

Auxiliar de ingeniería civil en la empresa SISMOINGENIERIA P.S. SAS para realizar supervisión a los proyectos geotécnicos y asistencia técnica en procesos de obra y exploración de suelos.

Marlon Ivanok Ordoñez Hernandez

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Edwin Fabián Restrepo Rojas

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

En primera medida al Padre Celestial, por haberme dado la sabiduría, inteligencia, capacidad y mentalidad que me permitieron finalizar esta grandiosa carrera profesional y cumplir uno de mis sueños, para desarrollar mi proyecto de vida.

A mi madre Yaneth, mis hermanos Miguel y William, por ser el pilar fundamental de mi vida, y por haberme apoyado en los momentos malos y los buenos.

A mi abuela María Josefa, que en paz descanse, que desde el cielo sé que está orgullosa de mí. A mi padre Miguel Francisco, que, aunque se fue de este mundo cuando yo apenas era un niño, siempre lo tendré presente.

A Kevin, que en paz descanse, que donde sea que esté estoy seguro que está orgulloso de mi, y yo también de él. A Juan Manuel y Catalina, que fueron dos personas que me apoyaron durante el camino y estaré siempre agradecido con ellos, y estoy seguro de que seremos unos grandes ingenieros civiles.

A cada una de las personas que me ayudaron durante el camino, ya fuese brindándome consejos, ayudándome económicamente y laboralmente, brindándome apoyo emocional, queriendo socializar conmigo, hacer deporte, salir y distraerme. Estaré eternamente agradecido de haber conocido a tantas personas y haber hecho relaciones personales tan sanas.

A mí mismo, por no haberme rendido a pesar de todas las dificultades por las que pasé durante este bonito camino, por tener la capacidad de salir adelante y de persistir para conseguir los objetivos que me propongo.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Industrial de Santander por haberme brindado la oportunidad de desarrollar mis estudios bajo altos estándares de calidad, donde estoy seguro, tomé la mejor decisión.

Agradezco todas las oportunidades y beneficios que recibí, gracias al apoyo de la Universidad pude estudiar la carrera siendo becado y teniendo beneficios del estado que me soportaban económicamente. Agradezco también todos los espacios en los que tuve la oportunidad de estar, los equipos de microfútbol, las actividades culturales que disfruté, los diciembres que pasé en el campus, los semestres en los que fui tutor de asignaturas donde desarrollé otra de mis vocaciones, la de ser docente.

Agradezco a todos los docentes, administrativos y compañeros de clase con los que interactué alguna vez, el conocimiento que recibí ha sido y será valioso para mi vida.

Agradezco al director de prácticas, Edwin Fabian Restrepo Rojas, quien me abrió las puertas para apoyarme durante el proceso, respondiendo de forma puntual y siendo siempre cordial.

Agradezco a la empresa Sismoingeniería P.S. SAS, a su directora Janneth Rangel y a la ingeniera Gisell Sandoval, jefe del área técnica, por la confianza depositada en mí para desarrollar labores tan demandantes y que conllevan responsabilidades, lo cual me ha permitido adquirir habilidades profesionales en tan corto tiempo.

¡Muchas gracias a todos!

Contenido

Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos Específicos	14
2. Marco conceptual.....	15
2.1 Estudios geotécnicos	15
2.1.1 Ensayos de campo	15
2.1.2 Equipo manual	16
2.1.3 Equipo mecánico	18
2.2 Ensayo SPT (Standard Penetration Test)	21
2.2.1 Limitaciones del ensayo	21
2.3 Ensayos de laboratorio	23
2.3.1 Ensayos de clasificación y resistencia al corte	23
2.3.2 Patología estructural	31
2.3.3 Ensayos para vías.....	35
2.3.4 Pruebas sísmicas y telúricas	37
2.4 Análisis sísmico.....	38
2.4.1 Cálculo del Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño	39
2.5 Análisis de capacidad portante de suelo.....	39
2.5.1 Teorema general de Terzaghi para cimentaciones superficiales	39

2.5.2 Asentamientos elásticos.....	40
2.6 Informes geotécnicos.....	40
3. Metodología	43
4. Resultados	44
4.1 Resultados objetivo específico 1:	44
4.2 Resultados objetivo específico 2:	45
4.3 Resultados objetivo específico 3:	47
4.4 Proyectos	48
4.4.1 Participación en proyectos.....	48
4.5 Análisis de resultados.....	49
4.5.1 Valor agregado	55
5. Conclusiones	56
6. Referencias Bibliográficas	57

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: NSR-10, H.3.1.1.....</i>	22
<i>Tabla 2 Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción. Fuente: NSR-10, H.3.2.3.....</i>	22
<i>Tabla 3 Metodología de trabajo adoptada durante el desarrollo de las prácticas empresariales. Fuente: Autores.....</i>	43
<i>Tabla 4 Resultados de ensayo de compresión inconfiada, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.....</i>	50
<i>Tabla 5 Resultados de clasificación mediante ensayo de límites y lavados, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.</i>	51
<i>Tabla 6 Resultados de análisis y estimación de ensayo SPT de campo, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.....</i>	51
<i>Tabla 7 Análisis de capacidad portante usando la metodología de Terzaghi para cimentaciones superficiales.</i>	52
<i>Tabla 8 Estimación de los asentamientos elásticos por medio del método endométrico.</i>	52
<i>Tabla 9 Análisis de compresión de núcleos de concreto, Boavita/Boyacá. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.....</i>	53
<i>Tabla 10 Análisis de refuerzo de elementos estructurales, Estación de Policía de Boavita/Boyacá.....</i>	53

Lista de figuras

<i>Figura 1 Realización de estudio geotécnico para construcción de torres de alta tensión, Tibasosa/Boyacá.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Sondeos manuales para tanques de almacenamiento Hospital Regional de Duitama.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 3 Extracción de muestras usando el trípode, Hospital de Sora/Boyacá.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 4 Muestra obtenida para humedad(derecha) y clasificación(izquierda).</i>	<i>18</i>
<i>Figura 5 Equipo mecánico empleado para estudio geotécnico de construcción de vivienda multifamiliar de 4 niveles y comercio.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 6 Núcleos de arenisca extraídos en exploración geotécnica para construcción de vivienda multifamiliar.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7 Ensamblaje completo del equipo mecánico.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8 Extracción de muestras inalteradas con barrenado. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 9 Realización de ensayo de límite líquido. Fuente: Autores.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 10 Curva de fluidez. Fuente: Autores.</i>	<i>24</i>
<i>Figura 11 Carta de plasticidad. Fuente: Autores.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 12 Curva de distribución de tamaño de partícula.</i>	<i>26</i>
<i>Figura 13 Serie de tamices empleada para el ensayo de granulometría. Fuente: Autores</i>	<i>26</i>
<i>Figura 14 Ensayo de compresión inconfiada. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.....</i>	<i>27</i>

<i>Figura 15 Máquina para la realización del ensayo de carga puntual. Fuente: Autores.</i>	28
<i>Figura 16 Diseño de mezclas realizado para fundición de probetas de concreto. Fuente: Autores</i>	30
<i>Figura 17 Máquina usada para rotura de probetas de concreto. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS</i>	31
<i>Figura 18 Realización del ensayo de esclerometría en campo con el martillo Schmidt, Pauna/Boyacá.</i>	32
<i>Figura 19 Ficha técnica del esclerómetro o martillo Schmidt. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS</i>	32
<i>Figura 20 Proceso de extracción de núcleos de concreto de 4" de espesor. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS</i>	33
<i>Figura 21 Núcleo de concreto estructural extraído de la columna 2 piso 1. Estación de Policía Boavita</i>	34
<i>Figura 22 Evaluación y análisis de refuerzo estructural en un elemento de concreto armado.</i>	34
<i>Figura 23 Realización de ensayo CBR inalterado para vías rurales del municipio de Umbita, Boyacá</i>	35
<i>Figura 24 Uso del telurómetro UNI-T U572 para la medida de resistividad de suelo de proyecto de construcción.</i>	37
<i>Figura 25 Método de uso en campo de telurómetro UNI-T UT572 para medida de resistividad de suelo.</i>	38

<i>Figura 26 Correcta demarcación de las franjas de 15 centímetros necesarias para la realización del ensayo SPT.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 27 Organización del marco de actividades a realizar, para las diferentes exploraciones geotécnicas</i>	<i>46</i>
<i>Figura 28 Variación de humedad en los 4 estratos analizados, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 29 Resultados de ensayo de granulometría por tamizado, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 30 Perfil granulométrico de sondeo realizado para proyecto de construcción de estación de Policía.....</i>	<i>54</i>

Resumen

Título: Auxiliar de ingeniería civil en la empresa SISMOINGENIERIA P.S. SAS para realizar supervisión a los proyectos geotécnicos y asistencia técnica en procesos de obra y exploración de suelos. *

Autor: Marlon Ivanok Ordoñez Hernandez**

Palabras Clave: Práctica empresarial, ensayos de laboratorio, caracterización de materiales, informes geotécnicos, supervisión, capacidad portante.

