



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO I

**ALTERNATIVAS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA CAMINOS DE TERRACERÍA
DE MATERIAL GRANULAR**

PRESENTADO POR:

11811128 JORGE ARTURO LEMUS PONCE

11741364 ANDREÉ ZELAYA RAMÍREZ

ASESORA METODOLÓGICA:

MSc. ING. KARLA ANTONIA UCLÉS BREVÉ

ASESOR TEMÁTICO:

MSc. ING. JUAN CARLOS REYES ZÚÑIGA

CAMPUS TEGUCIGALPA; ABRIL, 2023.

AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO DE TESIS DE GRADO.

Señores

CENTRO DE RECURSOS PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN (CRAI)

Tegucigalpa

Estimados señores:

La presentación del documento de tesis forma parte de los requerimientos y procesos establecidos de graduación para alumnos de pregrado de UNITEC.

Nosotros, Jorge Arturo Lemus Ponce y Andree Zelaya Ramírez de Tegucigalpa, MDC, Autores del trabajo de grado titulado: "Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular" presentado y aprobado en 2023, como requisito para optar al título profesional de Ingeniero autorizamos a:

Las bibliotecas del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), para que, con fines académicos, pueda libremente registrar, copiar y usar la información contenida en él, con fines educativos, investigativos o sociales de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en las salas de estudio de la biblioteca y la página Web de la universidad.

Permita la consulta y reproducción, a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato CD o digital desde Internet, Intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

De conformidad con lo establecido en el artículo 19 de la Ley de Derecho de Autor y de los derechos conexos; los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Es entendido que cualquier copia o reproducción del presente documento con fines de lucro no está permitida sin previa autorización por escrito de parte de los principales autores.

En fe de lo cual, se suscribe la presente acta en la ciudad de Tegucigalpa el xx de abril de dos mil veintitrés (2023).



Jorge Arturo Lemus Ponce

11811128



Andree Zelaya Ramirez

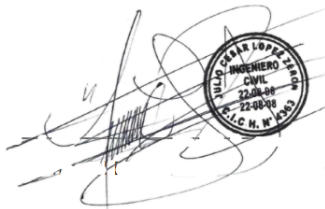
11741364

HOJA DE FIRMAS

Los abajo firmantes damos fe, en nuestra posición de miembro de terna, asesor y jefe académico, en el marco de nuestras responsabilidades adquiridas, que el presente documento cumple con los lineamientos exigidos por la facultad de ingeniería y los requerimientos académicos que la universidad dispone dentro de los procesos de graduación.



MSc. Ing. Karla Antonia Uclés Breve
Asesora UNITEC

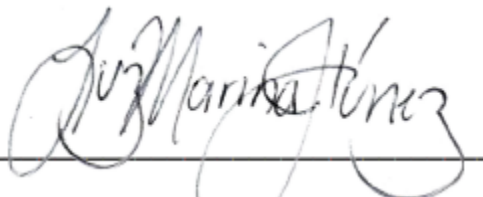


The stamp is circular with the text: "UNIVERSIDAD DE LOS RIOS", "INGENIERO CIVIL", "22-08-08", and "C.I.C. N.º 143".

MSc. Ing. Julio Cesar Lopez Zeron
Coordinador de Terna



MSc. Julio Alberto Baide Larios
Miembro de Terna



MSc. Ing. Luz Marina Matute
Miembro de Terna



MSc. Ing. José Menelio Bardales Urbina

Jefe Académico de la facultad de Ingeniería Civil Unitec

RESUMEN EJECUTIVO

Debido al deterioro que generalmente presenta la rasante de los caminos de terracería por factores meteorológicos, falta de mantenimiento preventivo, vehículos que sobrepasan la carga máxima de diseño, necesidad de estructuras de drenaje, tipo de suelo, tipo de terreno. Se ha identificado una problemática que motiva a investigar sobre alternativas de estabilización de suelos para mejorar la rasante de los caminos de terracería, que por razones económicas o tráfico insuficiente para realizar la intervención, no han sido mejoradas con pavimentos, por lo que se ha propuesto como objetivo de la investigación realizar pruebas de laboratorio para estabilización de suelos con diferentes agentes, de manera que se pueda establecer una comparación entre la resistencia a la compresión, índice de plasticidad y permeabilidad.

Para realizar las pruebas de laboratorio mencionadas se han elegido cuatro agentes estabilizantes de acuerdo con las fuentes bibliográficas investigadas, de manera que se pueda proponer un diseño para la estabilización de la red vial no pavimentada, para lo que se ha seleccionado un tipo de suelo A-2-4 con un índice de plasticidad de 9.61%, cuyas características granulares representan una condición que propicia el uso de agentes estabilizantes cementantes, pero que es importante analizar con materiales que puedan disminuir la plasticidad, analizar si afecta la permeabilidad y comparar la resistencia a la compresión con el suelo estabilizado con cemento.

Se han utilizado como agentes estabilizadores: el cemento Portland tipo I que sirve de base para la comparación de la resistencia a la compresión, así como cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña para analizar el efecto en la permeabilidad y plasticidad del suelo, de donde ha resultado que la melaza disminuye la plasticidad del suelo; el 2% de melaza de caña aumenta la resistencia a la compresión con respecto al suelo puro, a diferencia del cloruro de calcio y cloruro de sodio, cuyos efectos no fueron significativos, por lo que se recomienda investigar el efecto de la melaza de caña en el suelo-cemento.

Palabras clave: suelo-cemento, suelo-cloruro de calcio, suelo-cloruro de sodio, suelo-melaza de caña.

ABSTRACT

Due to the deterioration that generally presents the grade of dirt roads due to meteorological factors, lack of preventive maintenance, vehicles that exceed the maximum design load, need for drainage structures, type of soil, type of terrain, a problem has been identified that motivates to investigate alternatives for soil stabilization to improve the grade of dirt roads, which for economic reasons or insufficient traffic to carry out the intervention, have not been improved with pavements, so it has been proposed as an objective of the research to carry out laboratory tests for soil stabilization with different agents, so that a comparison of compressive strength can be established, Plasticity, permeability and cost index per cubic meter.

To carry out the aforementioned laboratory tests, four stabilizing agents have been chosen according to the bibliographic sources investigated, so that a design for the stabilization of the unpaved road network can be proposed for which a soil type A-2-4 with a plasticity index of 9.61% has been selected whose granular characteristics represent a condition that favors the use of cementitious stabilizing agents, but it is important to analyze with materials that can reduce plasticity and analyze if permeability is affected and compare compressive strength with cement-stabilized soil.

Portland cement type I that serves as a basis for the comparison of compressive strength have been used as stabilizing agents, as well as sodium chloride, calcium chloride and cane molasses to analyze the effect on the permeability and plasticity of the soil, from where it has resulted that molasses decreases the plasticity of the soil; 2% cane molasses increases compressive strength with respect to pure soil, unlike calcium chloride and sodium chloride whose effects were not significant, so it is recommended to investigate the effect of cane molasses on soil-cement.

Key words: soil-cement, soil-calcium chloride, soil-sodium chloride, soil-cane molasses.

ÍNDICE DE CONTENIDO

I	Introducción	1
II	Planteamiento del Problema.....	3
2.1	Precedentes del Problema.....	3
2.2	Definición del problema	4
2.3	Justificación	5
2.4	Preguntas de investigación	6
2.5	Objetivos.....	7
2.5.1	Objetivo general.....	7
2.5.2	Objetivos específicos	7
III	Marco teórico.....	8
3.1	Red vial de honduras	8
3.1.1	Clasificación de carreteras en Honduras.....	9
3.1.2	Red vial pavimentada	10
3.1.3	Red no pavimentada.....	12
3.2	Estabilización de suelos	13
3.2.1	Tipos de estabilización de suelos.....	14
3.3	Agentes estabilizadores de suelos.....	21
3.3.1	Estabilización de suelos con cemento.....	21
3.3.2	Estabilización de suelos con cloruro de calcio.....	23
3.3.3	Estabilización de suelos con cloruro de sodio	24
3.3.4	Estabilización de suelos con melaza de caña	25
3.4	Normas ASTM.....	26
3.4.1	Normativa ASTM 136-01.....	26
3.4.2	Normativa ASTM 117-95.....	26

3.4.3	Normativa ASTM D4318-17	27
3.4.4	Normativa ASTM D-698	28
3.4.5	Normativa ASSHTO T- 99.....	29
3.5	Ensayos de laboratorio para la estabilización de suelos.....	29
3.5.1	Ensayo de granulometría	30
3.5.2	Ensayo límites de Atterberg.....	31
3.5.3	Ensayo de Proctor estándar	31
IV	Metodología.....	33
4.1	Enfoque.....	33
4.2	Variables de investigación.....	33
4.2.1	Resistencia a la compresión	34
4.2.2	Índice de plasticidad	36
4.2.3	Desgaste y absorción del suelo	37
4.2.4	Grado de absorción.....	39
4.2.5	Permeabilidad.....	40
4.2.6	Coefficiente de permeabilidad corrección por temperatura	40
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados	41
4.3.1	Instrumentos.....	41
4.3.2	Google Meet.....	43
4.3.3	Calicatas.....	45
4.4	Materiales.....	46
4.4.1	Agua.....	46
4.4.2	Suelo	46
4.4.3	Cemento	47
4.4.4	Cloruro de sodio.....	47

4.4.5	Cloruro de calcio	48
4.4.6	Melaza de caña	48
4.5	Metodología del estudio	49
4.5.1	Calicatas.....	49
4.5.2	Investigación de porcentaje de cada material estabilizador	51
4.5.3	Compresión axial.....	58
4.5.4	Desgaste y absorción del suelo	60
V	Resultados y análisis.....	68
5.1	Comparación de resultados de la resistencia a la compresión.....	68
5.1.1	Análisis de los resultados.....	69
5.2	Comparación de resultados de índice de plasticidad	70
5.2.1	Análisis de resultados.....	71
5.3	Comparación de resultados de desgaste.....	71
5.3.1	Análisis de los resultados.....	72
5.4	Comparación de resultados de absorción.....	73
5.4.1	Análisis de resultados.....	73
5.5	Comparación de resultados de permeabilidad.....	73
5.5.1	Análisis de los resultados.....	74
5.6	Comparación de resultados Proctor estándar.....	75
5.6.1	Análisis de resultados.....	76
5.7	Comparación general de resultados.....	77
5.7.1	Análisis de resultados generales	78
VI	Conclusiones	80
VII	Recomendaciones.....	81

