

Auxiliar de ingeniería civil en SANCE INCOTOVA SAS para la caracterización física de materiales de los suelos en proyectos de mejoramiento vial en la Plata-Huila (km 70+000- km 100+000) y Villavicencio-Yopal (km 7+700 unidad funcional 1) y de construcción en las minas patio planta boca mina la independencia y relavera sector A ubicadas en Titiribí llevando a cabo distintos ensayos de laboratorio

Leysa Gabriela Toloza Suescún

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniera Civil

Director

Luis Alberto Capacho Silva

Ingeniero Civil MSc en informática

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniería Civil

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

A mis padres, David Toloza y Gladys Suescun, quienes me formaron y son mi ejemplo de vida. Son un gran modelo de honestidad, perseverancia y unión lo que me ha ayudado en cada paso de mi vida para salir victoriosa.

A Juan David, mi compañero incondicional. Quien en todo este proceso me ayudo con sus actos de servicio y con su amor me dio fuerza en los tiempos difíciles, ayudando a hacer de mi experiencia algo memorable.

Agradecimientos

Estoy realmente agradecida con cada persona que se cruzó en mi camino durante todo este proceso, ya que me ayudaron a crecer no solo como futura ingeniera sino como persona.

A los profesores que me ayudaron a crecer académicamente, gracias por su acompañamiento, por sus consejos y su guía, esto a lo largo de toda la carrera ha sido clave para mi formación. Sobre todo, en este momento a mi director de proyecto de grado quien gracias a su enseñanza continua se hizo participe de mis prácticas y ayudo a que concluyeran de la mejor manera

A SANCE INCOTOVA S.A.S. quien permitió que realizara mis practicas ahí, dándome guía continua, permitiéndome conocer personas que realmente me enseñaron cosas como ingeniera, que me contextualizaron con los suelos y que me dieron un muy ambiente laboral. Sobre todo, a la ingeniera Sandra Celis, quien me enseñó a crecer como persona y futura ingeniera compartiendo generosamente sus conocimientos.

A Jonathan Jerez, quien se convirtió en un pilar fundamental durante la realización de este proyecto, realmente no tengo palabras suficientes para describir lo que significó su ayuda en un momento tan desafiante y lo agradecida que estoy.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	16
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Marco referencial	19
2.1 Marco legal	19
2.1.1 Sance Incotova SAS.....	19
2.1.2 Normativa	19
2.1.2.1 INVIAS	19
2.1.2.2 Caracterización de suelos.....	19
2.1.2.2.1 Sistema SUCS (ASTM).....	19
2.1.2.2.2 Sistema AASHTO.....	20
2.2 Marco conceptual.....	21
2.2.1 Capacidad de carga	21
2.2.2 Cohesión	22
2.2.3 Plasticidad.....	22
2.2.4 Granulometría	22
2.2.5 Permeabilidad	23
2.2.6 Peso unitario.....	23
2.2.7 Resistencia al corte	23

2.2.8	Estabilización de los suelos	24
2.2.8.1.	Mecánica	24
2.2.8.2	Química.....	24
2.2.8.3	Física.....	24
3.	Metodología	25
3.1	Capacitaciones e introducción al proyecto	25
3.2	Ejecución de los ensayos	26
3.3	Informes técnicos detallados del proyecto	26
3.4	Asesoría mejoramiento de suelo	26
4.	Resultados	27
4.1	Muestreo	27
4.1.1	Ensayo de Penetración Estándar (SPT).....	27
4.2	Análisis de laboratorio	29
4.2.1	Ensayos de clasificación	29
4.2.1.1	Contenido de humedad	29
4.2.1.2	Límites de plasticidad	30
4.2.1.2.1	Limite líquido.....	30
4.2.1.2.2	Limite plástico	30
4.2.1.3	Gradación.....	31
4.2.1.4	Clasificación	32
4.2.1.4.1	Sistema SUCS.....	32
4.2.1.4.2	Sistema AASHTO.....	32
4.2.1.5	Informe técnico	33

4.2.2	Peso unitario.....	34
4.2.2.1	Informe técnico	35
4.2.3	Corte directo.....	36
4.2.3.1	Informe técnico	37
4.2.4	Compresión inconfiada	42
4.2.4.1	Informe técnico	43
4.2.5	Carga puntual	45
4.2.5.1	Informe técnico	46
4.3	Interpretación de los resultados	47
4.4	Propuestas de mejoramiento del suelo.....	49
4.4.1	Estabilización mecánica.....	50
4.4.1.1	Ensayo Proctor	50
4.4.2	Estabilización química	51
4.4.2.1	Estabilización hidráulica.....	51
4.4.2.1.1	uso de cal.....	51
4.4.2.1.2	uso de cemento.....	52
4.4.2.2	Estabilización con asfalto	53
4.4.3	Estabilización física	54
5.	Conclusiones.....	55
	Referencias Bibliográficas	57
	Apéndices.....	61

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Carta de plasticidad de Casagrande</i>	20
Figura 2 <i>clasificación AASHTO</i>	21
Figura 3 <i>Registro fotográfico SPT</i>	28
Figura 4 <i>Plantilla de registro de sondeo geotécnico</i>	28
Figura 5 <i>Ensayo limite liquido</i>	30
Figura 6 <i>Especificaciones índice de grupo</i>	33
Figura 7 <i>Informe técnico ensayo de clasificación</i>	33
Figura 8 <i>Informe técnico ensayo de peso unitario</i>	35
Figura 9 <i>Ensayo de corte directo</i>	37
Figura 10 <i>Informe técnico ensayo de corte directo</i>	37
Figura 11 <i>Ensayo de compresión inconfiada</i>	43
Figura 12 <i>Informe técnico ensayo de compresión inconfiada</i>	43
Figura 13 <i>Ensayo de carga puntual</i>	46
Figura 14 <i>Informe técnico ensayo de carga puntual</i>	46
Figura 15 <i>Resultados de características del suelo</i>	48
Figura 16 <i>Curva Proctor modificado</i>	51
Figura 17 <i>Requerimiento de cemento por tipo de suelo</i>	52
Figura 18 <i>Materiales aptos para estabilizar con asfalto</i>	54

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1 <i>Contenido de humedad</i>	29
Ecuación 2 <i>índice de plasticidad</i>	31
Ecuación 3 <i>Coficiente de uniformidad</i>	31
Ecuación 4 <i>Coficiente de curvatura</i>	32
Ecuación 5 <i>Índice de grupo</i>	33
Ecuación 6 <i>Peso unitario</i>	35
Ecuación 7 <i>Ecuación Mohr Coulomb</i>	36
Ecuación 8 <i>Deformación unitaria</i>	42
Ecuación 9 <i>Área corregida</i>	42
Ecuación 10 <i>Esfuerzo- compresión inconfinada</i>	42
Ecuación 11 <i>Resistencia a la compresión ultima</i>	42
Ecuación 12 <i>Cohesión no drenada</i>	42
Ecuación 13 <i>Diámetro equivalente</i>	45
Ecuación 14 <i>Índice de Carga puntual</i>	45
Ecuación 15 <i>Factor de corrección</i>	45
Ecuación 16 <i>Resistencia a la compresión simple</i>	45

Lista de Apéndices

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

Apéndice A. Ensayo de Carga puntual

Apéndice B. Ensayo de Compresión Inconfinada

Apéndice C. Ensayo de Corte Directo

Apéndice D. Ensayo de Peso Unitario

Apéndice E. Ensayos de Clasificación

Apéndice F. Carta de Confidencialidad

Glosario

δ : ángulo de fricción interna del suelo

ΔH : diferencia entre la altura final y la inicial

ϵ : deformación unitaria

γ : peso unitario

σ : esfuerzo normal (esfuerzo)

σ_{max} : esfuerzo normal máximo

τ : esfuerzo cortante (resistencia al corte)

A : área

A_0 : área inicial

A_c : área corregida

Aditivo: sustancia que se incorpora al suelo con el fin de mejorar sus propiedades, físicas, químicas o mecánicas

Angulo de fricción interna: describe la resistencia al deslizamiento entre partículas del suelo

c : cohesión

C_0 : cohesión no drenada

C_c : coeficiente de curvatura

C_u : coeficiente de uniformidad

Calibrador: instrumento para medir longitudes que permite lecturas en milímetros y fracciones de pulgadas

Cantera: mina de rocas y minerales de la tierra

Caracterización de suelos: proceso de análisis de las características de los materiales para verificar que tan aptos son en proyectos específicos de ingeniería

Círculo de Mohr: es una representación gráfica de los estados de esfuerzos, siendo esfuerzo normal (eje x) vs esfuerzo cortante (eje y)

Cohesión: fuerza interna de las partículas sobre todo finas de mantenerse unidas con una humedad ideal

Compresión: fuerza ejercida sobre un material con el fin de que este falle

Clasificación de suelos: proceso de determinar qué tipo de suelo es teniendo en cuenta sus características y su comportamiento, esto siempre parametrizado por diferentes normas

D: diámetro

D_{10} : diámetro de las partículas por debajo del cual pasa el 10% del peso del suelo

D_{30} : diámetro de las partículas por debajo del cual pasa el 30% del peso del suelo

D_{60} : diámetro de las partículas por debajo del cual pasa el 60% del peso del suelo

D_E : diámetro equivalente

Densidad: relación entre la masa y el volumen de una muestra específica, usada en ingeniería civil para determinar la capacidad de carga del suelo

Eficiencia de infraestructuras: construcción de infraestructuras de manera que cumpla los resultados deseados con el mínimo de recursos disponibles, como tiempo, material, entre otros.

Ensayos de laboratorio: serie de pruebas realizadas a los materiales para determinar propiedades específicas propias de ellos

F : porcentaje de partículas que pasan por el tamiz de $75\mu\text{m}$ (#200)

Formatos de laboratorio: documentos regulados para la toma de datos permitiendo un procesamiento posterior organizado

h_0 : altura inicial

Humedad natural: relación que existe entre el peso del agua y el peso del suelo seco en una porción de suelo, esto en condiciones normales.

I_g : índice de grupo

IP: índice de plasticidad

I_s : índice de carga puntual

$I_{s(50)}$: índice de carga puntual corregido

LL: limite liquido

LP: limite plástico

Mejoramiento vial: serie de acciones necesarias para mejorar la calidad y funcionalidad de las vías, sienta rehabilitación o mantenimiento

Modificaciones de suelos: con el fin de mejorar las propiedades del suelo se realizan procedimientos como compactación, estabilización o refuerzo

Muestreo: proceso de extracción de muestras de suelo en sectores específicos e ideales para su posterior análisis en laboratorio

P: carga

Permeabilidad: capacidad propia del suelo de permitir el paso del agua sin que altere su composición

Porosidad: espacio o vacío no ocupado por una partícula solida del suelo

Propiedades físicas de los suelos: son características propias como la densidad, porosidad, consistencia, color, entre otros, que permiten caracterizar un suelo y posteriormente conocer su capacidad para soportar cargas

Proyectos de infraestructura: proyectos relacionados con la construcción ya sea horizontal o vertical, que buscan mejorar el funcionamiento económico de la sociedad.

Q_u : resistencia a la compresión última

S.H.: peso suelo húmedo

S.S.: peso suelo seco

Suelo cohesivo: suelo compuesto de partículas finas, como limos y arcillas, que tienden a compactarse y unirse con la presencia del agua

Tensión: medida de fuerza interna ejercida por un material cuando es sometida a una fuerza externa

V: volumen

Vidrio esmerilado: vidrio de material que no roba humedad con una superficie lisa y plana

w: humedad

W: peso

W_{Agua} : peso del agua

$W_{Recp.}$: peso del recipiente

$W_{S.H.}$: peso suelo húmedo

$W_{S.S.}$: peso suelo seco

Resumen

Título: Auxiliar de ingeniería civil en SANCE INCOTOVA SAS para la caracterización física de materiales de los suelos en proyectos de mejoramiento vial en la Plata-Huila (km 70+000- km 100+000) y Villavicencio-Yopal (km 7+700 unidad funcional 1) y de construcción en las minas patio planta boca mina la independencia y relavera sector A ubicadas en Titiribí llevando a cabo distintos ensayos de laboratorio*

Autor: Leysa Gabriela Toloza Suescun**

Palabras Clave: Propiedades físicas de suelos, análisis de resultados, estabilidad, toma de decisiones.