Descripción: El presente documento tiene como objetivo describir las actividades realizadas durante el periodo de prácticas empresariales para SISMOINGENIERIA P.S. SAS, desde el 28 de agosto hasta el 28 de diciembre de 2024. Estas labores se llevaron a cabo bajo el apoyo de diversos profesionales dispuestos por la empresa, las cuales incluyen actividades en campo, oficina y laboratorio. La realización de los estudios geotécnicos comprende la aplicación de conceptos teóricos vistos para la estimación de parámetros de resistencia de suelos, concretos y pavimentos, aplicando criterio propio en la toma de decisiones constructivas para la elección de cimentaciones. Por último, se presentan los resultados más relevantes para los estudios realizados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Edwin Fabián Restrepo Rojas.
Ingeniero Civil.

Abstract

Title: Civil engineering assistant at the company SISMOINGENIERIA P.S. SAS to supervise geotechnical projects and provide technical assistance in construction processes and soil exploration. *

Author: Marlon Ivanok Ordoñez Hernandez**

Keywords: Business practice, laboratory testing, material characterization, geotechnical reports, supervision, bearing capacity.

Description: The purpose of this document is to describe the activities carried out during the internship period for SISMOINGENIERIA P.S. SAS, from August 28 to December 28, 2024. These tasks were carried out with the support of various professionals provided by the company, which include activities in the field, office and laboratory. The realization of the geotechnical studies includes the application of theoretical concepts seen for the estimation of resistance parameters of soils, concrete and pavements, applying own criteria in making constructive decisions for the choice of foundations. Finally, the most relevant results for the studies carried out are presented.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Edwin Fabián Restrepo Rojas.
Civil Engineer.

Introducción

La ingeniería civil es una de las carreras profesionales con mayor complejidad, debido a las múltiples áreas donde se puede desarrollar. En términos generales, se abarcan áreas como Recursos Hídricos, Geotecnia, Estructuras, Gestión, Vías, entre otras. Cada una de esas áreas comprende etapas y procesos, los cuales dependen de muchos factores y se desarrollan bajo diversas metodologías. En general, se tiene como objetivo realizar obras que mejoren la calidad de vida de la sociedad, y que beneficien a las futuras generaciones, teniendo en cuenta la ética profesional y la honestidad al momento de ejecutar los diferentes diseños amparados por las normativas vigentes.

Específicamente la geotecnia, para efectos del presente documento, es una de las ramas más importantes, debido a que se encuentra en las etapas iniciales de todo proyecto de construcción, para lo cual se deben realizar estimaciones con base en procesos realizados en campo. El estudio de la composición, estratigrafía y resistencia del suelo es fundamental para garantizar la resistencia del mismo antes las cargas y sollicitaciones que imponen la acción del peso de una estructura.

Es por ello que existen diversos axiomas y teorías que se encargan de estimar los parámetros de resistencia del suelo en función de indicadores hallados mediante ensayos. También es importante recalcar el criterio técnico del Ingeniero Civil, dado que la elección del tipo de cimentación óptimo para una estructura específica puede garantizar su correcta durabilidad y resistencia ante fenómenos naturales o afectaciones del suelo de soporte. Además, es importante conocer la diversidad geológica de Colombia, dado que es un país con topografía variable y donde

se pueden hallar diversos tipos de roca ígneas, metamórficas y sedimentarias. La clasificación de estos elementos, los macizos rocosos y las formaciones geológicas, es importante para determinar la capacidad portante en función del tipo de suelo.

La Universidad Industrial de Santander brinda las herramientas necesarias, en la parte teórica, para adquirir los conocimientos necesarios para desarrollar las labores como Ingeniero Civil, abordando asignaturas que permiten adquirir conocimientos, para este caso, en la geotecnia. Los conocimientos adquiridos son requeridos para analizar las propiedades geomecánicas, hidráulicas e ingenieriles del suelo.

En la práctica, es importante contar con herramientas de análisis, donde también se encuentran los diferentes ensayos y pruebas de laboratorio que se rigen por normativas nacionales e internacionales. Dichos ensayos y pruebas son realizadas por personal apto y calificado, lo que permite garantizar resultados veraces y certeros.

Así mismo, el control de los procesos constructivos y de exploración, permiten llevar un control de todas las actividades siguiendo los lineamientos presentes, garantizando la mejor calidad posible en los resultados obtenidos. En el presente artículo se evidenciarán los proyectos en los que se trabajó y metodologías utilizadas durante el período de ejecución de la práctica empresarial.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Desarrollar habilidades técnicas y administrativas de ingeniería civil en el campo de la supervisión de proyectos geotécnicos a cargo de la empresa SISMOINGENIERIA P.S. SAS.

1.2 Objetivos Específicos

- Comprender la función de supervisión como elemento clave para el cumplimiento de los proyectos geotécnicos mediante la aplicación de la normativa vigente.
- Establecer los elementos asociados a los procesos de obra, exploración y muestreo para permitir el alcance de los estándares de control de calidad.
- Adquirir competencias de carácter profesional para la ejecución de ensayos de campo y pruebas de laboratorio, con la generación de informes técnicos.

2. Marco conceptual

2.1 Estudios geotécnicos

La realización de estudios geotécnicos es un proceso exigido por las diversas entidades que otorgan licencias de construcción. Por medio de ellos se pueden conocer las diferentes propiedades del suelo donde se desea realizar una construcción y evaluar su fiabilidad ante las solicitaciones. El título H del Reglamento Sismo Resistente Colombiano (NSR-10) abarca los parámetros que se exigen en la realización de estos estudios en campo.

Figura 1

Realización de estudio geotécnico para construcción de torres de alta tensión, Tibasosa/Boyacá.



2.1.1 Ensayos de campo

Los ensayos de campo comprenden el uso de equipos especializados, los cuales son operados por personas capacitadas, lo que comprende la toma de muestras alteradas, para su

posterior análisis en laboratorio. Durante el desarrollo de las prácticas en SISMOINGENIERIA P.S. SAS se evidenció el uso de dos tipos de equipos para la realización de ensayos de campo:

2.1.2 Equipo manual

Figura 2.

Sondeos manuales para tanques de almacenamiento Hospital Regional de Duitama.



Es el equipo mayormente empleado para los sondeos geotécnicos, debido a su practicidad en el uso y transporte. Requiere de dos operadores, los cuales deben usar los correctos elementos de seguridad. El equipo manual para sondeos se compone de los siguientes elementos:

- **Pesa:** Está hecha generalmente de acero, con un peso 63.50 kg y cuenta con dos orejas para su transporte y uso en campo.
- **Golpeador:** Es el objeto contra el cual cae la pesa durante la realización de los sondeos manuales.

- **Trípode y extractor:** Es el elemento con el que se extrae la tubería hincada en tierra, como se puede observar en la ilustración 3.
- **Tubería:** Se encuentran tuberías de diversos tamaños (1.0, 1.3, 1.5 o 2.0 metros) las cuales cuentan con acoples para realizar las conexiones e ir sumando el metraje necesario que se requiere perforar en cada sondeo.
- **Cuchara partida:** Es el muestreador que obtiene la fracción de suelo en el sondeo geotécnico. Para la caracterización en laboratorio, lo que se recupera en la punta comprende la muestra para contenido de humedad, y lo que se encuentra en la cuchara partida es la muestra de clasificación.
- **Tubos Shelby:** Son tubos de pared delgada, con los que se realiza la recuperación de muestras para los ensayos de compresión inconfiada, corte directo, consolidación unidimensional, o expansión.
- **Herramienta menor:** Son los diversos elementos que permiten el correcto funcionamiento del equipo principal.

Figura 3

Extracción de muestras usando el trípode, Hospital de Sora/Boyacá.



Figura 4

Muestra obtenida para humedad(derecha) y clasificación(izquierda).



2.1.3 Equipo mecánico

El equipo mecánico se usa para sondeos geotécnicos que requieran profundidades mayores a 6.0 metros, pero no superiores a 20.0 metros. Se compone de:

- **Motor:** Se compone de un sistema de poleas que genera empuje para permitir la rotación de la tubería.
- **Motobomba:** Para su uso se requiere la construcción de un pozo temporal que sirva de retroalimentación al motor. Cabe recalcar que el barrenado requiere del uso de agua.
- **Barrena NQ:** Es el muestreador del equipo, tiene una longitud de 1.6 metros y en su punta tiene una broca, la cual se encarga de penetrar los materiales rocosos y tomar las muestras.
- **Estructura:** Se compone de tres tubos, la base y el soporte de las poleas y el motor.

El equipo mecánico obtiene muestras inalteradas en forma de núcleos, que generalmente son de roca, pero en algunos casos se puede obtener material granular o arcilloso.

Figura 5

Equipo mecánico empleado para estudio geotécnico de construcción de vivienda multifamiliar de 4 niveles y comercio.



Figura 6

Núcleos de arenisca extraídos en exploración geotécnica para construcción de vivienda multifamiliar.