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Estabilización de suelos.....	1
Ilustración 2 Ubicación de extracto de suelo.....	3
Ilustración 3 Red vial nacional 2020.....	5
Ilustración 4 Porcentaje de carreteras con tipo de calzada.....	5
Ilustración 5 Parque vehicular 2016-2020.....	8
Ilustración 6 Red Vial Primaria.....	9
Ilustración 7 Red vial secundaria.....	10
Ilustración 8 Pavimento sección transversal asfáltico (flexible).....	11
Ilustración 9 Pavimento concreto hidráulico.....	12
Ilustración 10 Caminos con balasto.....	12
Ilustración 11 Caminos de concreto.....	13
Ilustración 12 Estabilización de suelos.....	14
Ilustración 13 Estabilización por compactación.....	15
Ilustración 14 Estabilización con reemplazo de material.....	16
Ilustración 15 Estabilización de suelo con geotextiles.....	17
Ilustración 16 Estabilización de suelos con geo celdas.....	17
Ilustración 17 Estabilización de suelos con geomalla.....	18
Ilustración 18 Estabilizaciones fisio químicas para pavimentación.....	19
Ilustración 19 Representación del movimiento iónico desde la solución del suelo.....	19
Ilustración 20 Estabilización térmica del transistor.....	20
Ilustración 21 Estabilización de suelos con cemento.....	22
Ilustración 22 Estabilización de suelos con cloruros.....	24
Ilustración 23 Melaza de caña.....	25
Ilustración 24 Prueba a compresión.....	30

Ilustración 25 Ensayo Granulométrico.....	30
Ilustración 26 Límites de Atterberg	31
Ilustración 27 Ensayo Proctor estándar.....	32
Ilustración 28 Probeta suelo puro Proctor estándar	32
Ilustración 29 Ensayo a compresión por medio de cilindros elaborados de suelo	35
Ilustración 30 Carga sometida a la probeta de suelo	35
Ilustración 31 Copa de Casagrande.....	37
Ilustración 32 Muestras límite plástico	37
Ilustración 33 Ejemplo de probeta en ciclo de desgaste.....	38
Ilustración 34 Peso inicial de probeta de suelo cloruro de calcio 4%.....	38
Ilustración 35 Desgaste final de probeta de suelo cloruro de calcio 4%	39
Ilustración 36 Probeta de suelo, absorción.....	39
Ilustración 37 Ubicación del tramo en Google Maps.	42
Ilustración 38 Ubicación en Google Earth.....	42
Ilustración 39 Herramienta utilizada como videoconferencia para discusiones	43
Ilustración 40 Herramienta para redactar y editar texto en Microsoft Word.....	43
Ilustración 41 Cálculo de ensayos de laboratorio Microsoft Excel	44
Ilustración 42 Presentación por medio de Microsoft PowerPoint.....	44
Ilustración 43 Sitio utilizado en la investigación.....	45
Ilustración 44 Calicata	45
Ilustración 45 Muestra de agua.....	46
Ilustración 46 Muestra de suelo a obtenida en carretera.....	47
Ilustración 47 Muestra de cemento Portland.....	47
Ilustración 48 Estabilización con cloruro de sodio en nieve	48
Ilustración 49 Cloruro de calcio.....	48

Ilustración 50 Muestra de melaza de caña	49
Ilustración 51 Tramo donde se extrae la muestra de suelo	49
Ilustración 52 Obtención de calicata	50
Ilustración 53 Muestra para el contenido de humedad.....	50
Ilustración 54 Tamizado para determinar la granulometría	51
Ilustración 55 Granulometría gruesa, separación de partículas.....	52
Ilustración 56 Ensayo para determinar el límite plástico	55
Ilustración 57 Ensayo de Casagrande para límite líquido de la muestra.....	55
Ilustración 58 Muestra de contenido de humedad	56
Ilustración 59 Ensayo de Proctor estándar.....	56
Ilustración 60 Ensayo de compresión axial	58
Ilustración 61 Absorción por 5 hora bajo agua.....	61
Ilustración 62 Desgaste 48 horas al horno.....	62
Ilustración 63 Permeabilidad del suelo	63
Ilustración 64 Permeabilidad con suelo cemento 16%	65
Ilustración 65 Mezcla de suelo puro y melaza de caña.....	66
Ilustración 66 Gráfico límite líquido suelo puro.....	67
Ilustración 67 Gráfico de resistencia a la compresión según tipo de material.....	68
Ilustración 68 Gráfico de resistencia a compresión de cada porcentaje de material	69
Ilustración 69 Gráfico comparativo de porcentaje índice de plasticidad	70
Ilustración 70 Gráfico de numero de ciclos resistente al desgaste.....	71
Ilustración 71 Desgaste del 100% de probeta.....	71
Ilustración 72 Gráfico de porcentajes desgaste final por material	72
Ilustración 73 Gráfico comparativo grado absorción.....	73
Ilustración 74 Gráfico resultados de permeabilidad por material.....	74

Ilustración 75 Gráfico comparativo porcentaje de humedad	75
Ilustración 76 Gráfico comparativo densidad máxima	76
Ilustración 77 Simbología de resultados generales.....	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Red vial nacional por tipo de material	5
Tabla 2 Cantidad de cemento para el ensayo de compactación.....	23
Tabla 3 Tabla coeficiente de corrección por temperatura.....	40
Tabla 4 Granulometría gruesa.....	52
Tabla 5 Porcentaje de error del ensayo	53
Tabla 6 Granulometría fina.....	53
Tabla 7 Porcentaje de error del ensayo de granulometría fina	54
Tabla 8 Granulometría combinada.....	54
Tabla 9 Coeficientes de curvatura y uniformidad del suelo.....	55
Tabla 10 Clasificación de suelos según la AASHTO	57
Tabla 11 Sistema de clasificación SUCS.....	57
Tabla 12 Ensayo de compresión axial suelo puro.....	58
Tabla 13 Ensayo de compresión axial suelo-cemento	59
Tabla 14 Ensayo de compresión axial suelo-cloruro de sodio.....	59
Tabla 15 Ensayo de compresión axial suelo-cloruro de calcio	59
Tabla 16 Ensayo de compresión axial suelo-melaza de caña.....	59
Tabla 17 Peso inicial probeta de suelo puro.....	60
Tabla 18 Peso inicial probeta de suelo-cemento	60
Tabla 19 Peso inicial probeta de suelo-cloruro de sodio.....	61
Tabla 20 Peso inicial probeta de suelo-cloruro de calcio	61
Tabla 21 Peso inicial probeta de suelo-melaza de caña.....	61

Tabla 22 Datos de permeabilidad suelo-melaza.....	63
Tabla 23 Datos de permeabilidad suelo-cloruro de sodio.....	64
Tabla 24 Datos de permeabilidad suelo-cemento.....	64
Tabla 25 Datos de permeabilidad suelo-cloruro de calcio.....	65
Tabla 26 Límite líquido suelo puro.....	66
Tabla 27 Límite plástico.....	67
Tabla 28 Índice de plasticidad.....	67
Tabla 29 Comparación de resultados de resistencia a compresión por agente.....	69
Tabla 30 Comparación de resultados índice de plasticidad.....	70
Tabla 31 Porcentaje de desgaste final por material.....	72
Tabla 32 Permeabilidad por porcentaje de material.....	74
Tabla 33 Resultados porcentaje de humedad.....	75
Tabla 34 Comparación de las propiedades mecánicas del suelo.....	77
Tabla 35 Ciclo I desgaste y absorción.....	88
Tabla 36 Ciclo II desgaste y absorción.....	89
Tabla 37 Ciclo III desgaste y absorción.....	90
Tabla 38 Ciclo IV desgaste y absorción.....	91
Tabla 39 Ciclo V desgaste y absorción.....	91
Tabla 40 Ciclo VI desgaste y absorción.....	92
Tabla 41 Asesoramiento semana 1.....	92
Tabla 42 Asesoramiento semana 2.....	93
Tabla 43 Asesoramiento semana 3.....	94
Tabla 44 Asesoramiento semana 4.....	95
Tabla 45 Asesoramiento semana 5.....	96
Tabla 46 Asesoramiento semana 6.....	99

Tabla 47 Asesoramiento semana 8.....	100
Tabla 48 Asesoramiento semana 9.....	102
Tabla 49 Asesoramiento semana 10.....	103

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Resistencia a la compresión.....	34
Ecuación 2 Área de la sección transversal del cilindro de suelo.....	36
Ecuación 3 Índice de plasticidad del suelo	36
Ecuación 4 Porcentaje de desgaste final.....	37
Ecuación 5 Grado de absorción	39
Ecuación 6 Porcentaje Material disgregado	40
Ecuación 7 Permeabilidad	40
Ecuación 8 Coeficiente de corrección por Temperatura	41
Ecuación 9 Interpolación.....	41

ANEXOS

Anexo 1 Resultados generales de los ensayos.....	87
Anexo 2 Resultados prueba de desgaste y absorción.....	88
Anexo 3 Asesoramiento técnico	92

SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation
ASTM	American Society for Testing and Materials
FHIS	Fondo Hondureño de Inversión Social
IDL	Índice de Desempeño Logístico
IHCAFE	Instituto Hondureño del Café
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSEP	Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos
IP	Instituto de la Propiedad
PUAD	Pavimento Unicapa de alto Rendimiento
SAG	Secretaría de Agricultura y Ganadería
SEFIN	Secretaría de Finanzas
SIT	Secretaría Infraestructura y Transporte
SOPTRAVI	Secretaría de Obras Públicas, Transporte y Vivienda
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

GLOSARIO

Agentes estabilizadores: "Ayudan a fortalecer el suelo y aumentar su resistencia al agua, esto permite que el suelo se utilice más tarde como material de construcción duradero" (Fernandez C. , 2016).

Caminos de terracería: "Son las carreteras que están compuestas por el terreno natural sin ningún agregado químico, para efectos de medición de red vial, se incluyen dentro de esta tipología los pavimentos de bloques de granito, los embaldosados, losetas de asfalto, etc." (INE, 2020).

Cemento: "Constituye un polvo finamente molido, formado mayoritariamente por silicatos de calcio y, con menor proporción, por aluminatos de calcio. Cuando esto se mezcla con agua, forma una pasta que fragua y endurece a temperatura ambiente". (Rodríguez, 2022)

Estabilización: "Es la técnica constructiva, en obra civil, para mejorar las características de un terreno. Normalmente se suele aplicar esta técnica en autovías, autopistas, aeropuertos y grandes infraestructuras viales". (Obando, 2009)

Pavimento: "Son estructuras compuestas por capas de diferentes materiales, construidas sobre un terreno natural". (Reyes & Rondon, 2015)

Pavimento asfáltico: "Es un material compuesto por asfalto y otros minerales (arena, grava, agua.) de 5 cm o más de espesor, para cubrir superficie de carreteras". (Suárez, 2019)

Pavimento hidráulico: "Es un material compuesto por arena, grava, cemento, agua y reforzado con hierro". (Reyes & Rondon, 2015)

Polímeros: "Son un tipo de macromoléculas constituidas por cadenas de unidades más simples, llamadas monómeros, unidas entre sí mediante enlaces covalentes" (Mauricio, 2010).

