un sistema de micropilotes intercalados de diámetro 0,25 metros con separación cada 4,0 metros, unidos por una viga cabezal de concreto armado con dimensiones 0,65 x 0,40 metros.

5.7.1 Talud Sur

Para este talud solo se presenta una zona, compuesta por una pantalla de concreto armado de 0,25 metros de espesor, con un tramo compuesto por un sistema de micropilotes intercalados con separación de 1,50 metros, un segundo tramo compuesto por un sistema de micropilotes.

5.7.2 Cantidades de obra

A continuación, se presentan las cantidades de obra calculadas para el proyecto.

Tabla 18

Cantidades de obra del proyecto Sky Tower

Descripción	Unidad	Cantidad
Pantallas		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	35860,24
Concreto de 4000 PSI	M3	614,94
Viga Cabezal en concreto reforzado		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	3389,88
Concreto de 4000 PSI	M3	80,04

Descripción	Unidad	Cantidad
Columnetas en concreto reforzado		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	3868,10
Concreto de 4000 PSI	M3	88,39
Micropilotes		
Micropilotes (incluye perforaciones, suministro e instalación de acero, lechada e inyección)	ML	1512,80

Nota. Cantidades de obra. Adaptado de *Diseño Geotécnico Sky Tower (p. 25)*, por Geotecnología, 2024.

En el apéndice B se presentan los planos de construcción elaborados para el proyecto Sky Tower.

5.8 Diseño de Estructuras de Contención Proyecto Fontana de La Sierra

Este proyecto consiste en tres edificaciones de 19 niveles de apartamentos y un edificio de parqueaderos de 8 niveles, incluyendo 2 sótanos, en un área aproximada de 7320 m².

Para el proyecto en estudio se plantea una excavación de 7,60 metros a partir del nivel de terreno actual para el talud norte, una de 5,93 metros para el talud oriental, para el talud sur se propone una excavación de máximo 7,88 metros aproximadamente, y, una excavación de 6,94 para el talud occidental. De acuerdo con las características del lote, y con los predios vecinos, se propuso las siguientes estructuras para cada talud estudiado.

5.8.1 Talud Norte

Para esta zona se plantea una pantalla de concreto armado de 0,25 metros de espesor, con un sistema de micropilotes cada 2,20 metros, dichos micropilotes con diámetro de 0,25 metros. Esta estructura va a poyada en una viga cabezal de concreto armado de 0,70x0,40 metros.

5.8.2 *Talud Oriental*

Se plantea una pantalla de concreto armado de 0,25 metros de espesor, con un sistema de micropilotes separados cada 2,0 metros. Esta estructura va a poyada en una viga cabezal de concreto armado.

5.8.3 *Talud Sur*

Para este talud se diseña una pantalla de concreto armado de 0,25 metros de espesor, con un sistema de micropilotes de diámetro 0,25 metros separados cada 2,0 y 2,70 metros, unidos por una viga cabezal de concreto armado de 0,70x0,40 metros.

5.8.4 *Talud Occidental*

Se plantea una pantalla de concreto armado de 0,25 metros de espesor, con un sistema de micropilotes separados cada 2,85 y 3,50 metros. Esta estructura va a poyada en una viga cabezal de concreto armado.

5.8.5 *Cantidades de obra*

A continuación, se presentan las cantidades de obra calculadas para el proyecto.

Tabla 19

Cantidades de obra del proyecto Fontana de la Sierra

Descripción	Unidad	Cantidad
Pantallas		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	47932,19
Concreto de 4000 PSI	M3	470,06
Viga Cabezal en concreto reforzado		
Suministro, figurado y amarre de acero	KG	3812,04
Concreto de 4000 PSI	M3	79,47
Micropilotes		
Micropilotes (incluye perforaciones, suministro e instalación de acero, lechada e inyección)	ML	1105,6

Nota. Cantidades de obra. Adaptado de *Diseño Geotécnico Fontana de la Sierra* (p. 65), por Geotecnología, 2024.

6. Conclusiones

Mediante el desarrollo de la práctica empresarial, se logran comprender los conceptos e implementos necesarios para la exploración y caracterización del subsuelo, desde el tipo de exploración, los parámetros a calcular y el tipo de cimentación a recomendar de acuerdo con el tipo de suelo, que permite a su vez obtener las habilidades técnicas suficientes para la ejecución de este tipo de proyectos.

Se comprende la importancia de caracterizar los suelos de manera correcta, mediante la ejecución de ensayos de clasificación de los suelos de los proyectos Club Campestre y Calle 4#4-37, para garantizar la estabilidad y el soporte de los materiales sobre los cuales se plantea la ubicación de los cimientos de las estructuras, resaltando principalmente que la realización de este proceso mediante ensayos de laboratorio y de campo brinda una estimación más precisa de las propiedades del suelo.

Así mismo, mediante el uso de softwares especializados como NOVO SPT, Pickwin, Res2dinvx32 y SLOPE/W fue posible establecer modelos geotécnicos ajustados a la zona de estudio, entre los cuales se destacan los parámetros del suelo, velocidades de onda, resistividades del suelo y factores de seguridad de taludes, , que hacen posible el estudio del comportamiento del suelo a diversos factores, como su capacidad de soporte, su comportamiento a eventos sísmicos de poca y gran magnitud, y, a su estabilidad; concediendo al ingeniero la suficiencia para recomendar medidas de control y prevención a partir de los resultados observados. Es decir, el uso de softwares facilita el cálculo de los parámetros de diseño, sin embargo, su obtención se ve usualmente limitada al uso de correlaciones, que representan un valor aproximado al tipo de suelo encontrado, mientras que el uso de ensayos de laboratorio ofrece un resultado ajustado a las características del suelo en estudio.