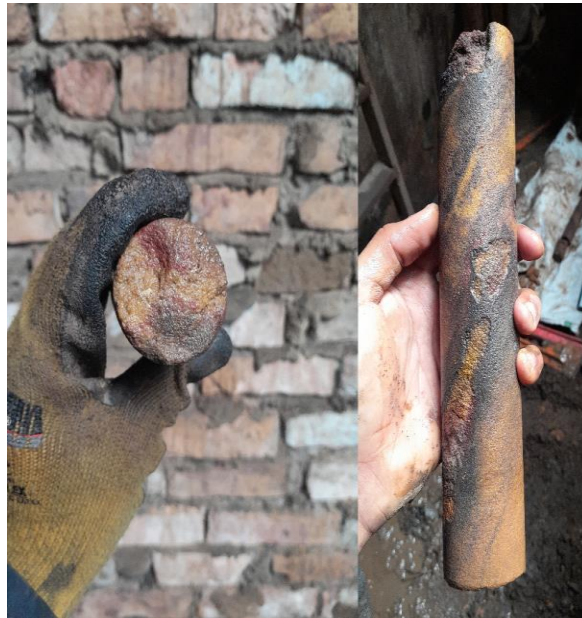


Figura 7

Ensamblaje completo del equipo mecánico.



Figura 8

Extracción de muestras inalteradas con barrenado. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.



2.2 Ensayo SPT (Standard Penetration Test)

Procedimiento realizado durante la exploración geotécnica y consiste en conducir un muestreador de tubo partido o tubo de pared delgada, por medio de golpes con una pesa de 63.5 kilogramos, cada 15 centímetros, con una altura de caída libre de 76 centímetros, con la finalidad de obtener muestras alteradas representativas para hacer trabajos de clasificación y cálculo de parámetros, estimar la resistencia del suelo y su capacidad portante. (INVIAS, 2013)

2.2.1 Limitaciones del ensayo

La NSR-10, en la sección H.3.2.5 — PROFUNDIDAD especifica que por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la profundidad indicada, afectada a su vez por los siguientes criterios, los cuales deben ser justificados por el ingeniero geotecnista:

- (a) Profundidad en la que el incremento de esfuerzo vertical causado por la

edificación, conjunto de edificaciones, sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo vertical en la interfaz suelo-cimentación.

(b) 1.5 veces el ancho de la losa corrida de cimentación.

(c) 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.

(d) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme, de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción:

- **Categoría Baja**, los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales.

-**Categoría Media**, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados;

-**Categoría Alta y Especial**, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de los pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa.

Tabla 1

Clasificación de las unidades de construcción por categorías. Fuente: NSR-10, H.3.1.1.

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4000 kN
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4001 y 8000 kN
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8000 kN

Tabla 2

Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción. Fuente: NSR-10, H.3.2.3.

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

2.3 Ensayos de laboratorio

Son las pruebas realizadas a las muestras alteradas e inalteradas que se obtienen en los procedimientos de campo. Dichas muestras deben ser almacenadas, empacadas y transportadas según lo indica la normativa INV E-103-13. Entre los ensayos mayormente realizados durante las prácticas empresariales en SISMOINGENIERIA se encuentran:

2.3.1 Ensayos de clasificación y resistencia al corte

2.3.1.1 Contenido de humedad-INV E 122-13

Hace referencia a la determinación en laboratorio del contenido de agua(humedad), por masa, de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Esta norma exige el secado del material en un horno a $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). El contenido de agua por masa es la relación, expresada en porcentaje, entre la masa de agua que llena los poros (agua libre) del material, y la masa de las partículas sólidas de éste. (INVIAS, 2013)

2.3.1.2 Límite líquido-INV E 125-13

Es el porcentaje de humedad en el que el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico, también se puede definir como el contenido de agua que se requiere agregar en la cazuela de Casagrande sometida a 25 golpes con una caída de 10 mm a razón de 2 golpes por segundo.

En la norma INV E 125 – 13, se describe el procedimiento a seguir para el ensayo. Uno de los resultados obtenidos del ensayo es la curva de fluidez ilustración 10, en la cual representa la

relación entre el contenido de humedad y el número de golpes de la cazuela de Casagrande.
(INVIAS, 2013)

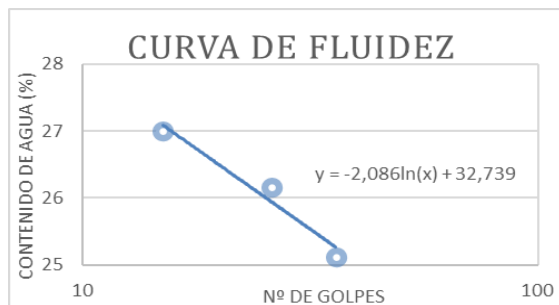
Figura 9

Realización de ensayo de límite líquido. Fuente: Autores.



Figura 10

Curva de fluidez. Fuente: Autores.



2.3.1.3 Límite plástico-INV E 126-13

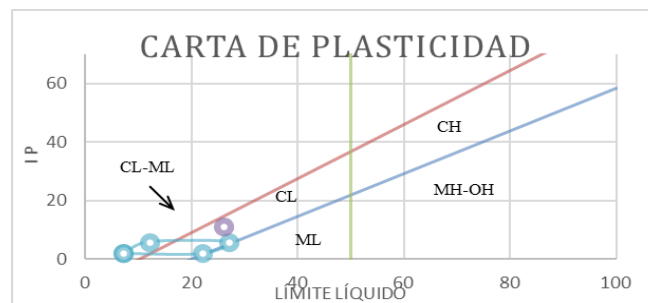
Es el contenido de humedad en el que el suelo cambia de estado plástico a uno semisólido a este fenómeno se conoce como límite plástico. También se define como el contenido de humedad en el que el suelo se agrieta al formar rollitos de 3.20 mm de diámetro aproximadamente, este proceso se explica a detalle en la norma INVE 126-13 (INVIAS, 2013)

2.3.1.4 Índice de plasticidad-INV E 126-13

Se calcula como la diferencia entre el límite líquido menos el límite plástico y es el rango de humedad en el que el suelo se comporta plásticamente (INVIAS, 2013). Con el índice de plasticidad, el límite líquido y la granulometría se puede realizar la carta de plasticidad la cual sirve para clasificar el suelo de acuerdo al método SUCS o AASHTO, según se requiera.

Figura 11

Carta de plasticidad. Fuente: Autores.



2.3.1.5 Lavado sobre tamiz N°200-INV E 214-13

Consiste en determinar la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) en una muestra de suelo de que contiene agregados o materiales mixtos.

Durante el ensayo, se separan los materiales finos (limo, arcilla, polvo, materiales solubles en agua) mediante la percolación con agua, de manera que el material retenido en el tamiz pueda ser usado para realizar la clasificación granulométrica correspondiente a la muestra de suelo. (INVIAS, 2013)

2.3.1.6 Granulometría por tamizado para agregados o concretos-INV E 123-13

La norma INV E-123-13, describe el procedimiento de la granulometría por tamizado, La cual consiste en determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de $75 \mu\text{m}$ (No. 200).

Con este ensayo se obtiene la curva granulométrica, de la cual se pueden extraer los porcentajes de grava, arena y finos, así como los coeficientes de uniformidad y curvatura. De esta manera, será posible realizar la clasificación correspondiente de la fracción de suelo estudiada por el método requerido, SUCS o AASHTO, según corresponda. (INVIAS, 2013)

Figura 12

Curva de distribución de tamaño de partícula.

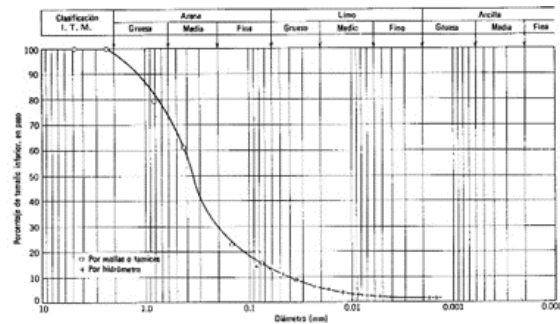


Figura 13

Serie de tamices empleada para el ensayo de granulometría. Fuente: Autores



2.3.1.7 Compresión inconfínada (muestra de Shelby) INV E-152-13

Esta norma describe el ensayo para determinar la resistencia a la compresión no confinada de suelos cohesivos, mediante la aplicación de una carga axial con control de deformación. El objetivo básico del ensayo de compresión inconfínada es obtener, de manera rápida, un valor de la resistencia a la compresión de aquellos suelos que tienen la cohesión suficiente para ser ensayados en condición inconfínada. (INVIAS, 2013)

Figura 14

Ensayo de compresión inconfínada. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.



2.3.1.8 Peso unitario-método peso y dimensiones

Consiste en la estimación de los pesos unitarios húmedos de muestras obtenidas con la cuchara partida, para los estudios geotécnicos donde por limitaciones del suelo (suelo granular, arenoso, poco compacto) no fue posible obtener muestras con el tubo Shelby. El método consiste en estimar el diámetro, altura y peso de las diferentes muestras por sondeo, con la finalidad de obtener los pesos unitarios que permitan calcular con precisión parámetros como la resistencia del suelo y capacidad portante. (INVIAS, 2013)

2.3.1.9 Consolidación unidimensional de suelos-Método A-INV E- 151-13

Este método se desarrolla aplicando de manera constante cada incremento de carga (0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 kg) durante veinticuatro (24) horas o múltiplos de este tiempo. Posteriormente a la fase de carga, se realiza la fase de descarga, en un lapso de 24 horas se cada pesaje agregado en periodos de 2 horas de diferencia.