Red secundaria: "Se encuentran las calles y carreteras que comunican los pueblos y ciudades entre sí y que sirven para conectar estos a la red vial primaria" (XplorHonduras, 2015).

Red primaria: "Está conformada por el conjunto de carreteras y calles que son vitales para el país, ya que sin ellas no se podría comunicar entre ciudades, estas carreteras unen las principales ciudades de mayor importancia nacional" (XplorHonduras, 2015).

Red terciaria: "Tienen un carácter estrictamente local, su principal función es brindar acceso a los predios dentro de los barrios y las colonias, facilitan el tránsito entre la red primaria y secundaria" (XplorHonduras, 2015).

Red vial: "Conjunto de vías de una nación o localidad; incorporan ferrocarriles, calles, puertos aéreos, oceánicos y fluviales. Son el marco circulatorio a través del cual viajan las mercancías y servicios" (XplorHonduras, 2015).

I INTRODUCCIÓN

Las estructuras de la red vial no pavimentada están sometidas a cargas vehiculares, en algunos casos están relacionadas al acarreo de insumos y productos, transporte público, entre otros, pero que permanecen sin pavimento debido a razones económicas o porque el volumen de tráfico no justifica la inversión de parte del Gobierno de la República. Además, por las mismas razones no es sometida a mantenimiento preventivo y correctivo con la periodicidad recomendada por las normas técnicas según sea el caso, lo que obliga a buscar alternativas para mantener el buen estado y recuperar las condiciones de las carreteras no pavimentadas.



Ilustración 1 Estabilización de suelos

Fuente: (HumiCorp, 2018)

En la investigación se planteará el método químico de estabilización de suelos para establecer una comparativa por medio de pruebas de laboratorio, aplicando normas, manuales de metodologías para estabilización de suelos, de manera que se obtengan valores de resistencia a la compresión, índice de plasticidad y permeabilidad. La estabilización de suelos es un proceso crucial en el campo de la construcción, que implica el uso de diversas técnicas para mejorar las propiedades del suelo. Este proceso es esencial para garantizar que el suelo sea lo suficientemente estable y resistente para soportar estructuras como edificios, carreteras y otras infraestructuras. La estabilización del suelo se puede lograr a través de varios métodos, incluido el uso de cal, cemento,

asfalto, estabilización mecánica, estabilización química y estabilización electrocinética. (Montejo, Montejo, & Montejo, 2018)

En este ensayo, se analizó los diversos métodos de estabilización de suelos y su eficacia para mejorar las propiedades del suelo. El primer método de estabilización de suelos es el uso de cemento Portland, que es un material que sirve para mejorar el índice de plasticidad, aumentar la resistencia y mejorar la durabilidad. El cemento también ayuda a reducir la contracción y la hinchazón del suelo, haciéndolo más estable para fines de construcción. La estabilización con cemento y sales se usa comúnmente para estabilizar suelos arcillosos, que son propensos a hincharse y encogerse debido a los cambios en el contenido de humedad (Montejo, Montejo, & Montejo, 2018).

II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En esta sección del informe de investigación se plantearán los precedentes del problema, que representa una historia breve del problema, la definición del problema, justificación y datos interesantes del tema. El planteamiento del problema forma una gran parte de lo que se pretende resolver a continuación, se presenta lo necesario para poder definir el problema y brindar solución al mismo.

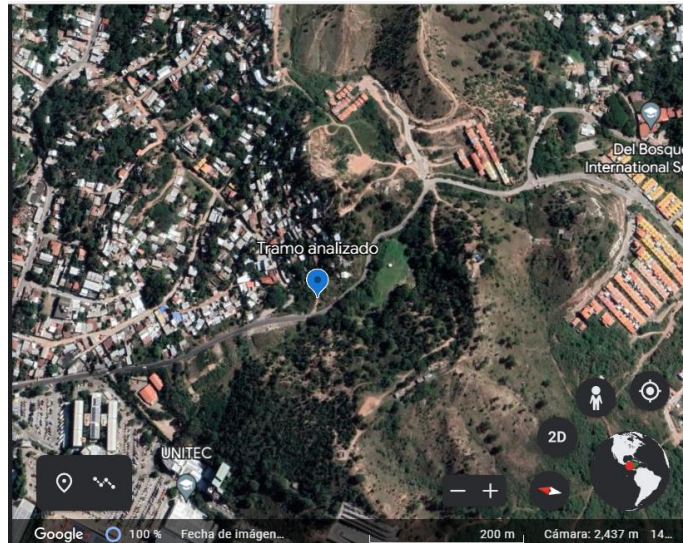


Ilustración 2 Ubicación de extracto de suelo

Fuente: Google Earth

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

Según el Índice de Desempeño Logístico de 2018, Honduras tiene la densidad vial más baja de Centroamérica, donde especifican que solo el 24% de las carreteras en Honduras están pavimentadas, para 2019 las conexiones para la producción agrícola, comercio, turismo y servicios de mercado nacionales y regionales necesitaban un mejoramiento en las redes viales y llevar a cabo un mantenimiento rutinario en caminos secundarios, expone un informe del BID (Estrategias y Negocios, 2019).

En épocas de invierno las carreteras se vuelven altamente peligrosas e inestables para el uso cotidiano, los vehículos sufren de estrés al transitar este tipo de carreteras

que son de importantes para el movimiento del comercio y economía del país. (INE, Instituto Nacional de Estadística, 2018).

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

(INE, 2021) menciona que con base en los registros de la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP), para 2021 se incrementó la red vial en 195 kilómetros, entre carreteras pavimentadas, de material selecto y de tierra, cantidad que fue mayor en 1.15% respecto a 2020, haciendo un total de 17,088.29 kilómetros de carretera a nivel nacional.

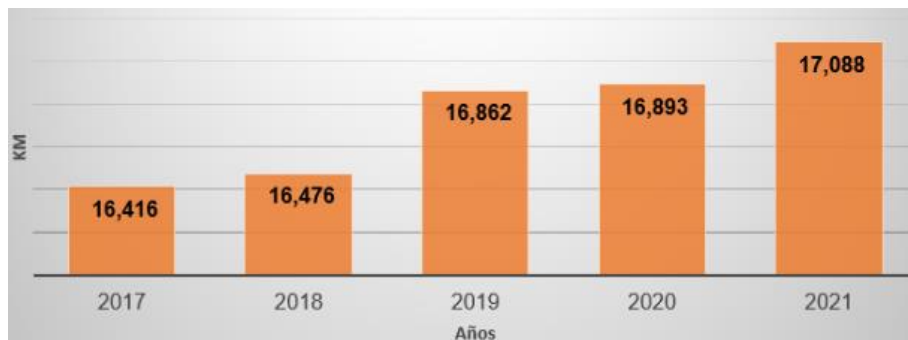


Gráfico 1: Longitud de la red vial de Honduras

Fuente: Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP).

Actualmente la red vecinal representa la mayor extensión con una cobertura del 63.01% (10,767.22 kilómetros) del total nacional (17,088.29 kilómetros). Este tipo de calzada es distinta a las calzadas que se utilizan en una red vial principal y secundaria, la mayor cobertura de red vecinal es el material selecto con un 73.69 % (7,934.01 kilómetros) y tierra con un 26.31 % (2,833.21 kilómetros) (INE, 2021).



Ilustración 3 Red vial nacional 2020

Fuente: Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP), (INE, 2021)

Tabla 1 Red vial nacional por tipo de material

Red	Total	Concreto asfáltico	Concreto hidráulico	Doble tratamiento	Material selecto	Tierra
Total	17,088.29	2,109.35	367.53	1,529.76	10,248.44	2,833.21
Red principal	3,411.39	1,915.60	273.55	894.85	327.39	0.00
Red secundaria	2,909.68	193.75	93.98	634.91	1,987.04	0.00
Red vecinal	10,767.22	0.00	0.00	0.00	7,934.01	2,833.21

Fuente: (INE, 2021)

2.3 JUSTIFICACIÓN

En Honduras apenas el 23% de los caminos son pavimentados; esto hace prioritario buscar alternativas más económicas, resistentes y que generen menor impacto ambiental en la construcción de carreteras (INE, Instituto Nacional de Estadística, 2018).



Ilustración 4 Porcentaje de carreteras con tipo de calzada

Fuente: Elaborado por el INE, con información de la Secretaría de Infraestructura y Servicios Públicos (INSEP)

Cahuana (2016) afirma que, ante la demanda del mejoramiento de las vías no pavimentadas, han surgido alternativas de bajo costo mediante la aplicación de estabilizaciones con materiales en caminos de mediano y bajo tráfico vehicular.

La implementación de los estabilizadores de manera correcta en la superficie de rodadura permite el tránsito de los vehículos y evitar el deterioro, siendo para este caso: Unicapa, cloruro de sodio, el cloruro de calcio y la melaza de caña. Las dosificaciones adecuadas tanto del cloruro de calcio como de la melaza de caña son de gran importancia para su uso en los mantenimientos periódicos que le corresponde a cada camino, con superficies de rodadura a nivel de afirmado (Cahuana, 2016).

Artero, Jovel, & Mejía (2003) afirma: "La construcción o mejoramiento de vías rurales trae consigo un crecimiento socioeconómico en el lugar, por tal razón es necesario que las vías sean diseñadas, construidas y que además se les brinde un mantenimiento adecuado.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Para qué tipo de suelos se utiliza la estabilización de agentes como cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña?
2. ¿Qué rangos de porcentaje se debe utilizar de cada agente estabilizador siendo: cemento, cloruro de sodio, ¿melaza de caña y cloruro de calcio?
3. ¿Cuál es el agente estabilizador que proporciona la mayor resistencia a la compresión de suelo entre cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña?
4. ¿Cuál es el agente estabilizador que proporciona la mayor permeabilidad del suelo mediante los agentes como cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña?

5. ¿Cuál es el agente estabilizador que proporciona la mayor reducción al índice de plasticidad del suelo mediante los agentes estabilizadores como: cemento, cloruro de sodio, ¿cloruro de calcio y melaza de caña?
6. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de cada tipo de agente estabilizadores de suelo?

2.5 OBJETIVOS

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos que sobrellevan esta investigación a lo largo del procedimiento de estabilización mediante los agentes descritos.