Descripción: Este documento presenta el proceso realizado durante las prácticas empresariales de ingeniería civil en la empresa SANCE INCOTOVA S.A.S., se basó en la caracterización física de los materiales con la finalidad de concluir si los suelos son o no aptos en los proyectos de intereses como lo son: el mejoramiento vial en la Plata-Huila y Villavicencio-Yopal y la construcción en las minas Patio Planta Boca Mina La Independencia y relavera sector A en Titiribí. Durante un periodo de 4 meses se realizaron tareas técnicas e ingenieriles, esto orientado al cumplimiento de los objetivos establecidos. Las actividades realizadas fueron extracción de las muestra de suelo, ensayos de laboratorio como: contenido de humedad, límites de Atterberg, gradación, peso unitario, corte directo, compresión inconfiada y carga puntual junto con su respectivo análisis y conclusiones, además de soluciones ingenieriles para el mejoramiento de los terrenos en caso de ser necesario, con el fin de ofrecer a los ingenieros que van a ejecutar los proyectos datos cruciales en el diseño para asegurar la estabilidad y funcionamiento de las estructuras.

Posterior a la práctica se muestra una mejora gracias a la optimización de los procesos lo que permitió un fortalecimiento para la empresa en el ámbito de caracterización de materiales. Las actividades fueron guiadas por la ingeniera Sandra Celis y el laboratorista Sergio Jiménez que gracias a su acompañamiento proporcionaron conocimientos y guía para potenciar el correcto desarrollo y aprendizaje de la practicante.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Ingeniería Civil.
Director: Luis Alberto Capacho Silva. Ingeniero Civil MSc en informática

Abstract

Title: Civil Engineering Assistant at SANCE INCOTOVA SAS for the physical characterization of soil materials in road improvement projects in La Plata-Huila (km 70+000 - km 100+000) and Villavicencio-Yopal (km 7+700, functional unit 1), as well as construction projects at the Patio Planta Boca Mina La Independencia and tailings dam sector A located in Titiribí, conducting various laboratory tests*

Author(s): Leysa Gabriela Toloza Suescun**

Key Words: Physical properties of soils, results analysis, stability, decision-making.

Description: This document presents the process carried out during the civil engineering business practices at the company SANCE INCOTOVA S.A.S., which focused on the physical characterization of materials to determine whether the soils are suitable for projects of interest such as: road improvement in La Plata-Huila and Villavicencio-Yopal and the construction of the mines Patio Planta Boca Mina La Independencia and the tailings storage facility sector A in Titiribí. Over a period of 4 months, technical and engineering tasks were performed aimed at achieving the established objectives.

The activities conducted included soil sample extraction, laboratory tests such as: moisture content, Atterberg limits, gradation, unit weight, direct shear, unconfined compression, and point load tests along with their respective analysis and conclusions. Additionally, engineering solutions for ground improvement were provided when necessary, in order to offer engineers who will execute the projects crucial data for design to ensure the stability and functionality of the structures.

* Degree Work

** Faculty of Physical-Mathematical Engineering. School of Civil Engineering. Civil Engineering. Director: Luis Alberto Capacho Silva. Civil Engineer, MSc in Computer Science.

Introducción

La caracterización de los suelos es la base de la planificación y diseño de los proyectos de ingeniería, teniendo en cuenta que de esto depende la seguridad y la duración en el tiempo de las estructuras, es de vital importancia conocer los datos de las propiedades del suelo y a que grupo pertenecen, para determinar si es necesario incluir otros protocolos de mejoramiento del terreno en los proyectos de construcción.

En la actualidad se están llevando a cabo diferentes proyectos, esta práctica se basa en tres de ellos, en los cuales la empresa SANCE INCOTOVAS S.A.S. será la encargada del estudio de suelos, estos serán: el mejoramiento vial en la región de La Plata-Huila y Villavicencio-Yopal, así como la construcción en las minas Patio Planta Boca Mina La Independencia y Relavera Sector A ubicadas en Titiribí, dicho estudio de suelos consiste en la toma de muestras en zonas específicas y críticas, ejecución de ensayos de laboratorio, procesamiento de datos, que incluye un reporte de las características físicas y mecánicas del suelo, y si el proyecto incluye servicio de consultaría, un análisis detallado de cómo se debe mejorar el suelo.

Colombia cuenta con normas que regulan la ejecución de ensayos, el procesamiento y reporte de los datos, así como, por ejemplo, las normas INVIAS, las cuales son un requisito que garantiza la seguridad de los usuarios, minimizando a su vez las fallas estructurales y los riesgos a accidentes, unificando de esta manera a nivel nacional los lineamientos para un correcto diseño. Además, es de conocimiento público que muchas de las regulaciones colombianas están ligadas a los estudios internacionales, claro que, con sus modificaciones debido a la geografía colombiana, es por ello que también se usan normativas internacionales como por ejemplo la clasificación AASHTO y SUCS, usadas en este proyecto.

Durante la práctica empresarial en SANCE INCOTOVA S.A.S. se ejecutaron ensayos de laboratorio, se procesaron los resultados y se realizaron informes técnicos con toda la información que se podía concluir con ellos, también se apoyó parcialmente en la extracción de muestras y en el servicio de consultaría para mejorar las condiciones del suelo, teniendo un panorama general con todas las características del suelo de interés. Este trabajo fue supervisado por la ingeniera a cargo, que es la tutora de la práctica Sandra Celis y su equipo de trabajo lo que permitió tener un asertivo desarrollo de un aprendizaje integral al aplicar conceptos en proyectos reales.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar la caracterización física de muestras de suelo de interés a la empresa SANCE INCOTOVA SAS pertenecientes a las obras de mejoramiento vial: la Plata-Huila, Titiribí y Villavicencio-Yopal

1.2 Objetivos Específicos

Realizar los ensayos pertinentes para determinar las propiedades físicas de los suelos, cumpliendo estrictamente con las normas del INVIAS.

Reportar, mediante informes técnicos detallados, los procedimientos seguidos, los resultados obtenidos y las conclusiones derivadas de los ensayos de laboratorio.

2. Marco referencial

2.1 Marco legal

2.1.1 *Sance Incotova SAS*

Empresa colombiana competente y capaz de ejecutar diversos proyectos ingenieriles como estudios de suelos, consultoría especializada, topografía, diseños de obras, estabilidad de taludes, entre otros. Cuenta con profesionales preparados y capaces de enfrentar cualquier desafío, asegurando siempre su calidad y cumplimiento estando actualizados con la normativa vigente y desarrollando los proyectos acorde a todo lo legalmente estipulado (Sance, 2014).

2.1.2 *Normativa*

2.1.2.1 INVIAS. Normativa fundamental que regula el uso y mantenimiento de las vías en Colombia garantizando su duración y seguridad. Cuenta con requisitos para la ejecución de los ensayos y su respectivo procesamiento de datos (Instituto nacional de vías, 2013)

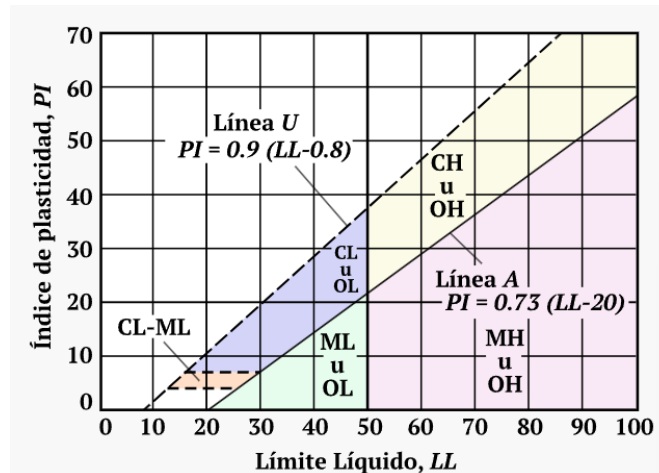
2.1.2.2 Caracterización de suelos. Es necesario caracterizar los suelos de manera general con el fin de unificar conceptos, es por ello por lo que en Colombia está estandarizado, esto proporciona información crucial para la selección y uso en proyectos de ingeniería. Basándose en la granulometría y los límites de plasticidad es posible clasificar los suelos, se usan dos métodos para ello: sistemas SUCS, usando la carta de Casagrande (figura 1) y la granulometría y AASHTO, usando la clasificación AASHTO (figura 2).

2.1.2.2.1 Sistema SUCS (ASTM). Sistema que diferencia los tipos de suelos, prefijos, como: grava (G), arena (S), limo (M) y arcilla (C) y los subdivide, prefijos, de la siguiente manera: bien graduado (W), pobremente graduado (P), limoso (M), arcilloso (C), baja plasticidad (L) y alta

plasticidad (H), dependiendo de que tipo de suelo es se combinan los prefijos con los sufijos, dándole uso a la granulometría del suelo y a los límites de plasticidad, estos últimos relacionados en la carta de plasticidad de Casagrande, ver figura 1 (Quispe, 2022).

Figura 1

Carta de plasticidad de Casagrande



Nota: La carta de plasticidad, es un método desarrollado por Arthur Casagrande que permite clasificar los suelos en base a los parámetros de límite líquido e índice de plasticidad. Tomado de: Olavarría. J. (2014) Carta de plasticidad de Casagrande. <https://www.ingenieriaelemental.com/posts/es/carta-de-plasticidad>

2.1.2.2.2 Sistema AASHTO. Sistema para determinar qué tan apto es un suelo para usarlo como subrasante de un pavimento, es necesario ubicar las características del suelo en la tabla de clasificación AASHTO, presente en la figura 2, además de los datos que ya se tienen será necesario calcular el índice de grupo. Es necesario tener en cuenta que los grupos que tienen calidad de excelente a buena son: A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5 los otros cuentan con calidad de aceptable a mala (Quispe, 2022).

Figura 2

clasificación AASHTO

Clasificación General Grupos	Material Granular						Material limo arcillosos				
	A-1		A-2				A-3	A-4	A-5	A-6	A-7
Subgrupos	A-1a	A-1b	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7					A-7-5
% pasante #10	50% máx						51% mín				
#40	30% máx	50% máx									
#200	15% máx	25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx		10% máx	36% mín	36% mín	36% mín
Características del material que pasa por el tamiz #40											
LL			40% máx	41% mín	40% máx	41% mín	N.P.	40% máx	41% mín	40% máx	41% mín
Ip	6% máx	6% máx	10% máx	10% máx	11% mín	11% mín		10% máx	10% máx	11% mín	11% mín
Ig	0	0	0	0	4 máx	4 máx	0	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Fragmentos pétreos de gravas y arenas		Gravas y arenas, limosas y arcillosas				Arena fina	Suelos limosos		Suelos arcillosos	

Nota: Sistema utilizado para determinar a qué grupo pertenece el suelo y si es apto para los pavimentos basado en el índice de plasticidad, limite líquido y el tamaño de sus partículas. Tomado de: Clasificación AASHTO. <https://ingeotecnica.com/clasificacion-del-suelo-mediante-el-sistema-aashto>

2.2 Marco conceptual

2.2.1 Capacidad de carga

La capacidad de carga de un suelo es un parámetro fundamental de diseño y se refiere a la fuerza que puede soportar este sin que se provoque una falla o asentamientos excesivos, es decir, sin que comprometa la integridad de una estructura (Patzán, 2009). Para reconocer su valor cuantitativo será necesario someter una muestra del suelo a ensayos como: compresión inconfiada, ensayo triaxial y/o corte directo.