Con los datos estimados mediante el método gráfico se obtiene la curva de compresión de la muestra y los resultados combinan las deformaciones debidas a consolidación primaria y secundaria. (INVIAS, 2013)

2.3.1.10 Ensayo de carga puntual en rocas irregulares-ASTM D-5731-16

El ensayo de carga puntual es empleado para determinar la resistencia a la compresión simple de fragmentos irregulares de roca, a partir del índice de resistencia de carga puntual (I_s), de tal forma que el stress aplicado se convierte a valores aproximados del UCS, según el diámetro de la muestra. El procedimiento consiste en romper una muestra ubicada entre dos puntas cónicas metálicas accionadas por una prensa hidráulica. (D18 Committee, s. f.)

Figura 15

Máquina para la realización del ensayo de carga puntual. Fuente: Autores.



2.3.1.11 Resistencia a la degradación de los agregados por medio de la máquina de los ángeles-INV E-218-13

En este ensayo se mide la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo.

A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y por medio de relaciones porcentuales se determinan el grado de abrasión y desgaste del material. (INVIAS, 2013)

2.3.1.12 Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfatos de sodio o de magnesio-INV E 220-13

Este ensayo permite evaluar la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos y para otros propósitos. El efecto de la degradación por sulfatos se simula sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio, seguida de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado. Luego de terminado el ensayo, se estiman los porcentajes de pérdida para cada fracción de agregado, o para la fracción total. (INVIAS, 2013)

2.3.1.13 Diseño de mezclas

Los diseños de mezcla son realizados para ensayos de clasificación de materiales de agregados para canteras, con la finalidad de medir en laboratorio su resistencia. Los materiales usados, por lo general, son gravas, arenas, cemento y agua, siendo los dos primeros provenientes de ensayos de clasificación (gravedad específica, masa unitaria, granulometría) realizados con anterioridad.

Figura 16

Diseño de mezclas realizado para fundición de probetas de concreto. Fuente: Autores



La realización del diseño de mezclas conlleva el uso de dosificaciones, las cuales son suministradas por el cliente o calculadas en el laboratorio. Posteriormente se realiza la mezcla, se realiza la fundición de las probetas de concreto y se realizan sus respectivas fallas en los plazos establecidos.

2.3.1.14 Resistencia a la compresión del concreto INV E-410-13

Consiste en la rotura de probetas de concreto de diferentes edades, con la finalidad de evaluar su resistencia a la compresión. Para ello previamente se deben proporcionar al laboratorio las probetas fundidas y desencofradas en obra, o en dado caso de requerirse, realizar el diseño de

mezclas respectivo. En términos generales, se requiere evaluar la resistencia a los 7, 14 y 28 días, con la finalidad de garantizar la resistencia del concreto diseñado. Los cilindros a los 7 días deben tener una resistencia del 65%, a los 14 días 85% y a los 28 días el 100%. (INVIAS, 2013)

Figura 17

Máquina usada para rotura de probetas de concreto. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.



2.3.2 Patología estructural

La Patología estructural es el estudio sistemático y ordenado del comportamiento irregular de una estructura o sus elementos, cuando presenta algún tipo de falla o daño, causado por factores internos o externos que no garanticen su seguridad. En la ingeniería civil, el proceso de análisis patológico comprende procesos como la extracción de núcleos, la realización de regatas, la carbonatación y la esclerometría, entre otros.

2.3.2.1 Esclerometría con martillo Schmidt-ASTM C805-NTC 3692

El principio de funcionamiento consiste primordialmente en apoyar ligeramente la cabeza de la barra de percusión sobre la superficie a ensayar, se libera de su fijación y la barra se desliza, por sí misma, fuera del armazón. Esta barra de percusión se presiona sobre el lugar de la superficie

a ensayar, aumentando lentamente la presión hasta un poco antes de que desaparezca enteramente del armazón, momento en el cual se descarga el golpe del martillo. (C09 Committee, s. f.)

Figura 18

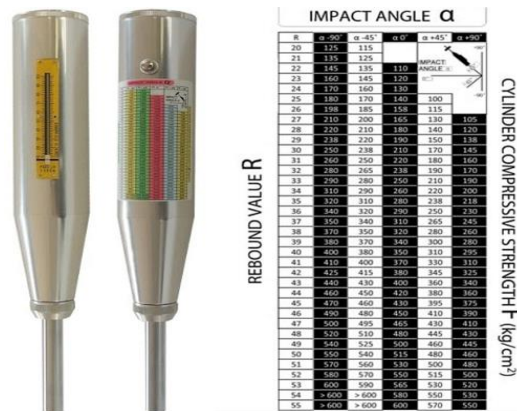
Realización del ensayo de esclerometría en campo con el martillo Schmidt, Pauna/Boyacá.



Esta lectura de la posición sobre la escala graduada representa la medida del retroceso en porcentaje con el avance del martillo. Este valor, leído en la gráfica, permite establecer la resistencia del concreto en función del ángulo de choque, por medio de una tabla de equivalencias presente en el esclerómetro.

Figura 19

Ficha técnica del esclerómetro o martillo Schmidt. Fuente: Sismoingeniería P.S SAS



2.3.2.2 Extracción de núcleos-NTC 3658

La extracción de núcleos es un procedimiento realizado para obtener muestras cilíndricas de elementos de concreto reforzado o pavimento vial. La máquina extractora se compone de un caballete que le da soporte mediante un tornillo anclado, una tolva que suministra agua al mecanismo, y una manivela de control, que permite avanzar o retroceder en la extracción. Las muestras que se obtienen usualmente son de 2'' o 4'' de diámetro, dependiendo del caso. Una vez extraídas las muestras, que su punto de extracción debe ser indicado por el ingeniero de la obra, especificando el elemento estructural y los refuerzos internos, en caso de conocerse, para realizar la extracción sin contratiempos. (Ingeniería civil y arquitectura. método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas., s. f.)

Figura 20

Proceso de extracción de núcleos de concreto de 4'' de espesor. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.



2.3.2.3 Prueba de Carbonatación-UNE-EN 13295-ASTM D1293

La prueba de carbonatación consiste en extraer núcleos de concreto y rociarles en una solución indicadora ácido – base (fenolftaleína en hidroalcohol 70% alcohol y 30% agua a 1%) y

posteriormente medir las profundidades de carbonatación. Cuando las profundidades de carbonatación alcanzan las zonas donde se encuentra el acero de refuerzo del elemento estructural, se presenta riesgo de corrosión en dicho elemento lo cual significa que la capacidad estructural puede verse afectada y se irá deteriorando de manera considerable con el paso del tiempo. (UNE-EN 13295:2005 Productos y sistemas para la protección y re..., s. f.)

Figura 21

Núcleo de concreto estructural extraído de la columna 2 piso 1. Estación de Policía Boavita.



2.3.2.4 Evaluación de regatas

Figura 22

Evaluación y análisis de refuerzo estructural en un elemento de concreto armado.



La evaluación de regatas como parte de una patología estructural consiste en la identificación de elementos estructurales que contengan concreto armado, para posteriormente realizar el retiro del material del elemento con la finalidad de descubrir e identificar visualmente el refuerzo estructural, analizando separaciones, diámetros, cantidad de varillas. Este procedimiento genera un indicador de la integridad estructural de los elementos, dado que el hallazgo de un refuerzo escaso es un indicador negativo en la patología estructural.

2.3.3 Ensayos para vías

2.3.3.1 Relación de soporte del suelo (CBR inalterado) INV E-148-13

Figura 23

Realización de ensayo CBR inalterado para vías rurales del municipio de Umbita, Boyacá.



Este ensayo permite la determinación de un índice de resistencia de los suelos de subrasante, subbase y base, para tamaños máximos a 19 mm (3/4"). El ensayo CBR se utiliza en diseño de pavimentos. En el ensayo, un pistón circular penetra una muestra de suelo a una velocidad constante. El CBR se expresa como la relación porcentual entre el esfuerzo requerido

para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm (0.1 o 0.2”) dentro de la muestra del ensayo, y el esfuerzo que se requirió para penetrar las mismas profundidades una muestra patrón de grava bien gradada. Se emplea para evaluar la resistencia potencial de materiales de subrasante, subbase y base, para su empleo en carreteras o pistas de aterrizaje. (INVIAS, 2013)

2.3.3.2 Apiques

Procedimiento realizado para la caracterización de los materiales presentes en la subrasante, subbase o base de un tramo vial. Consiste en la exploración con profundidad máxima de 1.00 metros, donde se realiza la toma de muestras para en ensayo CBR descrito anteriormente, y se realiza la prueba de cono dinámico PDC. La distancia entre apiques consecutivos para tramos rurales se considera que debe ser cada 250 metros hasta completar el tramo vial, con la finalidad de generar perfiles estratigráficos e indicadores de resistencia que generen parámetros para el diseño de pavimento o capa de rodadura según el tipo de vía que se desee construir. (INVIAS, 2013)

2.3.3.3 Densidad método cono y arena-INV E 161-13

Este ensayo se usa para determinar la densidad de los suelos compactados utilizados en la construcción de terraplenes, subrasantes, capas inferiores de pavimentos y rellenos estructurales. Se usa con frecuencia como base para la aceptación de suelos compactados a una densidad especificada o a un porcentaje de la densidad máxima determinada por el ensayo de Proctor Modificado.