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Investigar los diferentes métodos de estabilización de suelos, realizar pruebas de laboratorio y evaluar los resultados obtenidos en función de resistencia a la compresión, permeabilidad e índice de plasticidad, para definir cual método cumple una mejor función como agente estabilizador de suelos.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Obtener una muestra de suelo para analizar las características físicas por medio de pruebas de laboratorio utilizando las normas ASTM y el equipo de laboratorio de Ingeniería Civil de UNITEC.
2. Determinar el rango de porcentajes de material que se debe utilizar en proceso de estabilización de suelos mediante los agentes estabilizadores cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña.
3. Realizar pruebas de laboratorio para determinar resistencia a la compresión, índice de plasticidad, permeabilidad tales como: Granulometría, Proctor estándar, límites de Atterberg, permeabilidad, desgaste y absorción.
4. Analizar cuál de los siguientes agentes estabilizadores como: cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña proporciona las mejores propiedades mecánicas del suelo.

III MARCO TEÓRICO

En el siguiente apartado se describirán las áreas de interés del proyecto brindando una explicación sobre los temas que se evaluarán a lo largo de la investigación, para poder desarrollar resultados y conclusiones. La estabilización de suelos desarrolla los siguientes 5 puntos más importantes para su análisis y descripción.

3.1 RED VIAL DE HONDURAS

La importancia de la siguiente sección es conocer en base a porcentajes y estudios de la red vial de Honduras, se dividen entre tres grandes grupos siendo el tema de investigación los caminos de terracería, que son los buscados para realizar una estabilización, y es de suma importancia el comportamiento de las carreteras en Honduras.

En Honduras la población tiene acceso de un vehículo motorizado por cada 6 personas, las carreteras del país están en malas condiciones. Algunas regiones carecen de caminos pavimentados y aceras, lo que puede hacer que viajar sea difícil y peligroso. Las zonas rurales son especialmente difíciles de alcanzar sin un vehículo (INE, 2020).

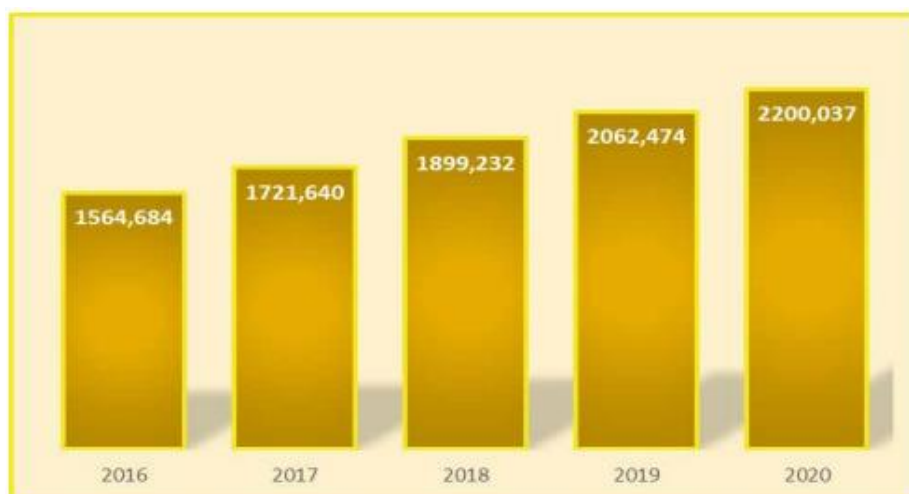


Ilustración 5 Parque vehicular 2016-2020

Fuente: (INE, 2020)

Honduras tiene su propio estilo de red pavimentada de carreteras. Por ejemplo, el norte tiene extensos caminos de tierra y senderos, mientras que el sur tiene calles

estrechas y pavimentadas. Algunas áreas en la costa están completamente subdesarrolladas, lo que hace que las carreteras pavimentadas sean necesarias para el transporte. Una carretera principal conecta todas las regiones del país, pero también hay otras más pequeñas que conectan pueblos y ciudades más pequeñas (INE, 2020).

3.1.1 CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN HONDURAS

En Honduras se clasifican las carreteras con distancia recorrida, en este caso se dividirán entre 3 grupos que son las carreteras primarias, secundarias y terciarias.

3.1.1.1 *Red vial primaria*

La red vial primaria está conformada por el conjunto de carreteras y calles que son vitales para el país, ya que sin ellas no se podría comunicar entre ciudades. Estas carreteras unen las principales ciudades de mayor importancia nacional e interdepartamental, ya sean pavimentadas o no pavimentadas, con una longitud de 3275 km (XplorHonduras, 2015).



Ilustración 6 Red Vial Primaria

Fuente: (XplorHonduras, 2015)

3.1.1.2 *Red vial secundaria*

En la red secundaria se encuentran las calles y carreteras que comunican los pueblos y ciudades entre sí y que sirven para conectar estos a la red vial primaria, estas

tienen una gran importancia en el ámbito transitorio, ya que se sin ellas no podrían llegar a las carreteras principales del país y funcionan gran parte en el departamento y municipalidades (XplorHonduras, 2015).



Ilustración 7 Red vial secundaria

Fuente: (XplorHonduras, 2015)

3.1.1.3 Red vial terciaria

La red vial terciaria en Honduras está conformada por las calles no están mantenidas por la institución SIT, que están hechas por organizaciones, cooperativas, o instituciones privadas como: Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Instituto de Conservación y Desarrollo Forestal (ICF), el Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS), La Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG), algunas municipalidades o cualquier organismo aparte del Secretaría de Infraestructura y Transporte de Honduras (SIT), esta red vial está conformada por 7,000 km a 12,000 km de longitud (XplorHonduras, 2015).

3.1.2 RED VIAL PAVIMENTADA

La red vial pavimentada en Honduras representa un mínimo porcentaje de la red total en el país, a diario se puede observar los manteamientos que se le proporcionan a estas carreteras y calles principales, aunque la red pavimentada en Honduras es menor, siempre se seguirá trabajando para hacerla mayor que la red no pavimentada (XplorHonduras, 2015).

3.1.2.1 Pavimentación utilizando concreto asfáltico (flexible)

La pavimentación es el proceso de realizar estructuras sobre el suelo colocando algún tipo de material, la capa asfáltica es la capa de suelo de menor rigidez, está compuesta de materiales granulares que no han sido tratados llamada la base, la subbase que es la siguiente etapa del diseño de un pavimento, este pavimento flexible permite que las cargas se dividan entre cada una de las capas y deben ser capaces de resistir esfuerzos sin presentar deformaciones y volver a su estado inicial con un buen mantenimiento (Reyes & Rondon, 2015).



Ilustración 8 Pavimento sección transversal asfáltico (flexible)

Fuente: (Olivo, 2014)

La capa asfáltica debe soportar los esfuerzos de fatiga y las deformaciones por el tráfico, ya que es la que lo sobre lleva directamente, también esta capa no debe permitir que el agua alcance las capas de abajo (Reyes & Rondon, 2015).

3.1.2.2 Pavimentación utilizando concreto hidráulico (rígido)

La pavimentación de concreto hidráulico en cambio, se realiza una losa de concreto reforzada con varilla, estas losas están soportadas por capas granulares no tratadas mediante estabilización, contiene un elevado módulo de elasticidad y los esfuerzos que presenta son sostenidos por flexión por la misma losa de concreto, las cargas a compresión son disipadas a lo largo del área y después transmitidas hacia abajo a las otras capas (Reyes & Rondon, 2015).



Ilustración 9 Pavimento concreto hidráulico

Fuente: (Olivo, 2014)

3.1.3 RED NO PAVIMENTADA

La red no pavimentada en Honduras es mayoría, con un 76% de toda la red vial no es pavimentada, la falta de un sistema vial bueno en el país generado por el relieve y descuido de las autoridades son causas del porque el porcentaje es tan alto. No pavimentar las carreteras genera retraso y hay comunidades en el país que están incomunicadas ya que no poseen redes viales decentes. Y por la misma razón las municipalidades buscan diferentes formas de reemplazar la pavimentación, ya que no tienen los recursos se implementa el siguiente apartado (Estrategias y Negocios, 2019).

3.1.3.1 *Sustituyentes de la pavimentación para redes no pavimentadas*

Al no poder realizar una pavimentación se emplea las posibles opciones:

- Balastado de calles, es el proceso de extender una capa de grava o de piedra machacada sobre una calzada, el objetivo es el tránsito, que los vehículos puedan pasar y cuando llueva no se convierta en un lio (SEFIN, 2019).



Ilustración 10 Caminos con balasto

Fuente: (Suárez, 2019)

- Huella o caminos de concreto, son vías de buena calidad y que se pueden ejecutar a un bajo costo gracias a que el tiempo de construcción es corto, además de que se pueden generar soluciones de acceso en las cuales la misma comunidad puede ayudar a ejecutar la construcción. Son caminos transitables durante cualquier época del año y no se incurre en elevados costos de mantenimiento (SEFIN, 2019).



Ilustración 11 Caminos de concreto

Fuente: (ASOCRETO, 2022)

3.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La información brindada en esta sección es importante ya que ayuda a los investigadores a poder realizar diferentes tipos de estabilización y ampliar los tipos de materiales a usar en una estabilización común.

El suelo es esencial para la vida en la Tierra, proporciona un apoyo natural para las plantas y los animales. Si bien el suelo juega un papel importante en nuestro planeta, la erosión del suelo hace que la tierra se vuelva débil e inestable. Para ayudar a proteger el suelo, se necesita encontrar maneras de estabilizarlo. El suelo estabilizado limita la cantidad de erosión causada por el viento y el agua. Se puede ayudar a preservar el suelo con prácticas sostenibles.

3.2.1 TIPOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de suelos se define como el mejoramiento de las propiedades físicas que contienen los agentes estabilizadores mediante procesos mecánicos, la adición de químicos naturales o sintéticos, se realiza estos procedimientos ya que generalmente estos suelos no cumplen con los requisitos de construcción de un proyecto. La estabilización de suelos se divide entre tres grandes grupos que son: estabilización mecánica, química y física, entre ellas tienen sus propios procedimientos los cuales se describirán en este apartado (Zambrano, 2021).



Ilustración 12 Estabilización de suelos

Fuente: (Suárez, 2019)

3.2.1.1 *Estabilización por compactación*

Es uno de los procesos mecánicos comunes a la hora de realizar una pavimentación, tiene como objetivo incrementar la resistencia del material, sometiendo a los suelos a compactación mediante equipos que ejercen una energía determinada que al realizarse dicho esfuerzo producen una reducción de vacíos que a causa de esto aumentan el contacto entre las partículas, como resultado de este proceso permite tener mayor fricción y por consiguiente mayor capacidad portante y disminución de capacidad de deformación (Zambrano, 2021).