2.2.2 Cohesión

Criterio fundamental de diseño posible de definir en laboratorio que se refiere a la fuerza que mantiene adheridas las partículas del suelo, los suelos friccionantes, es decir, los granulares no poseen cohesión gracias a su tamaño y forma, lo que genera grandes vacíos, generalmente los suelos cohesivos son arcillas (Huama, 2018). La cohesión puede ser una característica favorable, pero generalmente presenta una amenaza para las estructuras debido a su sensibilidad al contenido de agua que puede cambiar las características del suelo, como su capacidad de carga.

2.2.3 Plasticidad

Propiedad de algunos suelos finos que se define como la capacidad de un suelo para deformarse y mantenerse sin fracturarse ni agrietarse, siendo la cuantificación de la ductilidad del suelo (Rabat, 2016). La plasticidad se define con la relación de dos ensayos diferentes, límite líquido y límite plástico, la cuantificación de la propiedad se llama índice de plasticidad.

Existen tres estados de interés, para los límites líquido y plástico, son semisólido, plástico y semilíquido. El límite líquido es el contenido de humedad mínima que necesita un suelo para estar en la frontera entre el estado plástico y semilíquido por otro lado, el límite plástico tendrá que estar en la frontera entre el estado semisólido y plástico, y el índice de plasticidad será entonces el rango de contenidos de agua en los que el suelo se encuentra en el estado plástico (Instituto nacional de vías, 2013).

2.2.4 Granulometría

Se refiere a la gradación o distribución de los tamaños de las partículas de un suelo, concluyendo así si este se encuentra o no bien gradado, este es un factor fundamental para entender las propiedades y predecir los posibles comportamientos del suelo debido a que permite conocer la capacidad de carga, permeabilidad y da un indicio de compactación (Gabriels & Lobo, 2020)

El análisis granulométrico consiste en diferenciar los tamaños de las partículas de un suelo específico. Con suelos gruesos, es decir, que no pasan por el tamiz #200 se requiere una prueba por tamizado, que consiste en ubicar una serie de tamices con aberturas de diferentes tamaños ubicados de manera descendente, con el fin de que partículas mayores a ese tamaño queden atrapadas y sea posible pesarlas posteriormente ya clasificadas, por otro lado si son partículas finas, es decir con tamaño menor o que pasan por el tamiz #200 será necesario realizarle una prueba de sedimentación que consiste en tomar una muestra con agua en un frasco, agitar y posteriormente dejar reposar para analizar las partículas asentadas y determinar la proporción de materiales presentes (Instituto nacional de vías, 2013).

2.2.5 Permeabilidad

Propiedad crucial en ingeniería civil y geotecnia que mide la facilidad con la que cualquier fluido, generalmente agua, atraviesa un suelo por medio de sus poros. Es un factor a tener en cuenta en el diseño estructural, debido a que puede afectar la estabilidad y provocar fallos estructurales (Angelone, Garibay & Cauhapé, 2006).

2.2.6 Peso unitario

El peso unitario de un suelo se refiere al peso de una muestra específica relacionada con el volumen que esta ocupa incluyendo los vacíos, este parámetro dependerá de diferentes factores como, el tipo de suelo, la humedad presente y que tan compactada este la muestra (Vergara, n.d.).

2.2.7 Resistencia al corte

Parámetro determinado con ensayo de corte directo, ensayo triaxial y/o compresión inconfiada que representa la máxima tensión que soporta un suelo antes de fallar por deslizamiento, relacionándolo con la ecuación Mohr-Coulomb (ecuación 9) es posible determinar

la cohesión y su coeficiente de fricción interna, propiedad físicas y mecánicas de los materiales (Medina & Salazar, 2009)

2.2.8 Estabilización de los suelos

2.2.8.1. Mecánica. Por compactación, actividad realizada con el fin de aumentar la densidad relativa de un suelo, mejorando de esa manera la estabilidad, capacidad de carga, entre otros, dependiendo del enfoque o necesidad que tenga el diseño es una de las soluciones cuando el suelo no es apto y necesita una mejora (Gonzales, Seijo & Rueda, 1997). Para determinar la magnitud de compactación ideal de estabilización se necesitará un laboratorio adicional de ensayo Proctor. Se usa maquinaria pesada para compactar el suelo, como rodillos y vibradores, dependiendo si se opta por compactación mecánica o dinámica.

2.2.8.2 Química. La estabilización química de los suelos consiste agregar un aditivo que al tener contacto con el suelo sea capaz de alterar sus propiedades a nivel molecular (López & Palacios, 2021). Los aditivos comúnmente usados son: cal, cemento y asfalto, cada uno tiene su enfoque y es necesario calcular el porcentaje del contenido a agregar y tener en cuenta las propiedades típicas esperadas. (Solminihac, Echeverria & Thenoux, n.d)

2.2.8.3 Física. La estabilización física incluye implementación de geosintéticos que asegura aumentar la estabilidad de las construcciones, además a largo plazo es viable debido a que reduce el costo de mantenimientos y su funcionalidad es adecuada por un periodo aproximadamente 20 años. Hay diferentes tipos de geosintéticos especializados para cada situación, con diferentes funcionalidades que se adaptan a las necesidades ingenieriles (Cano, 2021). Ya sea impermeabilización, drenaje, refuerzo, filtración, confinamiento del suelo, control de erosión y/o separación.

Además, también es posible alterar las propiedades del suelo, como fricción entre partículas, cohesión e impermeabilidad, alterando su granulometría, agregando uno o más suelos con características diferentes, de no ser viable esa solución se deberá retirar y reemplazar el suelo (Solminihac, Echeverria & Thenoux, n.d).

3. Metodología

Esta práctica empresarial está enfocada en el análisis exhaustivo de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos de interés, reportando sus propiedades de acuerdo a lo estipulado por las normativas vigentes, pero se realizó una contextualización ingenieril completa del proyecto, partiendo desde la toma de muestras y concluyendo en el apoyo de la consultoría especializada para mejorar los suelos coordinada por la ingeniera Sandra Celis, quien le brindó todas las herramientas y guía a la estudiante con el fin de enriquecerla de información y experiencia para su correcto desarrollo como futura profesional. El proceso de ejecución de las prácticas fue el siguiente:

3.1 Capacitaciones e introducción al proyecto

Para asegurar el correcto funcionamiento de todos los procesos a lo largo de los cuatro meses de las prácticas empresariales, la ingeniera Sandra Celis se encargó de capacitar y organizar el plan de desarrollo de las asignaciones de los proyectos en marcha, asegurando también un espacio mensual para los informes de avances necesarios para entregar a la universidad.

Antes de iniciar la caracterización de materiales se autorizó una visita a obra con la finalidad de adquirir experiencia en campo con uno de los proyectos que requirieron análisis de suelos, teniendo como objetivo reconocer cómo es el proceso real de la extracción de muestras con el ensayo SPT y cuáles son los posibles errores y contratiempos que se pueden presentar.

3.2 Ejecución de los ensayos

Siguiendo de manera detallada las normas INVIAS se realizó la ejecución de los ensayos, previamente se habían clasificado las muestras para facilitar este proceso, durante las primeras semanas se tuvo un acompañamiento por parte de la ingeniera y el laboratorista, que además de guiar con la ejecución de los ensayos también fueron contextualizando con los tipos de suelos, su aspecto físico, como diferenciarlos y que tanta complejidad de manejo tienen, lo que fue muy enriquecedor para caracterizarlos y tener una idea a priori de su comportamiento.

3.3 Informes técnicos detallados del proyecto

Los resultados se analizaron y presentaron en el informe técnico estipulado para cada tipo de ensayo, los cuales incluyen los datos obtenidos, los cálculos y las conclusiones y/o observaciones, el informe ofrece una evaluación de las propiedades físicas de las muestras y los parámetros necesarios para diseño.

3.4 Asesoría mejoramiento de suelo

La construcción en las minas ubicadas en Titiribí, requería también asesoría para mejoramiento del suelo, en lo que la practicante apoyó parcialmente, identificando los problemas y objetivos del proyecto, evaluando las posibles opciones de mejora de las características del suelo y llevando a cabo los análisis y ensayos necesarios para poder presentar propuestas ideales.

4. Resultados

4.1 Muestreo

Se apoyo parcialmente en la toma de muestras en la localidad de Titiribí, ayudando con el registro fotográfico de las muestras extraídas (ver figura 3), el conteo y el registro de datos, con el fin de reconocer el procedimiento y factores a tener en cuenta en la ejecución del ensayo SPT, teniendo en cuenta que la mala ejecución de este genera directamente una mala caracterización mecánica del suelo y compromete la estabilidad de las estructuras.

4.1.1 *Ensayo de Penetración Estándar (SPT)*

Método de exploración de suelos, comúnmente usado y muy conocido. Consiste en contar el número de golpes necesarios para penetrar cada 15 cm, se debe hincar un muestreador (cuchara partida) de aproximadamente 45cm de largo con ayuda de un martillo de 140 lb ejerciendo fuerza dejándolo caer libremente a una altura de aproximadamente 76 cm (Gonzales, 1999). Es necesario comprobar todos los parámetros mencionados anteriormente para no presentar errores de medición, además de asegurar el conteo exacto de golpes, correcto registro de las profundidades, adecuada velocidad de perforación y limpieza del pozo.

Es necesario documentar el ensayo por lo que debe tener un registro fotográfico de cada muestra extraída (figura 3) y registro de sus datos en un documento llamado “plantilla de registro de sondeo geotécnico” (figura 4), esto también permitirá correlacionar los datos con los resultados de laboratorio y verificar posibles anomalías

Figura 3

Registro fotográfico SPT



Nota: Foto de la muestra con todos los datos de la perforación. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

Figura 4

Plantilla de registro de sondeo geotécnico

PLANILLA DE REGISTRO DE SONDEO GEOTÉCNICO																																					
SONDEO Nº: Bodega de núcleos		PROYECTO: ARGENTUM																																			
FECHA:		LOCALIZACIÓN: Relavera Sector A		COORDENADAS		NIVELES DE AGUA (m)				HOJA Nº:		1 de 1																									
I	F	ABSCISA		X	Y	USA	II	PRO	USA	II	PRO	Tipo Martillo (SPT)	140 Lb																								
23/08/2024	24/08/2024	PROFUNDIDAD: 15.00 m		06°04'33"	75°47'25"							Diámetro	Inicial																								
		Cota terreno										Reper																									
CONDICIONES METEOROLÓGICAS		MÉTODO DE AVANCE Y LIMPIEZA		Cota perdida del fluido		MÉTODOS DE PERFORACIÓN																															
PROFUNDIDAD (m)	LONGITUD TRAMO (m)	INSTRUMENTOS	REVESTIMIENTO	ESTADOS	DESCRIPCIÓN	FECHA	SPT			CAJA	AGUA		TIPO										RECOBRO (%)	R.Q.D (%)	Recobro (cm) R	Cálculo de Recobro (%)											
							15	15	15		Color	Perda	MUESTREOS	TIPO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100			
0.00	0.45				Horizonte IB - Suelo Residual Arcilla limosa, de color café rojizo amarillento, humedad media, plasticidad media, consistencia baja De 0.00 a 0.45m, SPT 1, N30: 10, Recuperación: (0.45m)	20/8/2024	4	5	5	1		-	1	SS																						45	100%
0.45	0.90				Horizonte IB - Suelo residual Arcilla limosa, de color café amarillento, humedad media, plasticidad media, consistencia baja De 0.45 a 0.90m, SPT 2, N30: 13, Recuperación: (0.45m)	20/8/2024	6	6	7	1		-	2	SS																					45	100%	
0.90	1.35				Horizonte IB - Suelo residual Arcilla limosa con gravas, de color café oscuro amarillento, humedad alta, plasticidad baja, consistencia baja De 0.90 a 1.35m, SPT 3, N30: 15, Recuperación: (0.45m)	20/8/2024	8	9	6	1		-	3	SS																					45	100%	
1.35	1.80				Horizonte IB - Suelo residual Arcilla limosa con gravas, de color café oscuro amarillento, humedad alta, plasticidad baja, consistencia baja De 1.35 a 1.80m, SPT 4, N30: 20, Recuperación: (0.45m)	20/8/2024	8	8	12	1		-	4	SS																					45	100%	

Nota: Foto del documento con todas las especificaciones del suelo pertinentes en la ejecución del ensayo SPT. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2 Análisis de laboratorio

Procedimiento a cargo completamente de la practicante, se realizaron los ensayos y procesaron los resultados tal y como se especifica en las normas Invias. El proyecto de mejoramiento vial en la Plata Huila conto con 5 sondeos, de los cuales se realizaron ensayos de clasificaciones (15), compresión inconfínada, peso unitario (20), cote directo (3) y carga puntual (1), por otro lado, en la vía Villavicencio- Yopal se realizaron 2 sondeos, de los cuales se realizaron clasificaciones (10), compresión inconfínada (2), peso unitario (10) y corte directo (2). El proyecto en las minas ubicadas en Titiribí fue el más extenso, conto con 10 sondeos, de los cuales se realizaron en total clasificaciones (42), compresión inconfínada (6), peso unitario (58), corte directo (15) y carga puntual (38).