Su uso está limitado a suelos en condición no saturada (no húmedos). Se puede usar este método para determinar, en el sitio, la densidad de depósitos naturales, agregados, mezclas de suelos u otros materiales similares. El procedimiento de este ensayo se encuentra descrito a detalle en la normativa referenciada. (INVIAS, 2013)

2.3.4 Pruebas sísmicas y telúricas

2.3.4.1 Ensayo de resistividad de suelo con telurómetro UNI-T U572, RA6-014

Figura 24

Uso del telurómetro UNI-T U572 para la medida de resistividad de suelo de proyecto de construcción.



La resistividad del suelo es un parámetro requerido, usualmente, en proyectos del grupo de uso IV (Especial), tales como estaciones de Policía, Hospitales, Torres de Energía, entre otros.

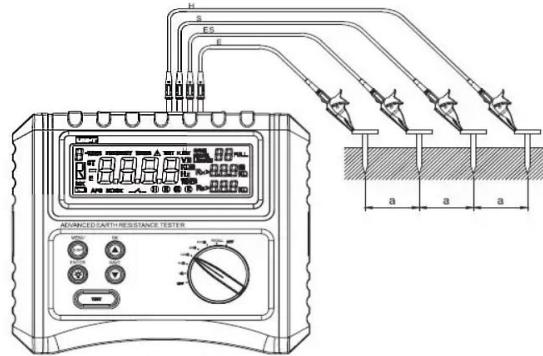
Por medio de 4 estacas metálicas, las cuales llevan conectados 4 electrodos, se mide la resistencia y resistividad del suelo, con la finalidad de diseñar una puesta a tierra que permita la instalación

de acometidas, que, dado el tipo de uso, van a tener alta demanda de potencial eléctrico.

(Colombiana S.A., s. f.)

Figura 25

Método de uso en campo de telurómetro UNI-T UT572 para medida de resistividad de suelo.



2.4 Análisis sísmico

El análisis se lleva a cabo siguiendo lo estipulado en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10, Capítulo A). Este documento permite evaluar la amenaza sísmica de acuerdo con la región estudiada.

En el Título A, Tabla A.2.3-2, se encuentran los valores del coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva (A_a), el coeficiente de velocidad horizontal pico efectiva (A_v) y la clasificación de amenaza sísmica según la ubicación geográfica. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, s. f.)

2.4.1 Cálculo del Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño

A partir de los coeficientes A_a y A_v , junto con el tipo de perfil del suelo, se determinan los valores de los factores de amplificación sísmica, F_a y F_v , según las Tablas A.2.4-3 y A.2.4-4. También se incluye el cálculo del coeficiente de importancia, como lo establece la sección A.2.5 y A.2.5.2 de la norma. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia, s. f.)

2.5 Análisis de capacidad portante de suelo

La capacidad portante se refiere al máximo soporte de carga del suelo, expresado en unidades de presión, antes de que ocurra una falla por corte. El SPT relaciona la profundidad del suelo con el número de golpes requeridos. Para este cálculo, es esencial conocer propiedades geomecánicas como el peso específico, cohesión, ángulo de fricción y los parámetros obtenidos durante el SPT o a través de apiques (Das, 2012).

2.5.1 Teorema general de Terzaghi para cimentaciones superficiales

En 1943, Terzaghi desarrolló una teoría integral para determinar la capacidad última de carga en cimentaciones superficiales, las cuales se definen como aquellas cuya profundidad es menor o igual a su ancho. Investigaciones posteriores ampliaron este criterio, considerando también cimentaciones con profundidades de hasta tres o cuatro veces su ancho como superficiales. (Das, 2012).

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

Donde:

c: Cohesión del suelo; *γ*: Peso específico del suelo; *q*: γD_f

$$N_c, N_q, N_\gamma$$

: Factores de capacidad de carga adimensionales que están únicamente en función del ángulo de fricción del suelo.

2.5.2 Asentamientos elásticos

La evaluación de asentamientos elásticos se hace por el método endométrico, con la siguiente expresión:

$$\Delta H = \frac{Q_0 * (1 - \nu^2)}{1,25 * E_s * \sqrt{\frac{B}{L}}}$$

Donde ΔH es el asentamiento inmediato, Q_0 es la sobrecarga en KN, que para este caso se utilizará el valor de capacidad portante en cada segmento, B es el ancho del cimiento, ν la relación de Poisson, E_s es el módulo elástico del suelo e L es el largo del cimiento.

2.6 Informes geotécnicos

Los informes geotécnicos son el compendio de todos los procesos realizados en la exploración y en laboratorio. El contenido sugerido por la NSR-10 es el siguiente:

A. Del proyecto: nombre, objetivo del estudio, descripción general del proyecto y evaluación de cargas preliminares.

B. Del subsuelo: resumen del reconocimiento de campo, morfología del terreno, características físico-mecánicas y descripción de las aguas subterráneas (en caso de encontrarse)

C. Identificación de los estratos identificados en campo, parámetros de las pruebas de campo y de laboratorio, definición de parámetros geo-sísmicos y establecimiento de la presencia de suelos con características especiales.

D. De los análisis geotécnicos: resumen de los análisis y criterios geotécnicos adoptados.

E. De las recomendaciones de diseño: parámetros geotécnicos preliminares para el diseño estructural.

H. Anexos: localización regional y local del proyecto, registros de perforación, resultados de pruebas de campo y laboratorio, memorias de cálculo, resumen de resultados en forma gráfica y registro fotográfico. Para el perfeccionamiento ESTUDIO GEOTÉCNICO DEFINITIVO, se requiere del suministro de las cargas estructurales definitivas, y dimensiones de los cimientos; además de la implantación arquitectónica definitiva del proyecto (Planta y corte).

Además de los aspectos mencionados en el estudio preliminar, el informe definitivo contendrá los siguientes numerales exigidos por la NSR-10:

(a) Las recomendaciones definitivas para diseño como: tipo de cimentación, profundidad de apoyo, presiones admisibles, asentamientos calculados parámetros de interacción suelo estructura entre otros requeridos.

(b) Recomendaciones para la protección de edificaciones y predios vecinos

(c) Recomendaciones para la construcción: opciones u alternativas para los problemas surgidos de las excavaciones y la construcción como tal.

(d) Sistema geotécnico constructivo.

3. Metodología

A continuación, se presentan de forma detallada las actividades programadas durante las 16 semanas de labores en SISMOINGENIERIA P.S. SAS:

Tabla 3

Metodología de trabajo adoptada durante el desarrollo de las prácticas empresariales. Fuente: Autores.

Fase	Actividades
1. Inducción inicial.	Reconocimiento de las instalaciones del laboratorio, de las diversas máquinas, equipos, personal de trabajo, metodologías de trabajo.
2. Toma del cargo como auxiliar de ingeniería civil.	Asignación de actividades por parte de la tutora, asignación de horarios de trabajo, dotación, contextualización de los proyectos en desarrollo, capacitación para la realización de los diversos ensayos, asignación de correo empresarial, entrega de hojas de cálculo y dominios de la empresa.
3. Desarrollo de actividades preliminares.	Gestión documental de los diferentes proyectos a realizar, incluyendo realización de cotizaciones, análisis de propuestas, mejoras en el sistema de gestión de calidad, así como la realización de capacitaciones sobre procesos internos de la empresa.
4. Desarrollo de actividades de campo.	Supervisión de procesos de sondeos geotécnicos, toma de muestras, rotulamiento, diligencia de formatos de campo, registro fotográfico, transporte de equipos.
5. Desarrollo de actividades de laboratorio.	Recepción de muestras, realización de ensayos de laboratorio según INVE, NTC, ASTM. Correcta manipulación y realización de procesos, manejo de tiempos de secado y almacén de especímenes. Limpieza de equipos y máquinas, realización de inventario. Creación de paquetes de formularios donde se plasmen los resultados de los ensayos de laboratorio.
6. Desarrollo de actividades de oficina.	Transcripción de resultados de laboratorio a hojas de cálculo dispuestas por la empresa o creadas por el practicante, estimación de parámetros geotécnicos tales como porcentajes de humedad, índices de plasticidad, cohesión, ángulo de fricción, peso específico, resistencia a la compresión, tipo de suelo, tipo de amenaza sísmica, asentamientos elásticos, capacidad portante.
7. Documentación geotécnica.	Realización de informes geotécnicos de cada estudio correspondiente, donde se presenten de forma gráfica y numérica los resultados obtenidos en laboratorio, y donde se presenten conclusiones técnicas de los diversos parámetros analizados, con la finalidad de generar un diagnóstico del tipo de suelo hallado y sus propiedades geomecánicas e hidráulicas. También se presentarán una serie de recomendaciones para las cimentaciones, según el tipo de estructura.
8. Documentación final.	Realización de informe final que documenta el proceso desarrollado durante las 16 semanas de prácticas empresariales, que genera un soporte para el proyecto de grado, así como un compendio de las actividades realizadas como cumplimiento de los objetivos propuestos.