Ilustración 13 Estabilización por compactación

Fuente: (Suárez, 2019)

3.2.1.2 *Estabilización con materiales ligeros*

En las obras de infraestructura vial los asentamientos están directamente ligados a la falta de resistencia de suelos, que en un caso de construir terraplenes con suelos muy pesados se tendría que analizar la geometría de los taludes que sería diferente al construirlos con suelo de bajo peso específico, siempre tomando las precauciones evitando la disminución de las presiones transmitidas al suelo de soporte (Zambrano, 2021).

3.2.1.3 *Estabilización con sobrecargas*

Este apartado es considerado en algunos casos y si el proyecto y el tiempo lo permiten, se realiza la construcción de los terraplenes con una anticipación suficiente a la construcción del pavimento, con la finalidad de que sucedan los asentamientos durante ese tiempo antes de la intervención, los sitios donde se trabajara tendrán la corona de terraplenes que se conformara para el momento en que se necesite en el proyecto, solo siendo necesario el retiro del material y en algunos casos adicionar suelo para llegar a las cotas de la subrasante (Zambrano, 2021).

3.2.1.4 *Estabilización con reemplazo de material*

Estabilización con reemplazo de material es el procedimiento de mejoramiento de suelo más sencillo de este apartado, consiste en que si el material en la subrasante no tiene un porcentaje óptimo para la conformación de la estructura de pavimento, sencillamente se reemplaza con materiales de mejor calidad, como toda obra vial es necesario tener en cuenta los factores de drenaje del suelo, y en un caso el material de reemplazo no es eficiente se recomienda que sea un material granular (Zambrano, 2021).



Ilustración 14 Estabilización con reemplazo de material

Fuente: (Suárez, 2019)

3.2.1.5 *Estabilización con geosintéticos*

Mattos & Vasquez (2019) describe que este método permite beneficiar a las propiedades mecánicas y el incremento de la capacidad portante del suelo, aumento en la vida útil e incremento en la capacidad de ejes equivalentes, los geosintéticos son agentes destinados dependiendo la función que se desea satisfacer inicialmente como son:

- Los geotextiles cumplen la función de anticontaminante y drenante.
- Las geomallas cumplen la función específica de refuerzo de terreno o de refuerzo de pavimentos.

- Las geomembranas cumplen la función de impermeabilización o protección de materiales.

Al aplicarse los geosintéticos, tal como puede observarse en la Ilustración 15 en los proyectos viales se ha podido tener como resultado tres mecanismos de refuerzo en los suelos los cuales son: el confinamiento lateral, mejoramiento de la capacidad portante del terreno natural y el efecto membrana tensionada (Zambrano, 2021).



Ilustración 15 Estabilización de suelo con geotextiles

Fuente: (Mattos & Vasquez, 2019)



Ilustración 16 Estabilización de suelos con geo celdas

Fuente: (Mattos & Vasquez, 2019)



Ilustración 17 Estabilización de suelos con geomalla

Fuente: (Mattos & Vasquez, 2019)

3.2.1.6 Estabilización química

En este proceso el objetivo hace referencia a adicionar productos químicos específicos estabilizadores, para que este proceso funcione y desarrolle una estabilización correcta se debe mezclar e íntimamente y de manera homogénea tomando las requeridas precauciones con los tiempos de curado que están definidos por el tipo de agente que se utilizara y las características del suelo.

Esta técnica tiene como finalidad que mediante una o varias reacciones químicas se realice una mejora en el suelo y que brinde una reducción en la plasticidad, también se busca con este procedimiento incrementar la resistencia del suelo ante las solicitudes y los agentes ambientales intervengan en él (Zambrano, 2021).

3.2.1.7 Estabilizaciones fisicoquímicas

Este tipo de estabilización aún está en desarrollo para su mejoramiento, aunque tiene una característica inicial que lo hace de mucho interés, tiene una alta resistencia. En el proceso de añadir y remover se producen intercambios iónicos entre el suelo en los minerales y los agentes adicionados, realizando modificaciones en la estructura e incrementando la resistencia y la disminución de la deformación que es la finalidad de

una estabilización. En este procedimiento se requieren los análisis específicos del suelo de manera física y química (Zambrano, 2021).

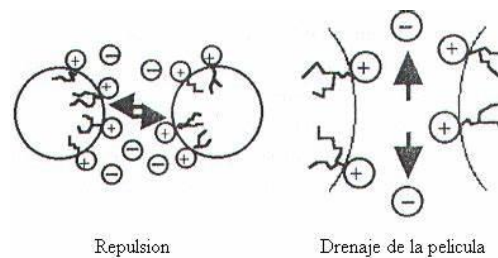


Ilustración 18 Estabilizaciones físico químicas para pavimentación

Fuente: (Mercado, 2013)

3.2.1.8 Estabilización iónica

Generalmente se utiliza en suelos finos, el procedimiento se describe como el desarrollo de un fuerte intercambio iónico entre el agente estabilizador y el suelo arcilloso fino, con un fin de desplazar el agua que absorbe y bloqueando esta capacidad de adsorción de agua de las partículas que son responsables de los cambios de volumen y la disminución de la resistencia propio de las arcillas activas (Zambrano, 2021).

Durante este procedimiento las partículas electrostáticas que estaban dispersas y las partículas de agua que lo rodean, se aglomeran y generan un incremento en la capacidad de carga por fricción lo que provoca una mayor densidad a la hora de compactar el suelo (Zambrano, 2021).

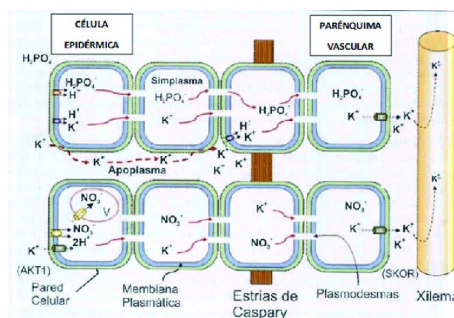


Ilustración 19 Representación del movimiento iónico desde la solución del suelo

Fuente: (Fernandez & Souza, 2018)

3.2.1.9 Estabilización térmica

Zambrano (2021) menciona que este procedimiento sigue en una etapa experimental y lo describe como la modificación de la estructura cristalina del suelo sometándolo a elevadas temperaturas de modo que el proceso de hidratación no sea posible, describe que las temperaturas superan los 400 °C, que se obtiene de la combustión de gases al hacerlos pasar por los huecos del suelo y estos penetrándolos, esto hace una disminución de la compresibilidad del suelo, siempre teniendo las debidas precauciones que la distribución de la temperatura depende directamente con la porosidad del suelo y de la temperatura de los gases que se inyectan.

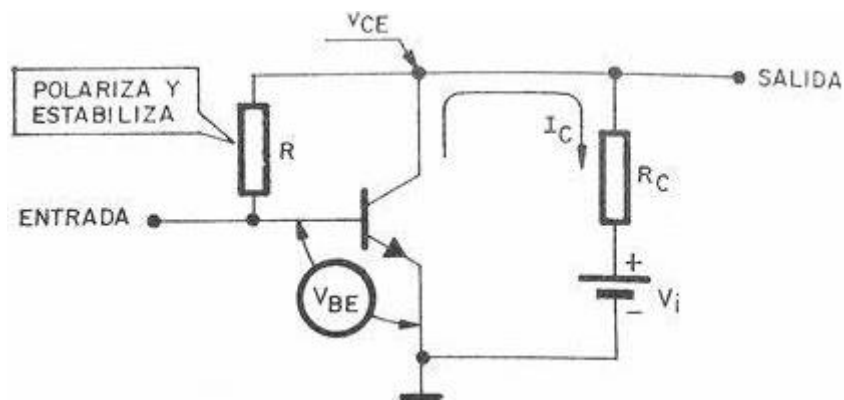


Ilustración 20 Estabilización térmica del transistor

Fuente: (Archie Technology , 2021)

3.2.1.10 Estabilización con polímeros

En obras civiles los polímeros tienen una gran importancia en los suelos, les brindan resistencia, susceptibilidad al agua y un control al material en carreteras no pavimentadas. Ravines (2010) afirma que, los polímeros son macromoléculas (resultado de la unión de un gran número de moléculas pequeñas de un mismo tipo o de diferentes tipos), generalmente orgánicas, llamados monómeros; pueden estar formadas por más

de un tipo de monómero, éstas se denominan homopolímeros o estar formados por más de un tipo de monómeros denominándose copolímeros.

Los polímeros tienen una resistencia mecánica, siempre por sus largas y grandes cadenas poliméricas que se atraen entre sí, que dependen directamente a la composición química de los polímeros, en otras palabras, estos agentes del suelo contienen una alta resistencia a tracción, impacto y a la fatiga (Zambrano, 2021).

3.3 AGENTES ESTABILIZADORES DE SUELOS

Esta sección hace énfasis en los materiales que se usaran a lo largo de una estabilización de suelos y ayuda a comprender por qué este material en específico se podría utilizar para un proceso de estabilización siendo un agente estabilizador de suelos.

Un mundo basado en la naturaleza siempre ha apreciado el concepto de suelo como parte integral de la tierra viva. Todos los seres vivos dependen de este medio para sobrevivir y, en consecuencia, los humanos también han desarrollado tecnologías basadas en la tierra para mantener su sustento. Han encontrado uso para el suelo en la agricultura y en materiales de construcción. Además, los agricultores han utilizado la tierra por sus propiedades medicinales. Sin embargo, no toda la humanidad comprende la importancia del suelo y cómo cuidarlo.

3.3.1 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CEMENTO

Según el artículo 512 del PG3, una mezcla de suelo debe estar cementada para que se considere estable. Esto requiere incorporar materiales adicionales como agua y cemento en una mezcla compactada de suelo y otros ingredientes. El silicato de calcio y el hidrato de aluminio son capaces de aumentar la resistencia del suelo. Esto se debe a que cuando el agua y los silicatos y aluminatos de calcio anhidro se secan, crean un vínculo más estrecho entre las partículas del suelo (Yepes, Estabilizacion de suelos con cloruros , 2021).



Ilustración 21 Estabilización de suelos con cemento

Fuente: (SOSTERRA, 2018)

Esto también reduce el efecto del agua sobre el suelo, haciendo que su deformación sea imperceptible a simple vista. El silicato de calcio y el hidrato de aluminio pueden incluso usarse para crear un adhesivo fuerte para unir la tierra. Sin embargo, esto requiere una dosificación específica que está determinada por el tipo de suelo que se estabiliza. El silicato de calcio y los aluminatos solos no se pueden usar para estabilizar suelos con alta humedad o plasticidad (Yepes, Estabilización de suelos con cloruros , 2021).