4.2.1 W Ensayos de clasificación

4.2.1.1 Contenido de humedad. Para realizar el ensayo de humedad es necesario tomar una muestra, registrar su peso, y posteriormente introducirla al horno con el fin de que se seque, el horno debe estar a 110°C y se deja toda la noche, seguidamente se registra nuevamente el peso. El contenido de agua se establece relacionando el peso del suelo húmedo y del suelo seco, es necesario realizar cálculos presentes en la Ecuación 1, 2 y 3 presentadas a continuación

Ecuación 1 *Contenido de humedad*

$$\%W = \frac{(W_{Recp.} + W_{S.H.}) - (W_{Recp.} + W_{S.S.})}{(W_{Recp.} + W_{S.S.}) - W_{Recp.}} \times 100$$

4.2.1.2 Límites de plasticidad

4.2.1.2.1 Limite líquido. El límite líquido se determina mediante tanteos, se trata de esparcir una porción del suelo sobre una cazuela de bronce y con ayuda de un ranurador dividir la muestra, como se muestra en la figura 5, para posteriormente ejercerle un golpeteo continuo hasta que se una o cierre parte de ella, se deberá retirar con ayuda de una espátula la porción que se unió para pesarla y posteriormente secarla y analizarla, correlacionando los datos del número de golpes con la humedad en una gráfica semilogarítmica. En la práctica se usó el Método A propuesto por INVIAS, que consta de realizar tres diferentes tanteos, los rangos que se usaron fueron [12-16], [22-26], [32-36] número de golpes. Teniendo en cuenta que el límite líquido es el contenido de humedad que coincide con 25 golpes, es necesario graficar los datos y extraer el valor para reportarlo.

Figura 5

Ensayo limite liquido



Nota: La fotografía es la representación del ensayo de limite liquido en el laboratorio. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.1.2.2 Limite plástico. El ensayo de limite plástico consiste en tomar una muestra con un poco de humedad y formar una serie de rollitos de 3.2 mm de diámetro, medidos con un

calibrador, con la palma de la mano y un vidrio esmerilado, estos deben presentar unas pequeñas ranuras que demuestren que están en el límite, es decir que no están lo suficientemente húmedos para formarlos sin ningún problema, pero deben también mantener su forma sin desmoronarse ni agrietarse. Al igual que el límite líquido es necesario medir su humedad, por lo que se someten a secado al horno, y se recopilan las muestras para pesarlas y analizarlas. Es necesario realizar dos veces o más este procedimiento para reducir así el margen de error, debido a que el cálculo del límite plástico es el promedio de los resultados del porcentaje de humedad que estos presenten.

Los límites nos permiten conocer que tanta capacidad tiene el suelo de comportarse de manera plástica, y su relación se llama índice de plasticidad, calculado como se muestra en la ecuación 4, si este llegara a ser muy alto quiere decir que tiene mayor capacidad de retener agua y eso se traduce en una mayor capacidad de deformación.

Ecuación 2 *índice de plasticidad*

$$IP = LL - LP$$

4.2.1.3 Gradación. La gradación se realizó de manera manual ubicando los tamices de manera descendente con el fin de que las partículas mayores al tamaño de la malla queden atrapadas, es necesario realizar movimientos horizontales, verticales y vibraciones para que no queden residuos y se graden bien, de igual manera cada nivel fue verificado de manera individual para así reducir el error del ensayo. Los resultados del ensayo serían los pesos de material atrapados en cada tamiz, se deben graficar los datos, esto se llamará curva granulométrica y a partir de esta se sacan los datos de coeficiente de uniformidad y de curvatura, presentados en la ecuación 5 y 6 respectivamente.

Ecuación 3 *Coficiente de uniformidad*

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 4 *Coefficiente de curvatura*

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} * D_{10}}$$

4.2.1.4 Clasificación

4.2.1.4.1 Sistema SUCS. Dependiendo del caso que se presente se van a usar los coeficientes hallados en la granulometría o los límites de plasticidad, o en su caso ambos, esto dependerá de diferentes factores. En primera estancia es necesario definir los prefijos, si la muestra atraviesa la malla #200 en más de 50% es definido como suelo fino, si atraviesa la malla #4 en más de un 50% es arena de lo contrario será grava, para los suelos finos únicamente se debe usar la carta de plasticidad de Casagrande, figura 1, por otro lado para los suelos gruesos es necesario definir primero en que rango esta, existe tres rangos: cuando los finos son menores al 5%, cuando los finos están entre 5% y 12% y por ultimo cuando los finos superan el 12%, el primer rango únicamente necesitara los coeficientes de uniformidad y curvatura, el segundo grupo necesitara además del uso de la carta de plasticidad y el último grupo solo requiere el uso de la carta de plasticidad. Es necesario saber que cuando una arena está bien gradada su coeficiente de uniformidad debe ser mayor a 6 y el coeficiente de curvatura debe estar entre 1 y 3, por otro lado, para gravas el coeficiente de uniformidad debe ser mayor a 4 y el coeficiente de curvatura debe estar entre 1 y 3.

4.2.1.4.2 Sistema AASHTO. El proceso de caracterización con este sistema es bastante sencillo, ya se calcularon los datos por ende la idea es ubicarlos y verificar que cumplan con todos los requisitos de un solo grupo, pero tiene un análisis adicional, el índice de grupo, que se calcula como se muestra en la ecuación 7. Los suelos que tengan un IG igual a cero son de excelente calidad, entre 1 y 10 serán aceptables y mayores a esta baja calidad, lo que da un claro indicio de que este necesitara una mejora para poderse usar.

Ecuación 5 Índice de grupo

$$I_g = 0,2a + 0,005ac + 0.01bd$$

Figura 6

Especificaciones índice de grupo


Letras	(%)	Rango	Ecuación	Límites
a	F	(35 – 75)%	%F – 35%	0 – 40
b	F	(15 – 55)%	%F – 15%	0 – 40
c	Ll	(40 – 60)%	Ll – 40%	0 – 20
d	Ip	(10 – 30)%	Ip – 10%	0 – 20

Nota: Tabla que representa los valores que deben asumir las expresiones de la ecuación 7 con sus respectivas condiciones. Tomado de Ingeotecnica. <https://ingeotecnica.com/clasificacion-del-suelo-mediante-el-sistema-aashto>

4.2.1.5 Informe técnico

Figura 7

Informe técnico ensayo de clasificación

	ENSAYO DE CLASIFICACIÓN		Código	F-GT-37	
	LÍMITES DE CONSISTENCIA Y GRADACIÓN		Versión	1	
	I.N.V E - 122 - E - 123 - E - 125 - E - 126		Fecha Vigencia	6/3/2018	
			Página	1 DE 1	
FECHA:	02/12/2024	No REMISION	1	No PROYECTO:	0
PROYECTO:	CORREDOR VIAL, VILLAVICENCIO - YOPAL				
LOCALIZACIÓN:	VILLAVICENCIO - YOPAL				
COORDENADAS:	0	PERFORACIÓN:	SONDEO 1		
MUESTRA No.:	2	PROFUNDIDAD(m):	0,50 - 1,00		
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)					
PROFUNDIDAD (m)	0				
PESO DE RECIPI. + S.H. (gr)	944,4				
PESO DE RECIPI. + S.S. (gr)	761,8				
PESO RECIPIENTE (gr)	116,9				
PESO AGUA (gr)	182,6				
PESO SUELO SECO (gr)	644,9				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	28,3				

LÍMITES DE CONSISTENCIA				GRADACIÓN					
LÍMITE LÍQUIDO				Peso inicial:	257,10	gr	Peso final:	116,60	gr
				Tamiz (plg)	Tamiz (mm)	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
Determinación No	1	2	3	3"	76,10	0,0			
No GOLPES	14	24	34	2 ½"	64,00	0,0			100,0%
RECIP. No.	247	256	248	2"	50,80	0,0			100,0%
PESO DE RECIP. + S.H.	17,8	18,8	21	1 ½"	38,10	0,0			100,0%
PESO DE RECIP. + S.S.	14,9	15,8	17,6	1"	25,40	0,0			100,0%
PESO RECIPIENTE	5,9	5,7	5,6	¾"	19,00	0,0			100,0%
PESO AGUA	2,90	3,00	3,40	1/2"	12,70	14,2	5,5%		
PESO SUELO SECO	9,00	10,10	12,00	3/8"	9,51	0,0		5,5%	94,5%
% HUMEDAD	32,22	29,70	28,33	4	4,76	11,2	4,4%	9,9%	90,1%
				8	2,38	0,0			
				10	2,00	9,2	3,6%	13,5%	86,5%
				12	1,68	0,0			
				16	1,19	0,0			
				30	0,59	0,0			
				40	0,42	55,1	21,4%	34,9%	65,1%
				50	0,30	0,0			
				80	0,18	0,0			
				100	0,15	20,4	7,9%	42,8%	57,2%
				200	0,07	6,5	2,5%	45,4%	54,6%
				Pasa 200		140,5	54,6%	100,0%	0,0%
				Total		257,1			

Límites de Atterberg

LÍMITE PLÁSTICO		
RECIP. No.	249	251
PESO DE RECIP. + S.H. (gr)	12,20	18,90
PESO DE RECIP. + S.S. (gr)	10,90	16,20
PESO RECIPIENTE (gr)	5,70	5,70
PESO AGUA (gr)	1,30	2,70
PESO SUELO SECO (gr)	5,20	10,50
% HUMEDAD	25,00	25,71

RESULTADOS					
LÍMITES DE ATTEMBERG		GRADACIÓN		CLASIFICACIÓN	
Límite Líquido (%)	29,6	Gravas	9,9%	Índice de Grupo	1
Límite Plástico (%)	25,4	Arenas	35,5%	A.A.S.H.T.O.	A - 4
Índice Plástico (%)	4,3	Finos	54,6%	U.S.C	ML
		Cu =	11,87		
		Cc =	0,76		

OBSERVACIONES:
0

ELABORADOR POR: SERGIO A. JIMENEZ L.
CARGO: LABORATORISTA

Sandra Celis

REVISADO POR: ING. SANDRA CELIS
CARGO: COORDINADOR LABORATORIO

Nota: Se muestra el procesamiento de datos de los ensayos de clasificación con sus respectivos resultados y/o observaciones. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.2 Peso unitario

El ensayo se realiza con la humedad natural del suelo, es necesario tomar una porción de la muestra y en un molde de medidas conocidas depositarla en 3 capas cada una compactada con

25 golpes proporcionados por un martillo estándar, el fin de análisis es tomar el peso de la muestra y relacionarlo, como se muestra en la ecuación 8, con el volumen del molde obteniendo así, el peso unitario, valor que debe ser reportado en unidades de kN/m^3 o g/cm^3