4. Resultados

4.1 Resultados objetivo específico 1:

Las actividades relacionadas al cumplimiento del objetivo específico 1, fueron las siguientes:

- Realización de inventario inicial.
- Identificación de zonas geológicas en el marco del desarrollo de los estudios geotécnicos.
- Identificación de puntos adecuados para la realización de los sondeos.
- Verificación del uso de elementos de protección personal por parte de los trabajadores.
- Clasificación visual de los tipos de suelo hallados describiendo color, consistencia, plasticidad, humedad, granulometría.
- Revisión el estado de las uniones para las diversas tuberías, de la pesa y del golpeador.
- Conteo de golpes para el ensayo SPT, verificando que efectivamente se descenden 15 centímetros por cada franja.
- Verificación de la altura de caída libre de la pesa, que debe ser de 76 centímetros por encima de los hombros de los operadores, quienes, deben alzar la pesa con los dos brazos de forma simultánea.
- Revisión de la extracción de la tubería por parte de los operadores usando el trípode.
- Rotulamiento y embalaje de muestras alteradas obtenidas, mediante la escritura de la información correspondiente a sondeo, construcción, y fecha en los diversos stickers con el membrete empresarial, muestra; para clasificación y humedad.

- Diligenciamiento de formatos de campo, en los cuales se plasma el número de golpes obtenidos por cada franja de 45 centímetros, la presencia de nivel freático, entre otros.
- Registro fotográfico de la zona, de las muestras, de los procesos y de los operadores.
- Retirada de equipos, realizando inventario de llegada para controlar posible pérdida de equipos o herramientas.

Figura 26

Correcta demarcación de las franjas de 15 centímetros necesarias para la realización del ensayo SPT



4.2 Resultados objetivo específico 2:

Las actividades relacionadas al cumplimiento del objetivo específico 2, fueron las siguientes:

- Revisión y actualización de inventario de equipos existentes en el laboratorio.
- Capacitaciones para el aprendizaje de ensayos de laboratorio, entre ellas densidad método cono y arena, límites y lavados, granulometría, compresión inconfiada,

CBR, así como los ensayos de resistividad y patología estructural, llevadas a cabo por los ingenieros de SismoIngeniería.

- Preparación y calibración de equipos para la realización de sondeos, incluyendo la realización de inventario local de los mismos.

Figura 27

Organización del marco de actividades a realizar, para las diferentes exploraciones geotécnicas

PROGRAMACION	FECHA	Hum	Unsat. Water	Peso Unit	Inert	Com. Relación	Carbe	Enredo
Manarelli	23/08	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Barrinque	23/08	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Son Pedro de	24/08	muestras entregadas						
Elonchana	22/08	OK	OK	OK				
Duarte	27/08							
Chanche	26/08	OK	OK	OK		OK		
Valencia	29/08	OK				OK		

- Almacén de dotaciones y su respectivo cuidado, teniendo en cuenta los diversos elementos de seguridad tales como casco, botas, overol, protector de oídos, gafas, guantes, fajas, entre otros.
- Revisión de estado de los equipos y máquinas y posible solicitud de calibración, en caso de ser necesario.
- Programación de exploraciones geotécnicas.
- Revisión y actualización de formatos de laboratorio y de campo.
- Revisión de hojas de cálculo existentes, actualizando métodos para la estimación de parámetros y la apariencia estética de las mismas.

- Gestión de préstamo de equipos a personas externas al laboratorio, por medio de la toma de datos de contacto y uso de formatos de registro.
- Realización de cotizaciones para proyectos dentro y fuera del departamento de Boyacá, mediante un documento formal, las listas de precios desglosadas según el tipo de actividades a realizar.
- Verificación de la correcta realización de los ensayos en laboratorio, haciendo uso de los diversos documentos impresos o digitales con los que cuenta la empresa, siguiendo el paso a paso correspondiente y los respectivos tiempos de secado para las muestras ensayadas.
- Diligenciamiento de formatos de laboratorio, con datos de proyecto, cliente/empresa, tipo de material, entre otros.

4.3 Resultados objetivo específico 3:

Las actividades relacionadas al cumplimiento del objetivo específico 3, fueron las siguientes:

- Transcripción de resultados de laboratorio indicados a las hojas de cálculo de Sismoingeniería, para la obtención de parámetros tales como contenidos de humedad, límites de plasticidad, ensayo SPT, consolidación unidimensional, granulometría, pesos específicos, capacidad portante, entre otros. Dichos resultados deben contar con la revisión por parte de la ingeniera encargada, para su aprobación.

- Realización de informes geotécnicos, los cuales contienen la presentación de resultados obtenidos en laboratorio mediante gráficos, tablas, contexto geológico, contexto geográfico, sistema geotécnico constructivo, entre otros. La presentación de informes también pasa por una revisión por parte de la ingeniera encargada, a fin de ser entregado al cliente cuando corresponda.
- Aplicación del criterio técnico en la sección de recomendaciones geotécnicas, usando lenguaje adecuado para realizar sugerencias basadas en la gestión documental previa y lo observado en campo, de tal manera que los resultados presentados sean adecuados para garantizar la seguridad estructural del proyecto en desarrollo.

4.4 Proyectos

Se realizaron actividades en aproximadamente 40 proyectos en el departamento de Boyacá (la gran mayoría) y otros fuera de este, donde se apoyó la planeación, organización y realización de informes geotécnicos, cumpliendo así con la ejecución de las actividades propuestas.

4.4.1 Participación en proyectos.

A continuación, se listan los proyectos más relevantes que se desarrollaron durante el periodo de prácticas empresariales:

- **Estudios geotécnicos, pruebas sísmicas y geológicas para 70 torres 500 KW como parte del tramo ‘Cuestecitas’ en el departamento de la Guajira, se encuentra actualmente en desarrollo.**
- Estudio geotécnico para la construcción de nueva Estación de Policía del municipio de **Boavita/Boyacá.**
- Realización de 82 apiques para estudios geotécnicos como parte de pavimentación de 5 tramos rurales en el municipio de **Tununguá/Boyacá.**
- Estudio geotécnico para la construcción de cubierta de piscina olímpica en el municipio de **Chiquinquirá/Boyacá.**
- Estudio de patología estructural para el colegio Nacionalizado de **Pauna/Boyacá.**
- Caracterización de materiales para canteras de agregados del municipio de **Cimitarra/Santander.**
- Estudio geotécnico para la construcción de vivienda multifamiliar de 4 niveles y comercio en **Tunja/Boyacá.**
- Estudio geotécnico para la construcción de torres de alta tensión como parte de la línea Coralina, en el municipio de **Tibasosa/Boyacá.**

4.5 Análisis de resultados

A continuación, se presentan los resultados del estudio geotécnico para la estación de Policía del municipio de Boavita, Boyacá, cuyos sondeos geotécnicos incluyeron ensayos de clasificación, resistencia al corte, resistividad y patología estructural:

Figura 28

Variación de humedad en los 4 estratos analizados, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.

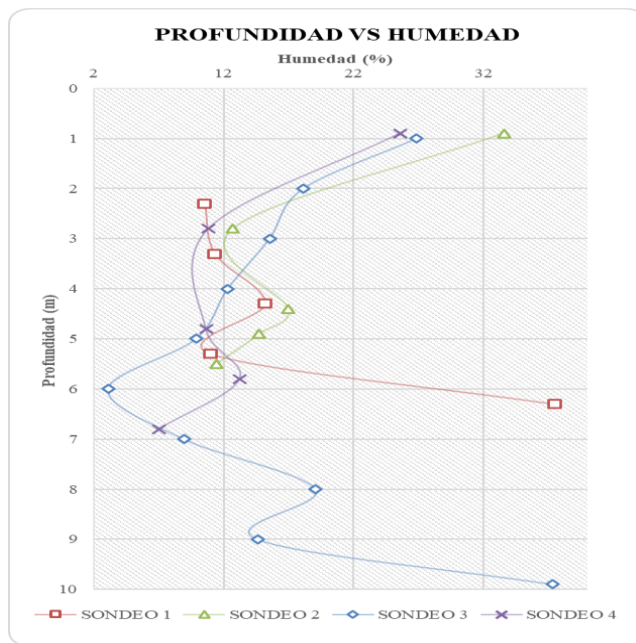


Tabla 4

Resultados de ensayo de compresión confinada, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.

RESIST. A C.I. qu (Kg/cm2)	0,99
COHESIÓN (Kg/cm^2)	0,50
TIPO DE MUESTRA	Inalterada
RELACIÓN ALT./DIÁM.	2,0
CONSISTENCIA	Mediana

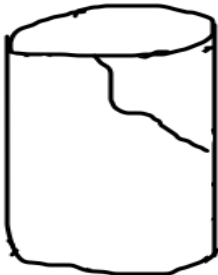


Figura 29

Resultados de ensayo de granulometría por tamizado, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.

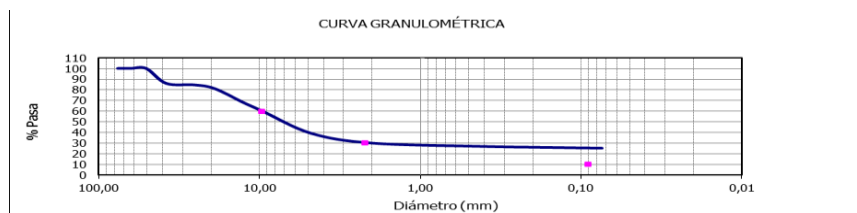


Tabla 5

Resultados de clasificación mediante ensayo de límites y lavados, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.