El cemento requiere una base seca y bien drenada; si es necesario, se deben utilizar otros tratamientos, como la cal. El cemento no requiere material particulado ni material orgánico en el suelo, no se utilizará ninguna otra sustancia que impida este proceso (Yepes, Universidad Politécnica de Valencia, 2021).

3.3.1.1 Dosificación del cemento

Para la determinación de la cantidad adecuada de cemento se basa en el hecho de mezclar las pequeñas cantidades de cemento a una muestra de suelo y debidamente compactado y curadas, esto hace que mejoren sensiblemente las características de la resistencia mecánicas utilizando las capas como pavimentos. Las acciones de las cargas

y la variación climatológicas después de un tiempo hacen que la estabilización alcanzada se transforme en una mezcla de calidad media y no siguiendo las Normas General de Dosificación (Rodríguez, 2022) .

(Rodríguez, 2022) afirma: "La dosificación se la hace experimentalmente: diferentes cantidades de cemento son usadas en los ensayos y el análisis de resultados indica el menor de ellos que es capaz de estabilizar el suelo sobre el concepto del suelo-cemento" (p.6).

La norma general de dosificación de Suelo – cemento puede ser resumida en las siguientes operaciones: a)Identificación y clasificación del suelo; b)Elección de la cantidad de cemento para el ensayo de compactación; c)Ejecución del ensayo de compactación de suelo – cemento; d)Elección de cantidades de cemento para el ensayo de durabilidad; e)Formación de probetas de ensayo para ensayo de durabilidad; f)Ejecución del ensayo de durabilidad por mojado y secado; g)Elección de cantidad de cemento adecuado en función de los resultados del ensayo (Rodríguez, 2022).

Tabla 2 Cantidad de cemento para el ensayo de compactación

Clasificación de suelo según la AASHTO (M 145)	Cantidad de cemento en peso (%)
A1 – a	5
A1 – b	6
A2	7
A3	9
A4	10
A5	10
A6	12
A7	13

Fuente: (Rodríguez, 2022)

3.3.2 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE CALCIO.

Agregar cloruro a la arcilla la vuelve más pegajosa, dando la impresión de una mayor cohesión. Las propiedades de retención de humedad de estos materiales los

hacen fáciles de limpiar y secar. Sin embargo, siguen siendo higroscópicos, lo que significa que atraen la humedad, por lo que es fácil eliminar cualquier exceso de humedad. Durante la alta humedad, la planta puede absorber hasta diez veces su peso en humedad. Debido a esto, puede reducir la necesidad de evaporación hasta 10 veces. Esto significa que la planta puede reducir la formación de polvo (Yepes, Estabilización de suelos con cloruros , 2021).

El cloruro de potasio, el cloruro de magnesio, el nitrato de sodio, el cloruro de bario, el cloruro de calcio y el cloruro de sodio son algunas de las muchas sales que se pueden usar para mejorar la estabilidad de los suelos. Las opciones notables adicionales incluyen sulfato de magnesio, carbonato de sodio, bicarbonato de sodio y sulfato de sodio (Yepes, Estabilización de suelos con cloruros , 2021).



Ilustración 22 Estabilización de suelos con cloruros

Fuente: **(Yepes, Universidad Politécnica de Valencia, 2021)**

3.3.3 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO

Un derivado de la sal se ha utilizado con mayor frecuencia en las carreteras: el cloruro de sodio. Sin embargo, su eficacia varía en función de las circunstancias de cada caso. La sal aumenta el poder cementante del suelo al intercambiar iones con sus

minerales. Agregar sal a la arcilla hace que se encoja menos volumétricamente, creando una costra en su superficie y ralentizando el cambio de humedad. La sal también mantiene unidas las partículas que no son de arcilla que forman la capa superficial; se desprende con menos facilidad cuando sufre los ataques abrasivos del tráfico. También crea un compacto más apretado cuando se mezcla con otros ingredientes (Yepes, Estabilización de suelos con cloruros , 2021).

3.3.4 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON MELAZA DE CAÑA.

(Cahuana, 2016) afirma: "La miel final o melaza (no cristalizable) es el jarabe o líquido denso y viscoso, separado de la misma masa cocida final y de la cual no es posible cristalizar más azúcar por métodos usuales" (p.27).

La melaza de caña tiene una composición heterogénea, varía considerablemente dependiendo de la variedad de caña de azúcar, suelo, clima donde está ubicado, periodo de cultivo y la eficiencia en la fabricación. (Cahuana, 2016) menciona: "La melaza de caña se caracteriza por tener grados Brix o sólidos disueltos de 68-75% y un pH de 5.0-6.1%" (p.27).



Ilustración 23 Melaza de caña

Fuente: (Cahuana, 2016)

3.4 NORMAS ASTM

Las normas son importantes ya que rigen e instruyen a los investigadores en el proceso de ensayos de laboratorio, dándoles guías de uso y límites de cómo realizar los ensayos provenientes que son los necesarios para una estabilización de suelos con agentes descritos anteriormente.

Todo ensayo en laboratorio de suelos tiene normas a cumplir y que las rigen con disciplina y técnicas de elaboración, a continuación, se le presentaran las normas que rigen los ensayos anteriormente descritos:

Granulometría.

3.4.1 NORMATIVA ASTM 136-01

Método de ensayo normalizado para determinar el análisis Granulométrico de los áridos finos y gruesos.

Este procedimiento se utiliza para calcular la frecuencia de los diferentes tamaños de partículas. Haciendo el proceso de separar las partículas de un trozo de tierra específico, separándolas en partículas grandes y pequeñas a través de la utilización de estacas. Algunos de los suelos analizados tienen tanto arena como grava. Siempre se brindan las indicaciones necesarias para el estudio de la granulometría de estos materiales. Los valores que se establezcan en las unidades del sistema internacional de unidades deben respetarse como norma (ASTM Corp. , 2018).

“En este método de ensayo, la longitud del bastidor se expresa en unidades del SI, que tienen una equivalencia exacta a la unidad en cuestión de pulgadas” (Manquirez, 2017).

3.4.2 NORMATIVA ASTM 117-95

Método de ensayo normalizado para determinar la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 mm (N.º 200) de los áridos minerales por el método de lavado.

Este procedimiento sirve para calcular la cantidad de partículas más pequeñas que el tamiz número 200 de los áridos es capaz de retener por el procedimiento de lavado. Las partículas de arcilla y otras que se dispersan en el agua de lavado, serán eliminadas de los áridos durante el ensayo. Se utilizan dos procedimientos: uno que solo emplea agua para la operación de lavado, y otro que combina un humectante con otro líquido para que el material más fino que se desprende del tamiz mencionado anteriormente sea más grueso que el material más grueso (ASTM Corp. , 2018).

A menos que se indique de otro modo, se llevará a cabo el método de agua pura. Esta norma no habla acerca de las medidas de seguridad asociadas con su utilización. La responsabilidad de garantizar la seguridad y la salud del usuario recae en este último, es decir, debe establecer las medidas y procedimientos necesarios y determinar si son o no aplicables a la luz de las limitaciones legales (ASTM Corp., 2016).

Límites de Atterberg.

3.4.3 NORMATIVA ASTM D4318-17

Método de ensayo normalizado para el límite líquido, plástico y el Índice de Plasticidad de suelos.

Este procedimiento se utiliza para definir el límite del líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos. Lo que es el límite líquido y el plástico de la mayoría de los suelos que se secaron exactamente antes de la prueba puede ser muy distinto del valor obtenido con muestras que no estaban secas. La capacidad y el límite líquido de los suelos se pueden utilizar para relacionar o estimar el comportamiento en la ingeniería de suelos en su estado natural húmedo, sin embargo, es necesario tener en cuenta que las muestras no deben secarse antes de realizar el ensayo (ASTM Corp. , 2018).

Debido a que el método de un punto requiere que la persona que lo esté realizando tenga experiencia para estimar aproximadamente en el límite líquido, no es particularmente recomendado para usarlo por personas que no tengan experiencia. El límite líquido y el límite plástico de los suelos se conocen como los límites de Atterberg. Estos límites se distinguen de los límites de los estados de la consistencia de varios de los suelos de plástico (ASTM Corp. , 2018).

Proctor.

3.4.4 NORMATIVA ASTM D-698

Métodos de prueba estándar para las características de compactación del suelo en el laboratorio utilizando un esfuerzo estándar.

El suelo que se coloca como relleno para ingeniería (terraplén, cimentación, lecho de carretera) se vuelve compacto para lograr propiedades de ingeniería, como resistencia al corte, compresibilidad o permeabilidad. Asimismo, el subsuelo de anclaje con frecuencia se espesa para incrementar las propiedades de sujeción. Las pruebas de compactación en el laboratorio sirven para calcular el porcentaje de compactación y la cantidad de agua que se requiere para lograr las propiedades requeridas de ingeniería. Asimismo, sirve para monitorear el progreso de la construcción, de modo que se cumpla con la cantidad y el porcentaje de compactación necesarios (ASTM Corp., 2022).

Estos métodos de prueba miden el contenido de humedad del suelo cuando se compacta a una altura de 4 o 6 pulgadas. Este proceso determina la proporción de humedad a peso en un suelo que ha sido compactado a una altura de 4 o 6 pulgadas. Una bola apisonada de 101,6 milímetros o 152,4 milímetros de diámetro, 5,50 libras o

24,5 onzas y 12 pulgadas de diámetro se deja caer desde una altura de 305 milímetros o 12 pulgadas (ASTM Corp., 2022).

3.4.5 NORMATIVA ASSHTO T- 99

Se brinda mucha atención a la humedad y la densidad seca tanto del suelo compactado como del agua utilizada para mezclarlo. Estas dos propiedades afectan qué tan bien se mantienen juntas ciertas combinaciones de suciedad. Para obtener la tierra más densa y húmeda y el nivel de humedad óptimo, es posible crear una curva suave. Se deja caer un peso de 2,5 kilogramos desde una altura de 30 centímetros. Después de formar tres capas de tierra compactada con 25 golpes, la curva está terminada (Ordoñez, 2021).

3.5 ENSAYOS DE LABORATORIO PARA LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La importancia de los ensayos de laboratorio para una estabilización es que sin antes haber analizado las características y debilidades del suelo no se podrían realizar la estabilización de suelo. Los laboratorios de suelo prueban los efectos de la erosión del suelo y la contaminación en el medio ambiente. Estas pruebas ayudan a los científicos a comprender cómo funciona el suelo y determinar qué se puede hacer para solucionar los problemas. Una prueba de suelo puede detectar si el suelo está siendo dañado por la erosión o la intrusión (Diaz, 2015).