Por otro lado, se pudo adquirir las competencias conceptuales básicas para el diseño de estructuras geotécnicas, como los tipos de sistema de contención, las dimensiones mínimas de los elementos estructurales, entre otros, a partir del cálculo de cantidades de obra y la elaboración de planos constructivos teniendo en cuenta las particularidades de cada proyecto, como los ejecutados en los proyectos Tanque Ecodiesel, Sky Tower y Fontana de la Sierra, que permiten observar la correlación existente entre los análisis realizados y parámetros del suelo obtenidos en la elaboración de estudios geotécnicos y las obras de tierras calculadas. Finalmente, es relevante destacar que a lo largo de la práctica empresarial se pudo comprender las características que diferencian cada proyecto ejecutado, que influye directamente en el análisis a desarrollar para el cálculo de asentamientos hasta el tipo de estructura de contención a ejecutar para las excavaciones.

7. Recomendaciones

Una vez realizadas las actividades mostradas en las secciones de metodología y resultados, se pueden destacar las siguientes recomendaciones para los proyectos desarrollados.

7.1 Estudio Geotécnico Zona de mantenimiento campo de golf Club Campestre

Se recomienda una cimentación tipo zapatas con una profundidad de entre 2,0 y 6,0 metros, con asentamientos máximos de 3,5 cm.

7.2 Estudio Geotécnico Proyecto Fiore 2, barrio La Campiña, Girón

Es recomendable cimentar sobre cimientos corridos y zapatas unidas por vigas de amarre, con profundidades mayores a 3,5 metros y asentamientos máximos esperados de 2,5 cm.

7.3 Estudio Diseño de cimentación Tanque Ecodiesel

Se recomienda cimentar sobre un sistema de placas con vigas de amarre apoyado sobre pilotes de profundidad 14 metros, con un asentamiento esperado de 6,6 cm.

7.4 Estudio Geotécnico Proyecto Zima

Para el proyecto mencionado se recomienda una cimentación tipo placa apoyada sobre caissons empotrados en la roca, encontrado a profundidades variables de 11,0 a 13,0 metros.

7.5 Estudio Geotécnico Proyecto Calle 4#4-37

Se recomienda cimentar sobre un sistema de placa, con asentamientos máximos esperados entre 5,1 y 8,1 cm, y, a una profundidad aproximada de 1,5 metros.

7.6 Monitoreo Geofísico Campaña I de 2024 sitio de Disposición Final “El Carrasco”

Para las zonas con represamiento de lixiviados, se recomienda la construcción de pozos de extracción forzada a lo largo de la zona, de manera que se pueda abatir el nivel freático y cumplir con los factores de seguridad establecidos en la NSR-10.

Referencias Bibliográficas

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá D.C., Colombia. Enero de 2010.

Curasma Crispín, N. A., & Quinto Soriano, R. G. (2019). Estudio comparativo entre el método de equilibrio límite y elementos finitos en el análisis de estabilidad de ladera en el sector Heramocco-comunidad de Sacsamarca-2019.

Das, B. M. (2022). *Principles of Geotechnical Engineering*. Cengage. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.uis.edu.co/?il=19663>

Geotecnología S.A.S. (2021). Ensayos geofísicos. Erosion.com.co: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ. <https://www.erosion.com.co/servicios/exploracion-del-subsuelo-mediante-ensayos-geofisicos/>

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio Geotécnico proyecto Zona de mantenimiento Campo de Golf.

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio Geotécnico proyecto Fiore 2 Lote ET3, Girón.

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio y Diseño Geotécnico proyecto Tanque Ecodiesel.

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio Geotécnico proyecto Zima, Cañaveral.

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio Geotécnico proyecto Calle 4#4-37 Floridablanca.

Geotecnología S.A.S (2024). Estudio para el monitoreo geofísico con tomografías geoelectricas para detectar zonas de acumulación de biogás o de lixiviados en la masa de residuos en las celdas del sitio de disposición final El Carrasco Campaña I de 2024.

Geotecnología S.A.S (2024). Diseño geotécnico del sistema de contención de excavaciones proyecto Sky Tower.

Geotecnología S.A.S (2024). Diseño geotécnico del sistema de contención de excavaciones proyecto Fontana de La Sierra.

Geotecnología S.A.S. (2021). Quiénes somos. Erosion.com.co: SITIO WEB DEL ING. JAIME SUÁREZ. <https://www.erosion.com.co/quienes-somos/>

Gonzales, A. J. (1999). ESTIMATIVOS DE PARÁMETROS EFECTIVOS DE RESISTENCIA CON EL SPT. Sociedad Colombiana de Ingenieros.

Guardo P, J. (1999). Estudios geotécnicos, una necesidad en obras civiles. Universidad del Norte, 6, 117-126.

Molina, G. A. R., Rinaldi, V. A., & Taborda, R. (2004). Tomografía Geo eléctrica: Desarrollo y Potenciales Aplicaciones en Geotecnia. In XVII Congreso Argentino de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, SINERGIA.

Mucuta-Lito, H. V., Cartaya-Pires, M., & Watson-Quesada, R. L. (2020). Evaluación de estabilidad en taludes del yacimiento Castellano mediante el cálculo del factor de seguridad. Minería y Geología, 36(4), 441-450.

Taboada, A., Dimaté, C., & Fuenzalida, A. (1998). Sismotectónica de Colombia: deformación continental activa y subducción. *Física de la Tierra*, 10, 111-147.

Valiente Sanz, R., Sobrecases Martí, S., & Díaz Orrego, A. (2016). Estabilidad taludes, conceptos básicos, parámetros de diseño y métodos de cálculo. *Revista civilizate*, (7), 50-54.