Sondeo	Prof. (m)		% Gravas		LL (%)	LP (%)	IP(%)	w (%)	Descripción	
1	1,30-2,30	GC	31,9	30,1	38,0	30,0	19,0	10,52	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA	
	2,30-4,30	SC	27,7	36,5	35,8	38,0	19,5	18,5	11,30	ARENA ARCILLOA CON GRAVA
	4,30-6,30	GC	29,9	28,9	41,3	35,6	22,3	13,3	11,02	GRAVA ARCILLOSA GRUESA CON MUCHA ARENA
2	0,0-0,9	CL	21,6	23,4	55,0	38,1	23,6	14,5	33,57	ARCILLA DELGADA CON ARENA Y GRAVA
	0,9-1,8	GM	42,6	21,0	36,5	33,9	27,8	6,1	12,67	GRAVA LIMOSA CON ARENA
	1,8-4,3	SM	16,3	41,1	42,6	21,0	20,1	0,9	16,93	ARENA LIMOSA CON GRAVA
	4,30-5,50	GM	47,7	26,1	26,2	26,9	23,4	3,5	14,74	GRAVA LIMOSA CON ARENA
	5,50-7,30	SM	10,2	45,9	43,8	25,5	22,4	3,1	11,43	ARENA LIMOSA
3	0,0-1,00	ML	15,6	32,2	52,2	34,0	29,8	4,2	26,83	LIMO ARENOSO CON GRAVA
	1,00-2,00	CH	0,9	9,5	89,6	56,5	25,3	31,2	18,13	ARCILLA GRUESA
	2,00-6,00	GC	23,3	40,8	35,9	32,1	19,7	12,4	12,32	GRAVA ARCILLOSA CON MUCHA ARENA
	6,00-7,00	SC	19,2	39,4	41,4	26,1	15,0	11,1	8,96	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
	7,0-8,0	SC	21,8	41,2	37,0	30,6	17,0	13,6	19,10	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
8,0-9,9	SC	23,3	38,3	38,4	34,2	19,6	14,6	37,32	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	
4	0,0-0,9	CL	17,7	31,7	50,5	38,2	21,7	16,6	25,56	ARCILLA DELGADA ARENOSA CON GRAVA
	0,9-1,8	MH	0,0	24,0	76,0	57,4	30,5	26,9	10,86	LIMO PLASTICO CON ARENA
	1,8-2,8	SC	21,4	36,2	42,3	38,0	21,3	16,6	10,65	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
	2,8-6,8	SC-GC	36,2	37,8	26,0	27,4	16,4	10,9	7,02	ARENA LIMOSA CON GRAVA

Tabla 6

Resultados de análisis y estimación de ensayo SPT de campo, Estación de Policía, Boavita/Boyacá.

No. Sondeo	Profundidad (m)		No Golpes			N de campo	Phi	C Kg/cm2)	Qu (Kg/cm2)
	de	a	N1	N2	N3				
1	1,30	1,75	7	10	8	13	34,62	1,34	2,68
	2,30	2,75	26	20	16	23	38,90	2,18	4,36
	3,30	3,75	18	16	14	18	36,88	1,83	3,67
	4,30	4,75	15	18	17	19	37,30	1,99	3,98
	5,30	5,75	10	18	14	16	36,01	1,44	2,89
2	1,80	2,25	6	5	8	10	32,56	0,95	1,90
	2,80	3,25	5	8	11	8	31,39	0,80	1,60
	4,00	4,45	32R	0	0	0	22,37	0,00	0,00
	4,30	4,75	10	11	9	20	30,77	0,72	1,44
	4,90	5,35	10	5	5	10	27,72	0,37	0,75
3	1,00	1,45	5	4	6	7	30,77	0,79	1,58
	2,00	2,45	5	7	7	10	32,56	1,05	2,10
	3,00	3,45	7	8	11	12	33,62	1,26	2,52
	4,00	4,45	8	7	12	11	33,10	1,21	2,42
	5,00	5,45	7	8	9	9	31,99	0,88	1,75
	6,00	6,45	10	13	8	11	33,10	1,03	2,05
	7,00	7,45	11	12	10	6	30,10	0,64	1,28
	8,00	8,45	9	12	8	5	29,38	0,55	1,11
9,00	9,45	6	8	12	20	29,38	0,55	1,11	
4	1,80	2,25	5	8	7	15	30,77	0,72	1,44
	3,80	4,25	6	7	5	7	30,77	0,84	1,67
	4,80	5,25	7	7	5	7	30,77	0,84	1,67
	5,80	6,25	8	7	10	9	31,99	1,06	2,12

Tabla 7

Análisis de capacidad portante usando la metodología de Terzaghi para cimentaciones superficiales.

	B	L	B/L	Df/B	A	F _{cs}	F _{qs}	F _{γs}	F _{cd}	F _{qd}	F _{γd}	F _{ci}	F _{qi}	F _{γi}	γ'	q	1	2	3	σ _u	σ _{adm}	σ _{adm}	F _a
	(m)	(m)			(m ²)	FACTORES DE FORMA			FACTORES DE PROFUNDIDAD			FACTORES DE INCLINACIÓN			kN/m ³	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²	T/m ²	kN	
ZAPATAS INDEPENDIENTES CUADRADAS	0,80	0,80	1,00	1,75	0,64	1,55	1,50	0,60	1,42	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	790,28	74,01	864,3	288,1	29,4	184,4
	1,00	1,00	1,00	1,40	1,00	1,55	1,50	0,60	1,38	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	771,83	92,52	864,3	288,1	29,4	288,1
	1,50	1,50	1,00	0,93	2,25	1,55	1,50	0,60	1,37	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	768,69	138,78	907,5	302,5	30,8	680,6
	2,00	2,00	1,00	0,70	4,00	1,55	1,50	0,60	1,28	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	726,10	185,03	911,1	303,7	31,0	1214,8
	2,50	2,50	1,00	0,56	6,25	1,55	1,50	0,60	1,22	1,17	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	700,54	231,29	931,8	310,6	31,7	1941,3
	3,00	3,00	1,00	0,47	9,00	1,55	1,50	0,60	1,19	1,14	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	683,51	277,55	961,1	320,4	32,7	2883,2
	3,50	3,50	1,00	0,40	12,25	1,55	1,50	0,60	1,16	1,12	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	671,34	323,81	995,2	331,7	33,8	4063,5
	4,00	4,00	1,00	0,35	16,00	1,55	1,50	0,60	1,14	1,11	2,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	662,21	740,14	1402,4	467,5	47,7	7479,2
	4,50	4,50	1,00	0,31	20,25	1,55	1,50	0,60	1,12	1,09	3,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	655,12	1248,98	1904,1	634,7	64,7	12852,7
ZAPATAS INDEPENDIENTES RECTANGULARES	0,80	1,60	0,50	1,75	1,28	1,27	1,25	0,80	1,42	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	658,07	98,68	756,8	252,3	25,7	322,9
	1,00	2,00	0,50	1,40	2,00	1,27	1,25	0,80	1,38	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	642,70	123,36	766,1	255,4	26,0	510,7
	1,20	2,40	0,50	1,17	2,88	1,27	1,25	0,80	1,34	1,26	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	629,27	148,03	777,3	259,1	26,4	746,2
	1,50	3,00	0,50	0,93	4,50	1,27	1,25	0,80	1,37	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	640,09	185,03	825,1	275,0	28,0	1237,7
	2,00	4,00	0,50	0,70	8,00	1,27	1,25	0,80	1,28	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	604,62	246,71	851,3	283,8	28,9	2270,2
	0,80	2,40	0,33	1,75	1,92	1,18	1,17	0,87	1,42	1,32	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	614,00	106,91	720,9	240,3	24,5	461,4
	1,00	3,00	0,33	1,40	3,00	1,18	1,17	0,87	1,38	1,29	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	599,66	133,64	733,3	244,4	24,9	733,3
	1,50	4,50	0,33	0,93	6,75	1,18	1,17	0,87	1,37	1,28	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	597,22	200,45	797,7	265,9	27,1	1794,8
	2,00	6,00	0,33	0,70	12,00	1,18	1,17	0,87	1,28	1,21	1,00	1,00	1,00	1,00	22,27	31,17	0,00	564,13	267,27	831,4	277,1	28,3	3325,6

Tabla 8 Estimación de los asentamientos elásticos por medio del método endométrico.

Estimación de los asentamientos elásticos por medio del método endométrico.