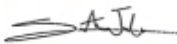
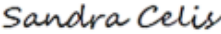
Ecuación 6 *Peso unitario*

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

4.2.2.1 Informe técnico

Figura 8

Informe técnico ensayo de peso unitario

	FORMATO DE LABORATORIO				Código	F-GT-37		
	ENSAYO DE PESO UNITARIO INV E-142-1				Versión	1		
	NORMA INVIAS				Fecha Vigencia	6/30/16		
					Página	1 DE 1		
PROYECTO:	RELAVERA SECTOR A							
FECHA:	08/11/2024		PERFORACION:	NQ3-SPT				
LOCALIZACION:	TITIRIBI							
ENSAYO DE PESO UNITARIO INV E-142-1								
SONDEO	MUESTRA	PROFUNDIDAD (M)	DIAMETRO (cm)	ALTURA (cm)	PESO HUMEDO (gr)	HUMEDAD %	PESO UNITARIO HUMEDO (gr/m3)	PESO UNITARIO SUELO SECO (gr/m3)
NQ3-SPT-07	3	0,90 - 1,35	3,9	8,9	210,1	10,2%	1,98	1,79
NQ3-SPT-07	5	2,00 - 3,00	4,9	10	380,7	11,2%	2,02	1,82
NQ3-SPT-07	6,-1	3,00 - 4,00	4,9	12	529,1	12,4%	2,34	2,08
NQ3-SPT-07	9	6,00 - 7,00	5	10,4	546	12,0%	2,67	2,39
NQ3-SPT-07	6,-2	3,00 - 4,00	4,8	10,1	489,1	1,6%	2,68	2,63
NQ3-SPT-07	11	8,00 - 9,00	4,8	10	469,1	1,1%	2,59	2,56
NQ3-SPT-07	13	10,00 - 11,00	4,8	9,1	434,5	1,4%	2,64	2,60
OBSERVACIONES								
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <p>ELABORADOR POR: SERGIO A. JIMENEZ L. CARGO: LABORATORISTA</p> </div> <div style="width: 45%;">  <p>REVISADO POR: ING. SANDRA CELIS CARGO: COORDINADOR LABORATORIO</p> </div> </div>								

Nota: Se muestra el procesamiento de datos del ensayo de peso unitario con sus respectivos resultados y/o observaciones. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.3 Corte directo

El ensayo de corte directo consiste en hacer fallar un espécimen de suelo para obtener su resistencia a corte y comportamiento bajo carga, para ello será necesario formar el espécimen y contenerlo entre dos placas de piedras porosas (permitiendo así el drenaje de agua) en la maquina especializada de corte directo, ver figura 9, se le aplica un esfuerzo normal y a una velocidad muy baja, para asegurar que el agua se drene, y contante se desplaza una mitad de muestra con respecto a la otra. El ensayo se realiza tres veces duplicando cada vez el esfuerzo normal sin modificar la velocidad, para poder correlacionar los resultados.

Ecuación 7 Ecuación Mohr Coulomb

$$\tau = \sigma * \tan(\mathcal{A}) + c$$


En este caso, el ángulo de fricción interna \mathcal{A} se calcula como la tangente inversa de la pendiente de la ecuación de la recta en la gráfica.

Teniendo en cuenta que la normativa pide asegurar que la velocidad de ensayo sea lo suficientemente lenta pero no especifica un valor, en laboratorio se toma una velocidad de 0,025 mm/min para arcillas y de 0,5 mm/min para arenas

Figura 9*Ensayo de corte directo*

Nota: La fotografía evidencia la preparación del espécimen y manipulación de la maquinaria para llevar a cabo el ensayo. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.3.1 Informe técnico**Figura 10***Informe técnico ensayo de corte directo*

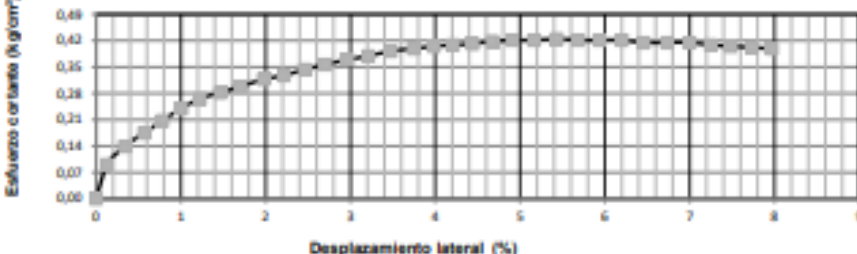
		DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080			
PROYECTO:		RELAVERA SECTOR A			
LOCALIZACION:		TITIRIBI			
TRAMO:		BODEGA NUCLEOS		FECHA	
				17/11/2024	
BONDEO:	BD NUCLEOS	MUESTRA	10	PROFUNDIDAD	6,00 - 7,00 Mts

Carga:	15,5 Kg	Area:	31,17 cm ²
Esfuerzo:	0,50 Kg/cm ²	Altura:	2,4 cm
Velocidad:	0,025 mm/min	Punto Nº:	1

ESTADO DE LA MUESTRA			
Alterada	<input type="checkbox"/>	Humedad	<input checked="" type="checkbox"/>
Inalterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturada	<input type="checkbox"/>

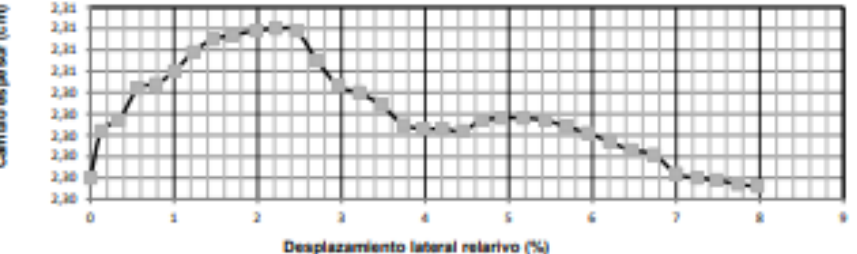
HUMEDAD DE MUESTRA		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Peso suelo húmedo+molde	511,50 grs	Peso muestra + molde	213,6 grs
Peso de Suelos seco + molde	456,80 grs	Peso molde	82,2 grs
Peso del molde	65,80 grs	Peso muestra	131,4 grs
Humedad	13,99 %	Densidad Húmeda	1,76 grs/cm ³

Diagrama Esfuerzo Cortante - Desplazamiento lateral (%)




Desplazamiento lateral (%)	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
0	0,00
0,5	0,07
1	0,14
1,5	0,21
2	0,28
2,5	0,35
3	0,38
3,5	0,40
4	0,42
4,5	0,42
5	0,42
5,5	0,42
6	0,42
6,5	0,42
7	0,42
7,5	0,42
8	0,42

Cambio de altura en la probeta - Desplazamiento lateral (%)



Desplazamiento lateral relativo (%)	Cambio en altura (cm)
0	2,30
0,5	2,31
1	2,32
1,5	2,33
2	2,34
2,5	2,34
3	2,33
3,5	2,32
4	2,31
4,5	2,31
5	2,31
5,5	2,31
6	2,30
6,5	2,30
7	2,30
7,5	2,30
8	2,30

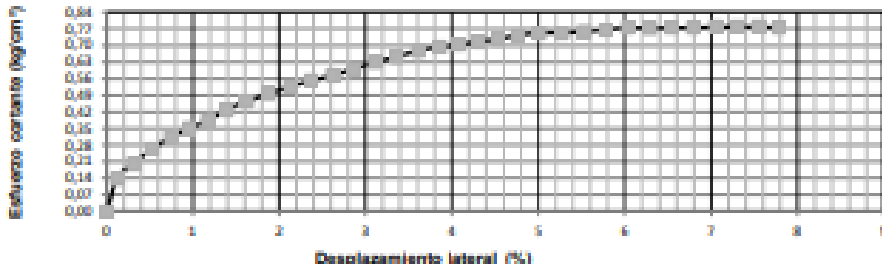
		DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080			
OBRA:		RELAVERA SECTOR A			
LOCALIZACION:		TITIRIBI			
TRAMO:		BODEGA NUCLEOS		FECHA:	17/11/2024
APIQUE	BD NUCLEOS	MUESTRA	10	PROFUNDIDAD	6.00 - 7.00 Mts

Carga:	32 Kg	Area:	31.17 cm ²
Esfuerzo:	1.03 Kg/cm ²	Altura:	2.40 cm
Velocidad:	0.025 mm/min	Punto N°:	2

ESTADO DE LA MUESTRA	
Alterada <input type="checkbox"/>	Humedad <input checked="" type="checkbox"/>
Inalterada <input checked="" type="checkbox"/>	Saturada <input type="checkbox"/>

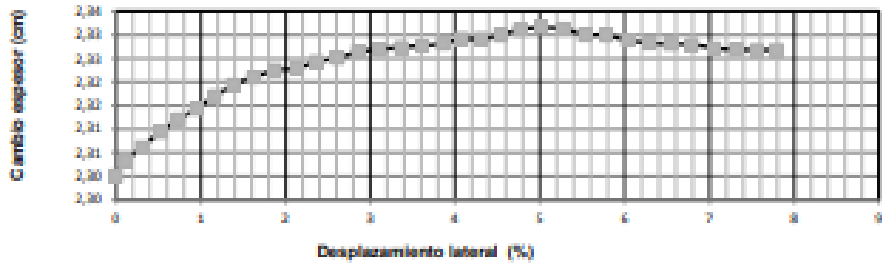
HUMEDAD DE MUESTRA		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Peso suelo húmedo+molde	511.50 gra	Peso muestra + molde	213.8 gra
Peso de Suelos seco + molde	456.80 gra	Peso molde	82.2 gra
Peso del molde	65.80 gra	Peso muestra	131.4 gra
Humedad	13.990 %	Densidad Húmeda	1.78 gra/cm ³

Diagrama Esfuerzo Cortante - Desplazamiento lateral (%)




Desplazamiento lateral (%)	Esfuerzo cortante (kg/cm ²)
0	0.00
1	0.15
2	0.25
3	0.35
4	0.45
5	0.55
6	0.65
7	0.70
8	0.72
9	0.73

Cambio de altura en la probeta - Desplazamiento lateral (%)



Desplazamiento lateral (%)	Cambio espesor (cm)
0	2.30
1	2.31
2	2.32
3	2.325
4	2.33
5	2.335
6	2.33
7	2.325
8	2.32
9	2.315

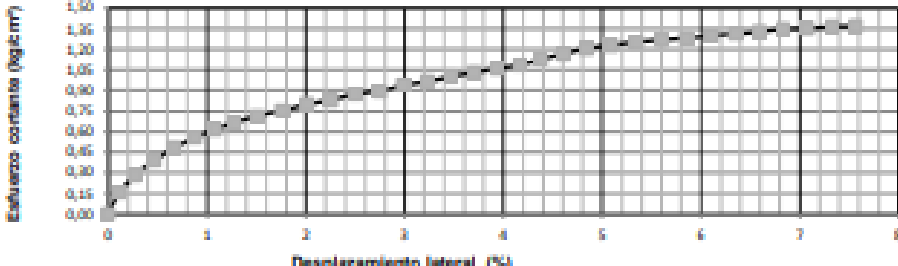
		DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080			
OBRA:		RELAVERA SECTOR A			
LOCALIZACION:		TITIRIBI			
TRAMO:		BODEGA NUCLEOS		FECHA:	17/11/2024
ARIQUE	BD NUCLEOS	MUESTRA	10	PROFUNDIDAD	6,00 - 7,00 Mts

Carga:	64 Kg	Area:	31,17 cm ²
Esfuerzo:	2,05 Kg/cm ²	Altura:	2,4 cm
Velocidad:	0,025 mm/min	Punto N°:	3