Las pruebas en el laboratorio también pueden ayudar a los científicos a comprender qué causa ciertos problemas en el suelo y cómo solucionarlos. Estas pruebas también son útiles para predecir qué tipos de usos del suelo serán perjudiciales para el mismo (Diaz, 2015).



Ilustración 24 Prueba a compresión

3.5.1 ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

La granulometría implica la medición de granos de roca sedimentaria y el cálculo de su abundancia en una escala. Esto se utiliza para determinar tanto el origen de la formación como las cualidades de su mecánica. Estas pruebas en el laboratorio usan tamices con diferentes tamaños de malla para determinar las características al separar los cuadrados de grano en pedazos más pequeños. Pasar o permanecer en el tamiz determina si un grano pasa o falla (CONSTRUNEIC, 2022).



Ilustración 25 Ensayo Granulométrico

Fuente: (CONSTRUNEIC, 2022)

3.5.2 ENSAYO LÍMITES DE ATTERBERG

Los Límites de Atterberg son ensayos de laboratorio que permiten obtener los límites de humedad dentro del cual el suelo está en un estado plástico, y con lo descrito anteriormente es posible clasificarlos en la Clasificación Unificada de Suelos (CUS), para este proceso es necesario manipular el suelo destruyendo sus estructuras originales, el procedimiento requiere trabajar con todo el material que pase por la maya #40. El límite líquido es el contenido de agua que se expresa en porcentajes respectivo al suelo seco, que con esto delimitan la transición entre el estado líquido y plástico del suelo en estado de masa (Cerrato, 2018).



Ilustración 26 Límites de Atterberg

Fuente: (Cerrato, 2018)

3.5.3 ENSAYO DE PROCTOR ESTÁNDAR

El ensayo Proctor estándar persigue determinar la densidad seca máxima de un suelo y la humedad óptima necesaria para alcanzar esta densidad. El material para ensayar previamente se ha desecado y tamizado por el tamiz 200mm UNE o el correspondiente ASTM y posteriormente humedecido con distintos valores de humedad, una por cada muestra necesaria (Ordoñez, 2021).



Ilustración 27 Ensayo Proctor estándar

La prueba Proctor modificada es similar a la estándar, pero modificando tanto la capacidad del molde como la energía de compactación, así como la cantidad de capas en las que debe ser compactado. Se debe proporcionar la densidad máxima seca, así como la humedad óptima y lo que es más importante la curva humedad-densidad seca con los valores de todos los puntos ensayados (Ordoñez, 2021).

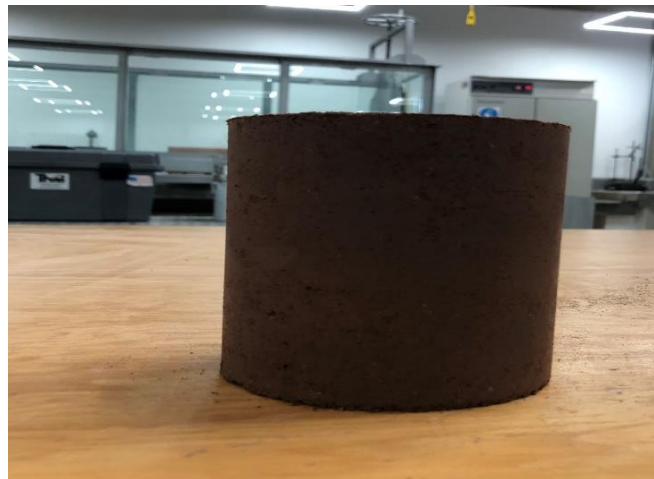


Ilustración 28 Probeta suelo puro Proctor estándar

(Ordoñez, 2021) afirma que con este ensayo se logra determinar las condiciones ideales para alcanzar en obra y suele corresponder con un grado de saturación correspondiente entre el 85% y el 90%. La línea que representa un grado de saturación del 100% es generalmente paralela a la línea de mayor humedad resultante del ensayo.

IV METODOLOGÍA

En esta sección se describirá cuáles son las variables, recolección de datos, el enfoque de la investigación basándose en una estabilización de suelo y unido a esto, el comportamiento en los estudios realizados en los ensayos de laboratorio.

4.1 ENFOQUE

La presente investigación se realizó mediante el enfoque cuantitativo adaptándose a las necesidades para una resolución del problema.

(Roberto Hernández Sampieri, 2014) afirma:

El enfoque cuantitativo (que representa, como dijimos, un conjunto de procesos) es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, se pudo redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. (p.4)

Desde el enfoque cuantitativo se utiliza la técnica de investigación en caso de estudio para describir el problema en los tipos de suelos no adecuados en los caminos de terracería de Honduras, así como también obtener los resultados de esta etapa para proponer tipos de mejoras en las calles de rodadura, en base a los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión (kg/cm^2), Límites de Atterberg (%), permeabilidad (cm/s), contenido de humedad (%), densidad máxima seca (lb/ft^3) desgaste y absorción (%).

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

A continuación, se presentan las distintas variables dependientes e independientes que se evaluaron durante el desarrollo del proceso de investigación.

Estas variables varían según el resultado esperado en el desarrollo de la investigación, a estas causas se le denominan variables independientes, así como el efecto dado por las variables dependientes.

Resistencia a la compresión

- Carga máxima
- Area sección transversal

Índice de plasticidad

- Límite líquido
- Límite plástico

Desgaste y absorción

- Material disgregado
- Peso inicial
- Peso final

Permeabilidad

- Corrección por temperatura

Proctor estándar

- Contenido de humedad
- Densidad máxima seca

Esta es la variable dependiente de esta sección y pretende comprobar el esfuerzo máximo que presenta un material a la compresión sin romperse mediante un ensayo de laboratorio, y el cual es obtenido por la ecuación de esta sección.

4.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Ecuación:

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

Ecuación 1 Resistencia a la compresión

Donde:

σ = Resistencia a la compresión

P = Carga máxima

A = Área de la sección transversal del cilindro de suelo



Ilustración 29 Ensayo a compresión por medio de cilindros elaborados de suelo

4.2.1.1 Carga máxima

Esta es la variable independiente de la resistencia a la compresión, esta carga se obtiene por la maquina a compresión HUMBOLDT, aplica una carga hasta que la probeta de suelo falle.



Ilustración 30 Carga sometida a la probeta de suelo

4.2.1.2 Área

Ecuación:

$$A = \frac{\pi}{4} * d^2$$

Ecuación 2 Área de la sección transversal del cilindro de suelo

Donde:

A= Área de la sección transversal del cilindro de suelo

d= Diámetro de la sección transversal del cilindro de suelo.

$\pi = 3.1416$

Esta es la variable independiente de la resistencia a la compresión y se obtiene de las medidas de la probeta que se somete a compresión donde se introduce a la ecuación de esta sección.

4.2.2 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Ecuación:

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 3 Índice de plasticidad del suelo

Donde:

IP= Índice de plasticidad

LL= Límite Líquido

LP=Límite Plástico

Esta es la variable dependiente de esta sección y pretende comprobar por medio de porcentaje el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico.

4.2.2.1 Límite líquido

Esta es la variable independiente del índice de plasticidad y se obtiene por medio del ensayo de límites de Atterberg haciendo uso de la copa de Casagrande, se realizan golpes a 1cm, al obtener muestras el límite líquido es obtenido por la gráfica a 25 golpes.



Ilustración 31 Copa de Casagrande

4.2.2.2 *Limite plástico*

Esta es la variable independiente del índice de plasticidad y se obtiene por medio de un porcentaje de contenido de humedad, es el límite inferior del estado plástico, se desarrolla tres muestras para el contenido de humedad para luego obtener un promedio.



Ilustración 32 Muestras límite plástico

4.2.3 DESGASTE Y ABSORCIÓN DEL SUELO

Ecuación:

$$\text{Desgaste final} = \frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} * 100\%$$

Ecuación 4 Porcentaje de desgaste final

Esta es una variable dependiente de esta sección y se obtiene por medio de ciclos de 48 horas en el horno a 110°C, se realiza el peso de cada probeta seca de igual manera cepillada y se procede a cubrir de agua por 5 horas, este procedimiento se repite durante 6 ciclos de cada probeta con el material estabilizador de suelos.



Ilustración 33 Ejemplo de probeta en ciclo de desgaste

4.2.3.1 *Peso inicial*

Esta es una variable independiente que se obtiene el peso de la probeta de suelo antes de ser sometida al primer ciclo de desgaste.



Ilustración 34 Peso inicial de probeta de suelo cloruro de calcio 4%

4.2.3.2 *Peso final*

Esta es una variable independiente que se obtiene el peso de la probeta de suelo después de terminar los ciclos establecidos de desgaste, a continuación, se presenta una imagen de ejemplo de uno de los agentes estabilizadores utilizados.



Ilustración 35 Desgaste final de probeta de suelo cloruro de calcio 4%

4.2.4 GRADO DE ABSORCIÓN

$$\text{Grado de absorción} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso seco}} * 100\%$$

Ecuación 5 Grado de absorción

Esta es una variable independiente del ensayo de desgaste y absorción, que permite calcular el grado de absorción de cada probeta de suelo evaluada.



Ilustración 36 Probeta de suelo, absorción

4.2.4.1 *Material disgregado*

A continuación, se realiza el cálculo del material disgregado para obtener el porcentaje del material que se desprende de las probetas después del cepillado en el ensayo de desgaste.

Ecuación:

$$\% \text{ Material Disgregado} = \frac{\text{peso seco} - \text{peso seco cepillado}}{\text{peso seco}} * 100\%$$

Ecuación 6 Porcentaje Material disgregado

4.2.5 PERMEABILIDAD

Ecuación:

$$K = \frac{V * L}{A * \Delta H * t}$$

Ecuación 7 Permeabilidad

Esta es una variable dependiente de esta sección que permite calcular la permeabilidad del suelo puro y la mezcla de cada agente estabilizador con el suelo A-2-4.

Donde:

K=El factor de permeabilidad.

V= Volumen de agua.

L= Longitud de la muestra de suelo.

A= Área de la sección transversal.

ΔH = Carga.

T= Tiempo de prueba.

4.2.6 COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

En esta sección se realiza el coeficiente de corrección por temperatura.