	B	L	B/L	Fa	As	As
	m	m		kN	m	mm
ZAPATAS INDEPENDIENTES CUADRADAS	0,80	0,80	1,00	184,40	0,0052	5,21
	1,00	1,00	1,00	288,10	0,0065	6,51
	1,50	1,50	1,00	680,60	0,0103	10,26
	2,00	2,00	1,00	1214,80	0,0137	13,73
	2,50	2,50	1,00	1941,30	0,0176	17,56
	3,00	3,00	1,00	2883,20	0,0217	21,73
	3,50	3,50	1,00	4063,50	0,0262	26,25
	4,50	4,50	1,00	12852,70	0,0646	64,57
ZAPATAS INDEPENDIENTES RECTANGULARES	0,80	1,60	0,50	322,90	0,006	6,453
	1,00	2,00	0,50	510,70	0,008	8,164
	1,20	2,40	0,50	746,20	0,010	9,941
	1,50	3,00	0,50	1237,70	0,013	13,191
	2,00	4,00	0,50	2270,20	0,018	18,147
	0,80	2,40	0,33	461,40	0,008	7,528
	1,00	3,00	0,33	733,30	0,010	9,572
	1,50	4,50	0,33	1794,80	0,016	15,619
	2,00	6,00	0,33	3325,60	0,022	21,705

Tabla 9**Análisis de compresión de núcleos de concreto, Boavita/Boyacá. Fuente: Sismoingeniería P.S. SAS.**

Probeta No	Tipo Estructura	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Carga (kg)	Carga (KN)	R L/d	Resistencia a la compresión		
								(kg/cm ²)	(Psi)	(%)
1	Columna 1 primer piso	10,00 10,00	20,00 20,00	78,54	9156,906	89,80	2,00	116,59	1658,29	55,28
2	Columna 3 segundo piso	10,10 10,00	20,00 20,00	79,33	6577,065	64,50	1,99	82,91	1179,27	39,31
3	Viga 1 segundo piso	10,00 9,90	21,00 19,00	77,76	8045,433	78,90	2,01	103,47	1471,69	49,06

Tabla 10**Análisis de refuerzo de elementos estructurales, Estación de Policía de Boavita/Boyacá.**

Regata No	Tipo Estructura	Diámetro (cm)		Espaciamiento (cm)	
		vertical	horizontal	vertical	horizontal
1	Piso 2-Viga 1	0,7	1,1	18,5	11,5
2	Piso 2-Viga 1	0,7	1,1	18,5	11,5
3	Piso 2- Columna 1	NO SE ENCONTRÓ REFUERZO			
4	Piso 2- Columna 1	NO SE ENCONTRÓ REFUERZO			
5	Piso 1-Columna 2	1,5	0,7	22	21,5
6	Piso 1-Columna 2	1,5	0,7	22	21,5
7	Piso 1- Columna 3	1,5	0,7	22	21,5
8	Piso 1- Columna 3	1,5	0,7	22	21,5

Los resultados obtenidos para el estudio geotécnico realizado en el municipio de Boavita indica una franja de suelo mixta, con presencia mayoritaria de gravas arcillosas de resistencia media alta, pero también con estratos arcillo-arenosos antes de los 6 metros, compuestos de rocas conglomeradas y arcillolitas de color gris.

Se presenta un suelo tipo C, con poca tendencia a la expansión y con regímenes de infiltración no detectados. Los valores de límite líquido y límite plástico en valores promedio de 35 y 20% respectivamente.

Así mismo, se presentan variaciones de humedad y de número de golpes para el ensayo SPT, esto debido a cambios de estrato o posible presencia de agua subterránea. De igual manera, al haber una franja de suelo con presencia de finos, es posible que estos se encuentren compactados, pero en presencia de secciones de arena esta resistencia decaiga o aumente, dependiendo del caso. De igual manera, el estudio de patología estructural realizado indica que la estructura existente (casona antigua) puede presentar un riesgo para las estructuras aledañas. En términos generales, se cuenta con una franja de suelo apta y con capacidad portante óptima para el tipo de construcción a realizar (Estación de Policía).

4.5.1 Valor agregado

Como valor agregado de la práctica empresarial, se realizó un manual técnico de recomendaciones para cimentaciones superficiales en torres de energía, como parte de la línea de alta tensión 500 KV UPME SOGAMOSO NORTE– TRAMO 7, cuyos sondeos geotécnicos fueron realizados por SISMOINGENIERIA P.S. SAS durante los meses de diciembre de 2022 y marzo de 2023, en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá y los sondeos que se encuentran en proceso de ejecución para la línea de alta tensión 500 KV UPME LA GUAJIRA–CUESTECITAS.

Dicho documento presenta un resumen de todos los procesos realizados, así como de los aspectos geológicos, geomorfológicos, técnicos y topográficos del tramo de torres de energía. El objetivo fundamental es el de facilitar la elección del tipo de cimentación en la realización de tramos de torres en el futuro, basado en estudios previos, lo que garantiza un criterio técnico adicional.

5. Conclusiones

La práctica empresarial como trabajo de grado es una gran oportunidad que permite la aplicación de conceptos vistos durante la etapa teórica vista en el plan de estudios de la carrera, adentrándose en el ámbito laboral, conociendo las diversas actividades que rodean el entorno que rodea la ingeniería civil.

En el proceso se apoyaron labores de campo, oficina y laboratorio. En el área de trabajo de campo, se realizaron labores de supervisión a procesos de toma y extracción de muestras inalteradas, incluyendo supervisión de sondeos geotécnicos para suelos y concretos. En el área de laboratorio se apoyó la realización de ensayos técnicos avalados por las diversas normativas vigentes en el país. En el área de oficina se apoyó la realización de informes geotécnicos, aplicando los diversos conceptos teóricos para la estimación de parámetros de resistencia.

Entre las diversas destrezas adquiridas durante el periodo de prácticas empresariales, se destacan la obtención de criterio técnico ingenieril, la capacidad de trabajar en equipo, la comunicación asertiva y la resolución de problemas, las cuales serán muy importantes para el ejercicio de la ingeniería. Finalmente, se espera que las labores realizadas durante las prácticas empresariales brinden una experiencia inicial de cara a los desafíos que depara el futuro en el ejercicio de la Ingeniería Civil en Colombia o en el Exterior.

6. Referencias Bibliográficas

- C09 Committee. (s. f.). Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete. ASTM International. https://doi.org/10.1520/C0805_C0805M-18
- Colombiana S.A., C. (s. f.). RA6-014: Norma Técnica: Mediciones para el sistema de puesta a tierra. <https://www.essa.com.co/site/Portals/proveedores/ra6014%20norma%20tecnica%20para%20medicion%20de%20resistividad%20de%20suelo%20y%20de%20resistencia%20del%20SPT.pdf?ver=2024-02-01-002403-983>
- D18 Committee. (s. f.). Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D5731-16>
- Das, B. M. (2001). Principios de Ingeniería de Cimentaciones (4a ed). México: International Thomson Editores.
- Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones (7a ed). México, F.G: Cengage Learning.
- engineer.ahsin. (2023, marzo 2). Manual de usuario del probador de resistencia de tierra avanzado UNI-T UT572. Manuals+. <https://manuals.plus/es/uni-t/ut572-advanced-earth-resistance-tester-manual>
- Ingeniería civil y arquitectura. Método para la obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas. (s. f.). Recuperado 22 de enero de 2025, de <https://tienda.icontec.org/gp-ingenieria-civil-y-arquitectura-metodo-para-la-obtencion-y-ensayo-de-nucleos-extraidos-y-vigas-de-concreto-aserradas-ntc3658-2018.html>

- INVIAS. (2013). CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada, INV E-148-13.
- INVIAS. (2013). Compresión inconfiada en muestras de suelo, INV E-152-13.
- INVIAS. (2013). Consolidación unidimensional de suelos, INV E-151-13.
- INVIAS. (2013). Densidad y peso unitario del suelo en el terreno por el método del cono y arena, INV E-161-13.
- INVIAS. (2013). Determinación de la cantidad de material que pasa por el tamiz de 75 μm (No. 200) en los agregados pétreos mediante lavado, INV E-214-13.
- INVIAS. (2013). Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos, INV E-123-13.
- INVIAS. (2013). Determinación del límite líquido de los suelos, INV E-125-13.
- INVIAS. (2013). Determinación en el laboratorio del contenido de agua(humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado, INV E-122-13.
- INVIAS. (2013). Ensayo de penetración normal (SPT) y muestreo de suelos con tubo partido, INV E-111-13.
- INVIAS. (2013). Límite Plástico e Índice de plasticidad de suelos, INV E-126-13.
- INVIAS. (2013). Obtención de muestras de suelo mediante tubos de pared delgada, INV E-105-13.
- INVIAS. (2013). Resistencia a la compresión de cilindros de concreto, INV E-410-13.
- INVIAS. (2013). Resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores a 37.5 mm (1 ½") por medio de la máquina de los ángeles, INV E-218-13.

INVIAS. (2013). Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o magnesio, INV E-220-13.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (s. f.). Reglamento de construcción Sismo Resistente-Título A. <https://www.scg.org.co/Titulo-A-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-13.pdf>

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia. (s. f.). Reglamento de construcción Sismo Resistente-Título H. <https://www.scg.org.co/Titulo-H-NSR-10-Decreto%20Final-2010-01-14.pdf>

Suárez, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.

Tokimatsu, K. y. (1984). Simplified Procedures for the Evaluation of Settlements in Clean Sands. Earthquake Engineering Research Center report No. UCB/EERC -84/16, University California Barkeley.

UNE-EN 13295:2005 Productos y sistemas para la protección y re... (s. f.). Recuperado 22 de enero de 2025, de <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0034117>