ESTADO DE LA MUESTRA			
Alterada	<input type="checkbox"/>	Humedad	<input checked="" type="checkbox"/>
Inalterada	<input checked="" type="checkbox"/>	Saturada	<input type="checkbox"/>

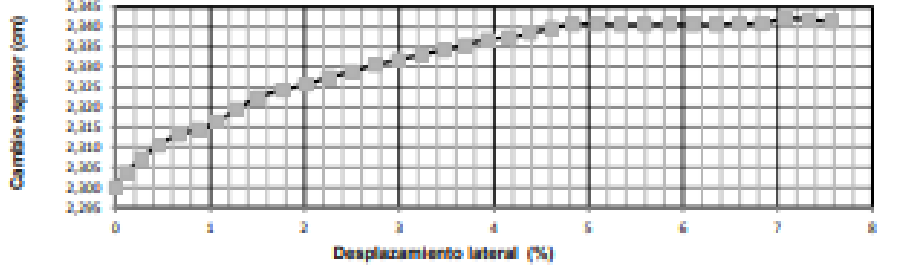
HUMEDAD DE MUESTRA		DENSIDAD DE LA MUESTRA	
Peso suelo húmedo+molde	511,50 gra	Peso muestra + molde	213 gra
Peso de Suelos seco + molde	456,80 gra	Peso molde	82,2 gra
Peso del molde	65,80 gra	Peso muestra	130,8 gra
Humedad	13,99 %	Densidad Húmeda	1,75 gra/cm ³

Diagrama Esfuerzo Cortante - Desplazamiento lateral (%)


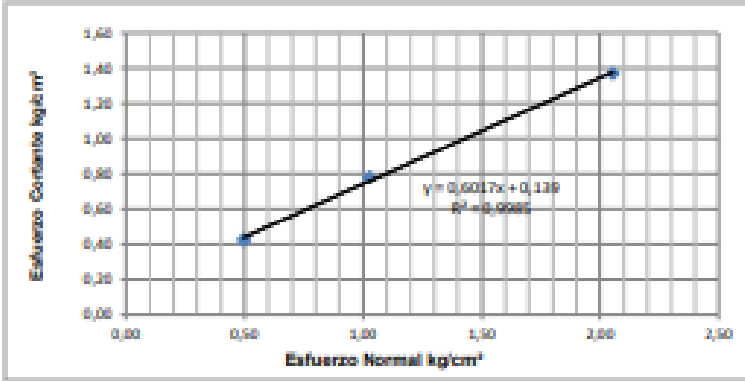




Desplazamiento lateral (%)	Esfuerzo cortante (Kg/cm ²)
0	0,00
1	0,60
2	0,75
3	0,90
4	1,05
5	1,15
6	1,25
7	1,30
8	1,35

Cambio de altura en la probeta - Desplazamiento lateral (%)



Desplazamiento lateral (%)	Cambio de altura (mm)
0	2,995
1	2,985
2	2,975
3	2,965
4	2,955
5	2,945
6	2,935
7	2,925
8	2,915

		DETERMINACION DE RESISTENCIA AL CORTE ENSAYO DE CORTE DIRECTO CONSOLIDADO NO DRENADO Normas INV-E 154 - ASTM D3080																							
OBRA:		RELAVERA SECTOR A																							
LOCALIZACION:		TITIRIBI																							
TRAMO:		BODEGA NUCLEOS		FECHA																					
		17/08/2024																							
APIQUE	BD NUCLEOS	MUESTRA	10	PROFUNDIDAD	6,00 - 7,00 MT																				
DIMENSIONES DE LA MUESTRA																									
Diámetro:		8,3 cm	Area:		31,17 cm ²																				
Altura:		2,4 cm	Volumen:		74,81 cm ³																				
ESTADO DE LA MUESTRA																									
Alterada		x	Humedad		x																				
Inalterada			Saturada																						
CLASIFICACION DEL SUELO :																									
Limo arenoso																									
GRAFICA DE ESFUERZO NORMAL VS ESFUERZO CORTANTE																									
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Punto N°</th> <th>Area cm²</th> <th>Esfuerzo Normal kg/cm²</th> <th>Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm²</th> <th>Carga Vertical (Kilogramos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">31,17</td> <td style="text-align: center;">0,497</td> <td style="text-align: center;">0,4245</td> <td style="text-align: center;">18</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">31,17</td> <td style="text-align: center;">1,027</td> <td style="text-align: center;">0,7777</td> <td style="text-align: center;">32</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">31,17</td> <td style="text-align: center;">2,053</td> <td style="text-align: center;">1,3674</td> <td style="text-align: center;">64</td> </tr> </tbody> </table>				Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Carga Vertical (Kilogramos)	1	31,17	0,497	0,4245	18	2	31,17	1,027	0,7777	32	3	31,17	2,053	1,3674	64
Punto N°	Area cm ²	Esfuerzo Normal kg/cm ²	Esfuerzo Cortante Máximo kg/cm ²	Carga Vertical (Kilogramos)																					
1	31,17	0,497	0,4245	18																					
2	31,17	1,027	0,7777	32																					
3	31,17	2,053	1,3674	64																					
																									
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">RESULTADOS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">FRICCION ϕ</td> <td style="text-align: center;">31,0</td> </tr> <tr> <td>COHESION kg/cm²</td> <td style="text-align: center;">0,14</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD %</td> <td style="text-align: center;">14,0</td> </tr> <tr> <td>PENDIENTE</td> <td style="text-align: center;">0,60</td> </tr> </tbody> </table>				RESULTADOS		FRICCION ϕ	31,0	COHESION kg/cm ²	0,14	HUMEDAD %	14,0	PENDIENTE	0,60										
RESULTADOS																									
FRICCION ϕ	31,0																								
COHESION kg/cm ²	0,14																								
HUMEDAD %	14,0																								
PENDIENTE	0,60																								
 ELABORADOR POR: SERGIO A. JIMENEZ CARGO: AUXILIAR LABORATORIO		 REVISADO POR: ING. SANDRA CELIS CARGO: COORDINADOR LABORATORIO																							

Nota: Se muestra el procesamiento de datos del ensayo de corte directo con sus respectivos resultados y/o observaciones. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.4 Compresión inconfiada

Para la ejecución de este ensayo será necesario preparar una muestra de suelo cohesivo en condiciones naturales con ayuda de un molde cilíndrico (figura 11), se procede a someterla a una carga axial aplicada de manera uniforme y continua, la velocidad de ensayo es de 1.27 mm/min, la velocidad alta sugiere que la muestra no va a tener tiempo para drenar el agua. La falla que presente el material dice que tipo de comportamiento tiene, ya se dúctil o frágil, lo cual se corrobora con la curva esfuerzo-deformación del análisis de resultados. El fin último del ensayo es reportar la resistencia a la compresión inconfiada y la cohesión no drenada, para lo que se deben procesar los datos obtenidos en el ensayo como se muestra en las ecuaciones 10, 11, 12, 13 y 14.

Ecuación 8 Deformación unitaria

$$\varepsilon = \frac{\Delta H}{h_0}$$

Ecuación 9 Área corregida

$$A_c = \frac{A_0}{1 - \varepsilon}$$

Ecuación 10 Esfuerzo- compresión inconfiada

$$\sigma = \frac{P}{A_c}$$

Ecuación 11 Resistencia a la compresión ultima

$$Q_u = \frac{\sigma_{max}}{A}$$

Ecuación 12 Cohesión no drenada

$$C_0 = \frac{Q_u}{2}$$

Figura 11

Ensayo de compresión inconfiada



Nota: En la imagen se muestra la preparación del espécimen y la maquinaria usada para el ensayo junto con la muestra manipulada correctamente. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.4.1 Informe técnico**Figura 12**

Informe técnico ensayo de compresión inconfiada

	COMPRESION INCONFINADA		Código	F-GT-38
			Versión	1
			Fecha Vigencia	6-3-18
			Página	1 - 1

FECHA:	10/10/2024	No REMISION	1	No PROYECTO:	
PROYECTO:	CORREDOR VIAL, VILLAVICENCIO - YOPAL				
LOCALIZACION:	VILLAVICENCIO - YOPAL				
COORDINADOR DE PROYECTO:		PERFORACIÓN No.:	SONDEO 2		
MUESTRA No.:	11	PROFUNDIDAD (m):	10,00 - 11,50		

PROBETA		
DIMENSIONES DE LA MUESTRA	INICIAL	FINAL
	PROMEDIO	PROMEDIO
Diámetro (cm)	3,80	
Altura (cm)	7,60	
Peso (g)	165,60	
Área (cm ²)	11,34	
Volumen (cm ³)	86,193	
Peso Unitario Húmedo g/cm ³	1,921	
Peso Unitario Seco g/cm ³	1,782	
HUMEDAD		
Recipiente No.	13	
Peso suelo húmedo (g)		
Peso suelo seco (g)		
Peso de la lata (g)		
Húmedad (%)	7,80%	

DEFORMACION	CARGA	DEFORMACION	1 - DEFORMACION	ÁREA CORREGIDA	RESISTENCIA
0.001"	(Kg)	UNITARIA (%)	UNITARIA	cm2	Kg/cm2
0	0	0,0%	1,000	11,34	0,00
10	0,10	0,3%	0,997	11,38	0,01
20	0,12	0,7%	0,993	11,42	0,01
30	0,16	1,0%	0,990	11,46	0,01
40	0,19	1,3%	0,987	11,49	0,02
50	0,22	1,7%	0,983	11,53	0,02
60	0,25	2,0%	0,980	11,57	0,02
70	0,29	2,3%	0,977	11,61	0,02
80	0,32	2,7%	0,973	11,65	0,03
90	0,35	3,0%	0,970	11,69	0,03
100	0,38	3,3%	0,967	11,73	0,03
120	0,41	4,0%	0,960	11,81	0,03
140	0,44	4,7%	0,953	11,90	0,04
160	0,47	5,3%	0,947	11,98	0,04
180	0,50	6,0%	0,940	12,07	0,04
200	0,53	6,7%	0,933	12,15	0,04
220	0,56	7,4%	0,926	12,24	0,05
240	0,59	8,0%	0,920	12,33	0,05
260	0,62	8,7%	0,913	12,42	0,05
280	0,65	9,4%	0,906	12,51	0,05
300	0,68	10,0%	0,900	12,60	0,05
320	0,71	10,7%	0,893	12,70	0,06
340	0,74	11,4%	0,886	12,80	0,06
360	0,77	12,0%	0,880	12,89	0,06
380	0,81	12,7%	0,873	12,99	0,06
400	0,84	13,4%	0,866	13,09	0,06
450	0,87	15,0%	0,850	13,35	0,06
500	0,90	16,7%	0,833	13,62	0,07
550	0,93	18,4%	0,816	13,90	0,07
600	0,96	20,1%	0,799	14,19	0,07
650	0,99	21,7%	0,783	14,49	0,07
700	1,02	23,4%	0,766	14,80	0,07
750	1,12	25,1%	0,749	15,13	0,07
800	1,22	26,7%	0,733	15,48	0,08
850	1,33	28,4%	0,716	15,84	0,08
900	1,43	30,1%	0,699	16,22	0,09
950	1,53	31,8%	0,683	16,62	0,09
1000	1,63	33,4%	0,666	17,03	0,10

GRÁFICO DE LA FALLA

Qu = 0,10 Kg/cm²

Cu = 0,05 Kg/cm²

Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.

Observaciones: _____

ELABORADOR POR: SERGIO A. JIMENEZ L.
CARGO: LABORATORISTA

REVISADO POR: ING. SANDRA CELIS
CARGO: COORDINADOR LABORATORIO

Nota: Se muestra el procesamiento de datos del ensayo de compresión inconfiada con sus respectivos resultados y/o observaciones. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.5 Carga puntual

El ensayo de carga puntual consiste en fallar un espécimen de roca aplicándole una carga vertical, como se muestra en la figura 13, esto con el fin de reconocer como va a reaccionar la roca del suelo ante cargas concentradas, el parámetro que mide esto se llama índice de resistencia a la carga puntual y de el se deriva la resistencia a la compresión simple, las ecuaciones 15, 16, 17 y 18 representan el procesamiento de datos. Antes del análisis de resultados es necesario reconocer si la falla de la roca es apta, porque si se procesan los datos de una muestra que presento deslizamiento o contacto desigual, los resultados del ensayo no son aptos, es por ello que en el informe técnico se debe mostrar como fallo la muestra.

Dado que el enfoque de los proyectos está en pavimentos, se optó por realizar un ensayo diametral, en el cual la longitud del espécimen duplica su diámetro.

Ecuación 13 Diámetro equivalente

$$D_E^2 = D^2$$

Ecuación 14 Índice de Carga puntual

$$I_S = \frac{P}{D_E^2}$$

Ecuación 15 Factor de corrección

$$F = \left(\frac{D_E}{50}\right)^{0.45} \quad \text{ó} \quad F = \sqrt{\frac{D_E}{50}}$$


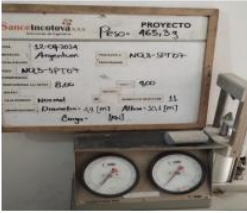

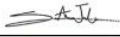
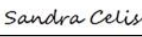
Ecuación 16 Resistencia a la compresión simple

$$\sigma = (20 \sim 25) * I_{S(50)}$$

Figura 13*Ensayo de carga puntual*

Nota: La fotografía representa los ensayos de carga puntual al momento de iniciar la prueba junto con todos los datos del espécimen en cuestión para su posterior registro. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.2.5.1 Informe técnico**Figura 14***Informe técnico ensayo de carga puntual*

		CARGA PUNTUAL EN ROCAS										Código: F-07-02 Versión: 2 Fecha Vigencia: 0-3-18 Página: 1 DE 1	
NORMA APLICABLE: NLT 262/91													
FECHA:	17	11	2024	No REMISION:	1	PROYECTO:	RELAVERA SECTOR A						
No. PROYECTO:	1		LOCALIZACIÓN:	TITIRIBÍ									
DESCRIPCIÓN:	ROCA												
COORDENADAS:													
Perfor.	Muestra	PROFUNDIDAD	gt	P	D	A	De ³	INDICE DE CARGA PUNTUAL	FACTOR DE CORRECCIÓN	INDICE ESTÁNDAR CORREGIDO POR TAMAÑO.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE cc (Mpa)	RESISTENCIA DE LA ROCA DE ACUERDO A cc	DESCRIPCIÓN
No.	No.	(m)	(g/m ³)	(kN)	(mm)	(mm ²)	kg	F	kg/mm ²				
NQ3-SPT-07	11	8.00 - 9.00		15.8	48.00	1809.56	2304	6.96	0.982	6.73	161.59	ALTA	
REGISTRO FOTOGRAFICO ANTES DEL ENSAYO						REGISTRO FOTOGRAFICO DESPUÉS DEL ENSAYO							
													
OBSERVACIONES:	Los resultados presentados corresponden exclusivamente a las muestras sometidas a ensayo.												
 ELABORÓ: SERGIO A. JIMENEZ L. CARGO: LABORATORISTA				 REVISÓ: ING. SANDRA CELYS CARGO: INGENIERA CIVIL				APROBÓ: ING. SANDRA CELIS CARGO: COORDINADOR LABORATORIO					

Nota: Se muestra el procesamiento de datos del ensayo de carga puntual con sus respectivos resultados y/o observaciones. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

4.3 Interpretación de los resultados

Los laboratorios realizados para suelos finos, granulares y núcleos de roca permiten dar un juicio de valor sobre las propiedades de los materiales y reconocer que tan útiles son para las necesidades de la construcción.

Debido a las políticas de la empresa no se pueden presentar abiertamente los resultados de los laboratorios ni los análisis, pero a modo de ejemplificación del análisis de los resultados se va a usar una de las perforaciones realizadas en Titiribí llamada “NQ3-SPT-12”, las características determinadas después de los ensayos de laboratorio fueron:

Figura 15*Resultados de características del suelo*

Profundidad	Clasificación		Compresión inconfiada		Corte directo		Peso unitario	Carga puntual
	SUCS	AASHTO	$Q_u \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$	$C_0 \left[\frac{kg}{cm^2} \right]$	ϕ	$c \left[\frac{kg}{cm^3} \right]$	$\gamma_{seco} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$	$\sigma \text{ [mPa]}$
0,45-0,90	ML	A-4					1,72	
1,80-2,25	ML	A-4					2,29	
2,70-3,15					30,8	0,12		
3,60-4,00					36,6	0,02	1,89	
4,00-5,00								281,24
5,00-6,00							2,63	
8,00-9,00								163,44
11,00-12,00			0,90	0,40				

Nota: Se muestran los datos de la caracterización obtenidos relacionados con la profundidad de la perforación. Toloza, L. (2024). Practica empresarial en Sance Incotova S.A.S.

La clasificación SUCS y AASHTO de los estratos de 0,45 a 2,25 m de profundidad nos permite concluir que es un suelo con baja plasticidad, cohesión, capacidad de soporte y es más crítico con la presencia del agua, deberá ser estabilizado para poder usarse, por otro lado su peso unitario relativamente alto para este tipo de suelo nos demuestra que tiene una estructura granular favorable para compactación por ende es posible que soporte cierta carga, los estratos de 2,70 a 4,00 m de profundidad van disminuyendo su cohesión y presentan un ángulo de fricción relativamente alto, por lo que se concluye que puede resistir fuerzas cortantes grandes sin fallar dependiendo casi exclusivamente de él, teniendo en cuenta que su resistencia al corte proviene en mayor medida a la fricción entre partículas, y seguramente este bien compactado (esto relacionándolo también con los datos de peso unitario), en los siguientes estratos hasta 9 metros de profundidad se tienen núcleos de roca con alta resistencia la compresión simple, lo que

demuestra su gran capacidad de resistir cargas, pero a 11 metros de profundidad se encuentra un suelo blando o debil que tiene muy baja resistencia al corte y no es ideal para soportar cargas altas sin mejoramiento, por lo que necesita ser estabilizado para evitar asentamientos o problemas en la estructura por construir.

4.4 Propuestas de mejoramiento del suelo

Se ayudó de manera parcial en el proceso de consultoría, pasando propuestas detalladas a la ingeniera Sandra Celis de las posibilidades para el mejoramiento de suelo. El proyecto que solicito las propuestas de mejoramiento fue el de las minas ubicadas en Titiribí, por lo que de manera practica se va a continuar con el análisis de la perforación “NQ3-SPT-12” ya teniendo el contexto de sus características del suelo.

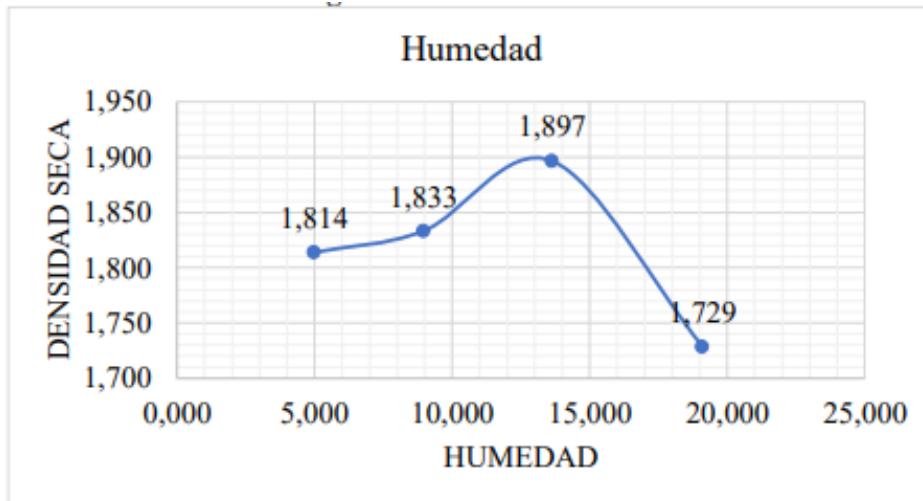
Para tomar una decisión a la hora de mejorar el suelo es necesario tener en cuenta muchos factores ingenieriles, como lo son, el propósito del tratamiento, estudiando el tipo de estructura y las cargas, también es importante reconocer el volumen total de suelo por tratar, cuáles son sus propiedades y en que magnitud no son aptas, además hay factores sociales por considerar como, la disponibilidad de los materiales y la maquinaria, la experiencia del personal, el clima, tiempo disponible y presupuesto (Lopez, n.d.). Cada tipo de estabilización tiene sus características y ventajas, es necesario hacer un análisis exhaustivo para tomar la mejor decisión de mejoramiento de suelo, es por ello por lo que generalmente se presentan varias propuestas, las analizadas en esta práctica fueron las siguientes.

4.4.1 Estabilización mecánica

La compactación de suelos implica una reducción de vacíos, este método es aplicable para suelos granulares y finos, pero se diferencian en su procesamiento, generalmente las arenas se compactan con métodos vibratorios y los suelos tipo arcillosos se comportan bien con métodos estáticos, es necesario tener en cuenta el contenido de humedad del suelo y el espesor de la capa a tratar datos importantes para el diseño, este debe especificar del número de pasadas del equipo de compactación y la energía, que se refiere por ejemplo en la compactación dinámica al peso del martillo y altura de caída, para evitar una posible sobre compactación o compactación insuficiente (Rosetti & Begliardo, 2005). Es necesario analizar en laboratorio el nivel de compactación óptimo con ayuda del ensayo Proctor y después de la intervención es necesario un control de calidad por lo que se deben extraer muestras para comprobar que el suelo va a ser capaz de resistir las cargas.

4.4.1.1 Ensayo Proctor

Ensayo en el que se define la seca máxima que puede alcanzar un suelo junto con su contenido de humedad óptimo, es necesario realizarle varias pruebas de peso unitario al suelo con diferentes contenidos de humedad calculando las densidades secas, datos con los que se obtiene la curva Proctor (ver figura 15), el punto máximo de esta indica las condiciones óptimas de compactación (Lopes, n.d.)

Figura 16*Curva Proctor modificado*

Nota: Es posible concluir de la gráfica la densidad máxima seca (1.894 g/cm^3) junto con su humedad optima (13,2%). Tomado de: *Comparación del método de estabilización iónica con otros métodos realizados en la UPB* (p. 49) por S. J. Benítez & C.D. Rojas, 2019, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

4.4.2 Estabilización química

4.4.2.1 Estabilización hidráulica

4.4.2.1.1 uso de cal. La cal es un aditivo ideal para suelos finos con un índice de plasticidad mayor a 10, la mezcla de suelo y cal disminuirá la plasticidad, mejora la trabajabilidad y los cambios de volumen, esto puede variar dependiendo del tipo de suelo, de cal, las cantidades, entre otros factores. Para estabilizar los suelos finos generalmente se necesita un 3-4% de cal con respecto al suelo seco, pero será necesario analizar en laboratorio que el porcentaje alcanza los requerimientos mínimos para la obra. Generalmente el proceso de estabilización se lleva a cabo mezclando insitu pero también se podría mezclar en planta o inyectar la cal a presión, independientemente del método es necesario preparar el suelo, esparcir uniformemente el aditivo,

mezclarlo adicionándole el agua, compactar y curar el suelo (Solminihac, Echeverria & Thenoux, n.d). Las desventajas de este método van a radicar en que el tiempo de reacción es largo, lo que puede retrasar las actividades de construcción, además tiene limitaciones con suelos muy plásticos y expansivos, ya que puede no ser suficiente su reacción para controlarlo, lo que puede generar costos adicionales al requerir otro estabilizante, como el cemento.

4.4.1.1.2 uso de cemento. Aditivo ideal para suelos de grano grueso o arcillas con un nivel de baja a media plasticidad (menor al 30%), los resultados dependerán del tipo de suelo, cantidad de cemento, grado de mezclado, tiempo de curado y densidad seca de la muestra. De manera general a mayor cantidad de cemento mayor resistencia presentara el suelo estabilizado, es posible determinar el contenido ideal en laboratorio, aunque también existen unas estimaciones de cantidades de cemento a usar dependiendo del tipo de suelo (ver figura 16), será necesario calcular la cantidad de agua que se le debe agregar al suelo, para ello se realiza un análisis mediante el ensayo Proctor. Para asegurar un correcto funcionamiento el suelo se debe escarificar y pulverizar (un 80% del suelo debe pasar por el tamiz), mezclar con cemento y adicionar la cantidad de agua ideal, por último, compactar y darle forma definitiva al terreno, con ayuda de una motoniveladora (Solminihac, Echeverria & Thenoux, n.d). Las desventajas de estabilizar el suelo con cemento serán que el cemento es un material relativamente caro en comparación a otros estabilizantes como la cal, por lo que es poco práctico en proyectos extensos, es un proceso demorado porque consta de muchas fases, y además genera rigidez excesiva lo que puede ser contraproducente para la durabilidad de la estructura.

Figura 17

Requerimiento de cemento por tipo de suelo

AASHO Soil Classification*	Unified Soil Classification	Usual Range in cement requirement**		Estimated cement content and that used in moisture-density test, percent by weight	Cement contents for wet-dry and freeze-thaw test percent by weight
		percent by vol.	percent by wt		
A-1-a SM	GW, GP, GM, SW, SP,	5-7	3-5	5	3-5-7
A-1-b	GM, GP, SM, SP	7-9	5-8	6	4-6-8
A-2	GM, GC, SM, SC	7-10	5-9	7	5-7-9
A-3	SP	8-12	7 - 11	9	7-9-11
A-4	CL, ML	8-12	7-12	10	8 -10 -12
A-5	ML, MH, CH	8-12	8-13	10	8 -10 -12
A-6	CL, CH	10-14	9-15	12	10 -12 -14
A-7	OH, MH, CH	10 - 14	10 - 16	13	11 -13 -15

Nota: Con los datos de clasificación es posible determinar el contenido de cemento ideal, Tomado de: *Estabilización química de suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos* (p. 13) por H. Solminihac, G. Echeverria & G. Thenoux, Pensamiento educativo

4.4.2.2. Estabilización con asfalto. Apto para suelos finos y granulares, los mecanismos de estabilización del asfalto consisten en recubrir las partículas del suelo, esto mejora la impermeabilización de cada una, aislándola e impidiéndole reaccionar con el agua, en los suelos finos, es necesario hacer aglomeraciones de suelo y recubrirlas disminuyendo de esa manera la cantidad de asfalto. Es necesario determinar si los materiales son aptos para estabilizar con asfalto, ver figura 17, la metodología de uso consiste en primeramente definir el agente estabilizante, ya sea asfalto espumado, cemento asfáltico o emulsión asfáltica, entre otros, esto definirá el método de construcción, siendo en planta y en sitio, es importante reconocer también el tipo de capa, siendo de rodadura, base o subbase, las condiciones de carga y las propiedades de los agregados. (Solminihac, Echeverria & Thenoux, n.d). Las desventajas y limitaciones de esta práctica serán el

gran costo inicial, aunque se reducen los costos de mantenimiento, el impacto ambiental y el requerimiento de equipo especializado.

Figura 18

Materiales aptos para estabilizar con asfalto

X Passing Sieve	Sand-B1turnen	Sol 1-B1 tunen	Sand-Gravel 81 turnen
1-12"			100
1"	100		
3/4"			60-100
No. 4	50-100	50-100	35-100
No. 10	40-100		
No. 40		35-100	13-50
No. 100			8-35
No. 200	5-12	Good - 3-20 Fair - 0-3 & 20-30 Poor - >30	
Liquid Limit		Good - <20 Fair - 20-30 Poor - 30-40 Unusable - >40	
Plasticity Index	10	Good - <5 Fair - 5-9 Poor - 9-15 Unusable - >12-15	10

Nota: Se debe analizar el suelo y si cumple con las características se podrá procesar con asfalto, Tomado de: *Estabilización química de suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos* (p. 16) por H. Solminihac, G. Echeverria & G. Thenoux, Pensamiento educativo

4.4.3 Estabilización física

Cuando el suelo tiene problemas sobre todo de gradación y plasticidad, es una opción viable agregar otros suelos con el fin de complementar mejorando así sus propiedades, para ello se hace un análisis técnico detallado en el que se diseña el suelo que se necesita y se buscan canteras con esas especificaciones de suelo, será necesario mezclar los suelos garantizando una distribución uniforme de los materiales añadidos y compactar el suelo por vibración para que las partículas se

reacomoden. Las limitaciones de este tipo de estabilización radican en la accesibilidad, si por la zona de construcción no hay canteras con materiales de las características necesarias, se aumentan los costos por el transporte.

Otra opción será retirar el suelo que no funciona y rellenar con un suelo de características ideales, esto generalmente se hace cuando hay presencia de suelos orgánicos, expansivos o contaminados, pero puede tener un costo elevado por la necesidad de excavación, transporte del suelo extraído y adquisición de nuevo suelo, sobre todo si se trata de un gran volumen de suelo problemática, pudiendo optar por otra opción como la implementación de geosintéticos.

La propuesta de mejoramiento para este caso en específico sería: estabilizar con cal o cemento los primeros 2,25 metros de profundidad para mejorar la resistencia al corte y reducir la deformabilidad, la proporción se deberá definir en laboratorio con el ensayo Proctor, pero al ser una profundidad tan grande, se debería analizar la posibilidad de primero compactar de manera estática el suelo y seguidamente estabilizarlo con cal, de esta manera se podrían optimizar recursos. Para los siguientes estratos será necesario realizar un estudio adicional para garantizar que no existen discontinuidades o fracturas en la roca que pueda comprometer la estabilidad y por último para el suelo caracterizado a 11 metros de profundidad, debido a que no es viable retirar el suelo se deberá inyectar cemento o cal aumentando su rigidez, otra opción sería considerar aislar este estrato de manera que se transfieran las cargas hacia un suelo resistente.

5. Conclusiones

El proceso de caracterización de materiales para las obras de la Plata-Huila, Villavicencio-Yopal y las minas ubicadas en Titiribí demostró ser fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de las estructuras futuras y en proceso, debido a que muchas de las características del suelo no cumplían con los requisitos de diseño, datos concluidos después de un análisis exhaustivo.

El proceso de estudio de suelos incluye varias etapas críticas, entre ellas los ensayos de laboratorio, que deben ser realizados de manera correcta para evitar consecuencias catastróficas y malos reportes, para ello a lo largo de todos los procesos se trabajó bajo las normas INVIAS y las regulaciones establecidas para la caracterización de suelos, aunque algunas de las etapas se puedan tornar técnicas y repetitivas es necesaria la supervisión de un ingeniero civil, quien tiene claro cuáles son los posibles resultados del comportamiento del suelo desde la primera etapa lo que le ayuda a verificar la congruencia de los resultados y los posibles errores o anomalías. Es por ello por lo que en esta etapa no solo se aprendió a ejecutar de manera correcta los ensayos de laboratorio, sino a analizar los suelos y reconocerlos previo a su tratamiento de datos.

La interpretación de los resultados de los laboratorios es el factor fundamental que encamina una buena caracterización de los suelos y por ende un buen análisis de necesidades y recursos, dependiendo de las solicitudes de las obras se puede proponer la estabilización adecuada para el suelo en cuestión, es necesario encontrar soluciones efectivas, teniendo en cuenta que en el contexto de las obras civiles siempre se tienen componentes analíticos o de diseño, pero también económicos y sociales, la experiencia práctica se vuelve necesaria para tomar decisiones integrales que reduzcan riesgos, optimicen costos y minimicen el impacto en la comunidad.

Referencias Bibliográficas

- American Association of State Highway and Transportation Officials. (2021). Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes (AASHTO M 145-21). AASHTO.
- Angelone, S., Garibay, M. & Cauhapé, M. (2006). Permeabilidad de suelos. Universidad Nacional de Rosario.
- ASTM International. (2017). Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System) (ASTM D2487-17). ASTM International.
- Cano, P. (2021). Estabilización de la subrasante del pavimento utilizando geomallas triaxiales y geotextiles en la Av. Antúnez de Mayolo, Los Olivos, Lima-2021. Universidad Cesar Vallejo.
- Gabriels, D., & Lobo, D. (2020). Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. Universidad de Gante, Bélgica & Universidad Central de Venezuela.
- Gonzáles, A. (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana.
- González, P., Seijo, N. & Rueda, B. (1997). Compacidad de los suelos desarrollados sobre sedimentos Terciario-Cuaternarios en Terra Cha (Lugo) (Vol. 22). Caderno Lab. Xeoloxico de Laxe.
- Hepp, C. & Stolpe, N. (2014) Caracterización y propiedades de los suelos de la Patagonia Occidental. Instituto de investigaciones agropecuarias

- Huama, W. (2018). Análisis de la variación del ángulo de fricción y cohesión en la resistencia a los esfuerzos de corte en los suelos del centro poblado de alto Qosqo-Cusco. Universidad Alas Peruanas.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-122-13: Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo-agregado. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-123-13: Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-125-13: Determinación del límite líquido de los suelos. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-126-13: Limite plástico e índice de plasticidad de los suelos. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-142-13: Relaciones de humedad- peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación). Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-152-13: Compresión inconfiada en muestras de suelo. Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Instituto Nacional de Vías (INVÍAS). (2013). Norma INV E-154-13: Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (CD). Bogotá, Colombia: Ministerio de Transporte.
- Lopez, A. (n.d.). Mejora geotécnica del suelo. Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- Lopez, A. & Palacios, J. (2021). Comparación técnica y económica de la estabilización mecánica y química de la base en el pavimento de la ruta mo102, tramo del km 40+667 al km 47+185

- provincia de Mariscal Nieto- departamento Moquegua – Perú,2021. Universidad Científica del Perú.
- Lopez, G. (n.d.). Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado. Universidad politécnica de Valencia.
- Mediana, S. & Salazar, L. (2009). Relación entre la resistencia al corte directo y propiedades físicas y químicas en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. Cenicafé.
- Patzán, J. (2009). Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas. Universidad de San Carlos de Guatemala
- Quispe, C. & Quispe, G. (2022). Proyecto de la línea de impulsión y red de distribución de agua potable de alto qosqo distrito de San Sebastián, provincia Cusco región Cusco. UNSAAC Cusco
- Rabar, A. (2016). Aplicabilidad del penetrómetro cónico en la determinación del límite líquido en suelos de baja y media plasticidad. Escuela Politécnica Superior.
- Rico, A. & Castillo, H. (1992). Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. Secretaria de comunicaciones y transportes
- Rosetti, R. & Begliardo, H. (2005). Generalidades sobre compactación de suelos. Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela.
- Sance Incotova. (2014). <https://sanceincotova.com/>
- Solminihac, H., Echeverria, G. & Thenoux, G. (n.d.). Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos. Pensamiento Educativo.
- Soto, J. (2014). Mejoramiento del suelo cohesivo por medio de la compactación dinámica. Escuela colombiana de ingeniería Julio Garavito.

Vargas, J. (2009). Evaluación de los métodos Aashto y USCS en la caracterización del suelo del barrio Mochuelo Bajo en la localidad de Ciudad Bolívar. UNIMINUTO.

Vergara, B. (n.d.). Influencia de los aditivos plastificantes tipo a sobre la comprensión, peso unitario y asentamiento en el concreto. Universidad Nacional de Trujillo.

Apéndices



Apendice.zip

Nota. Esta carpeta contiene apéndices de evidencia del modo de procesamiento de los datos de laboratorio realizado por la ingeniera en formación. Fuente propia y de la empresa Sance Incotova SAS (2024)