Tabla 3 Tabla coeficiente de corrección por temperatura

Temperatura °C	$\eta_{T^{\circ}\text{C}} / \eta_{20^{\circ}\text{C}}$	Temperatura °C	$\eta_{T^{\circ}\text{C}} / \eta_{20^{\circ}\text{C}}$
15	1.135	23	0.931
16	1.106	24	0.910
17	1.077	25	0.889
18	1.051	26	0.869
19	1.025	27	0.850
20	1.000	28	0.832
21	0.976	29	0.814
22	0.953	30	0.797

$$K_{20^{\circ}C} = K_{T^{\circ}C} * \left(\frac{n_{T^{\circ}C}}{n_{20^{\circ}C}}\right)$$

Ecuación 8 Coeficiente de corrección por Temperatura

La siguiente ecuación determina por medio de una doble interpolación el dato que se requiere para poder obtener como resultado final el coeficiente de corrección por temperatura.

$$n = n_o + \frac{n_1 - n_o}{T_1 - T_o} * (T - T_o)$$

Ecuación 9 Interpolación

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

Para determinar el agente estabilizador que obtiene mejores resultados en los ensayos de compresión, límites de Atterberg, permeabilidad, desgaste y absorción, se emplearon diversas técnicas e instrumentos mencionados a continuación.

4.3.1 INSTRUMENTOS

A continuación, se presentan los instrumentos utilizados para la investigación:

4.3.1.1 *Google Maps*

Es una herramienta de búsqueda de ubicaciones que permite localizar puntos específicos, calcular rutas y localizar lugares de interés cercanos, tiene la facilidad de proveer las calles específicamente navegada (Arimetricks, 2022).

En esta investigación se marcó el punto del tramo analizado con Google Maps para poder visualizarlo en Google Earth.

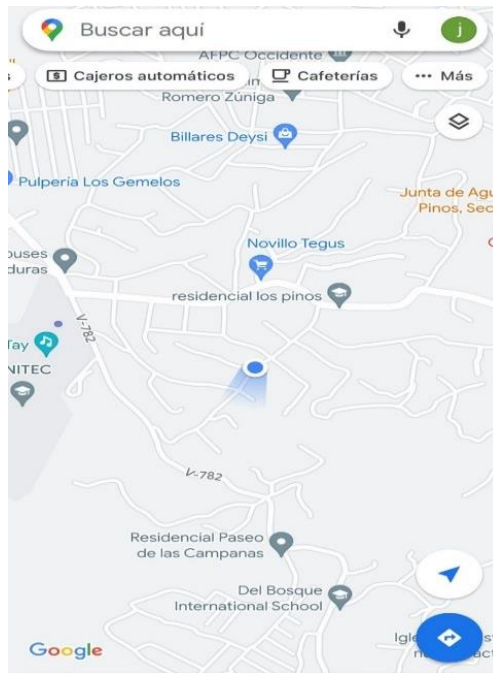


Ilustración 37 Ubicación del tramo en Google Maps.

Fuente: (Google Maps , 2023)

4.3.1.2 Google Earth

Es un sistema de información geográfica que brinda un globo terráqueo que permite visualizar múltiple cartografía, basándose en imágenes satelitales contando con la posibilidad de crear mapas (Google Earth, 2023).



Ilustración 38 Ubicación en Google Earth.

Fuente: (Google Earth, 2023)

4.3.2 GOOGLE MEET

Es un servicio de videoconferencias que fue lanzado por Google en 2017 (Softonic, 2021).

Esta herramienta de Google fue de mucha ayuda al realizar la investigación, ya que los estudiantes se comunicaban por este medio.



Ilustración 39 Herramienta utilizada como videoconferencia para discusiones

Fuente: (Softonic, 2021).

4.3.2.1 Microsoft Word

Es una herramienta que permite redactar todo tipo de texto, como también editarlo, Word forma parte de Microsoft Office (Pérez Porto, J., Merino, M, 2015).

Se utilizo esta herramienta para redactar este informe.

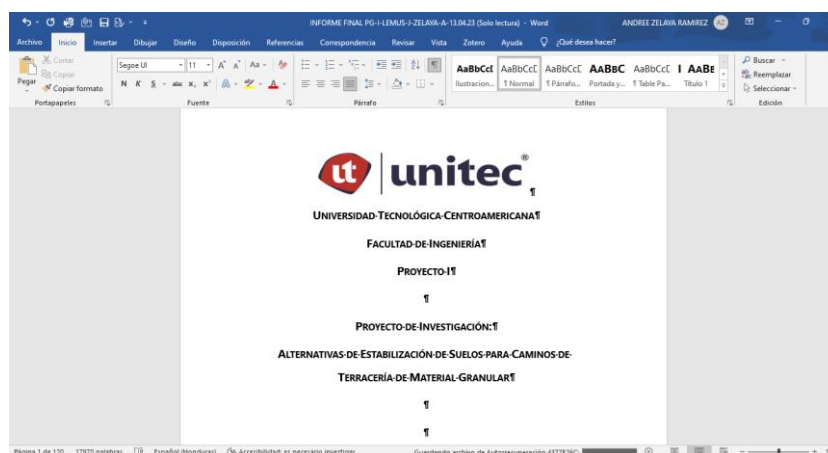


Ilustración 40 Herramienta para redactar y editar texto en Microsoft Word

4.3.2.2 Microsoft Excel

“Es una hoja de cálculo que nos permite manipular datos numéricos y de texto en tablas formadas por la unión de filas y columnas” (Excel para todos, 2022).

En esta herramienta se realizaron todos los cálculos necesarios y tablas descriptivas de cada uno de los cálculos.

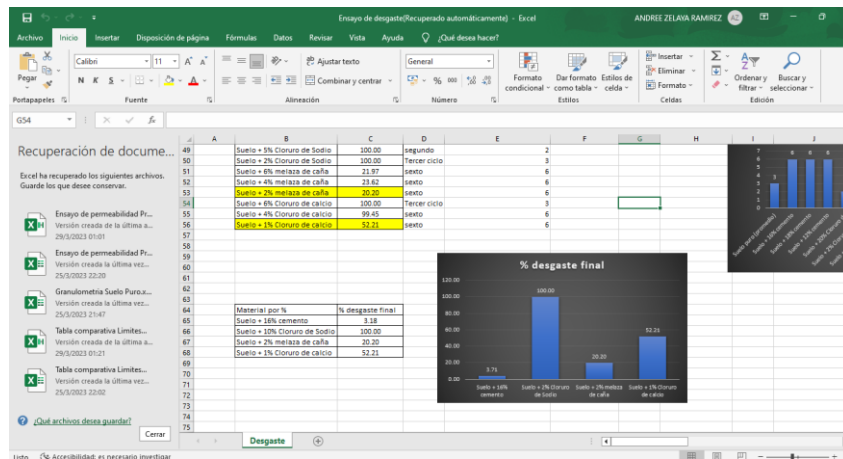


Ilustración 41 Cálculo de ensayos de laboratorio Microsoft Excel

4.3.2.3 Microsoft PowerPoint

“Este programa se utiliza para crear presentaciones comerciales complejas, esquemas educativos simples y mucho más” (Notas de Office, 2014).

Esta herramienta se utilizó para crear la presentación final de la investigación.

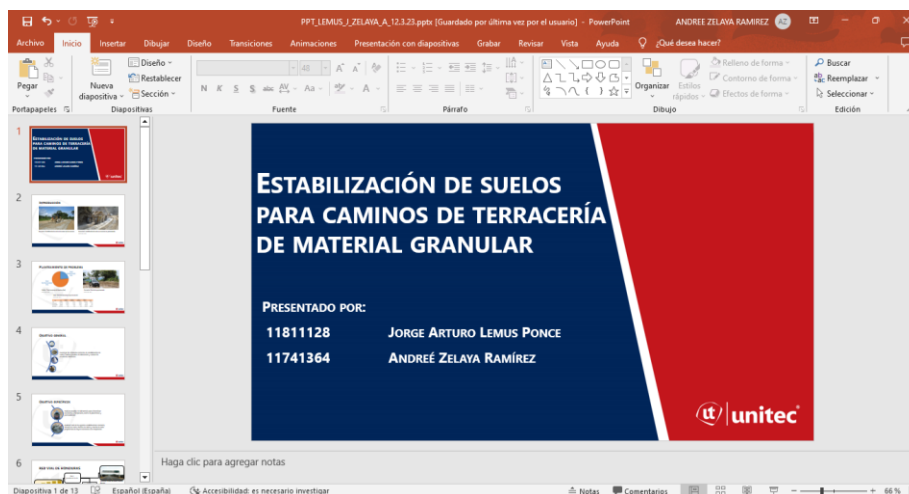


Ilustración 42 Presentación por medio de Microsoft PowerPoint

4.3.2.4 Sitios web

Los sitios web que se han utilizado en esta sección son el Google académico, organizaciones nacionales, e investigaciones debidamente comprobadas.

Google Académico

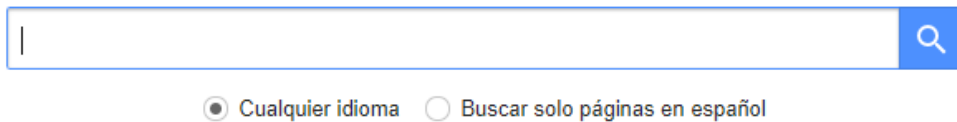


Ilustración 43 Sitio utilizado en la investigación

Fuente: (Google,2023)

4.3.3 CALICATAS

“Las calicatas, zanjas, rozas, pozos, etc. Consisten en excavaciones realizadas mediante medios mecánicos convencionales, que permiten la observación directa del terreno a cierta profundidad, así como la toma de muestras y la realización de ensayos en campo” (Obando, 2015, p7).

“Las calicatas son uno de los métodos más empleados en el reconocimiento superficial del terreno, y dado su bajo coste y rapidez de realización, constituyen un elemento habitual en cualquier tipo de investigación en el terreno” (Obando, 2015, p7).



Ilustración 44 Calicata

Fuente: (Obando, 2009)

4.4 MATERIALES

A continuación, se presentan los distintos materiales que se utilizaron como agentes estabilizadores de suelo.

La cantidad de cada material se rige por las normas a seguir y por el tipo de ensayo que se hizo para la obtención de los resultados finales.

4.4.1 AGUA

Sustancia cuyas moléculas están formadas por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, líquida, insípida e incolora. Es el componente más abundante de la superficie terrestre y, más o menos puro, forma la lluvia, las fuentes, los ríos y los mares; es parte constituyente de todos los organismos vivos y aparece en compuestos naturales (Lagarreta, 1998).



Ilustración 45 Muestra de agua

Fuente (Lagarreta, 1998)

4.4.2 SUELO

Es una muestra de suelo obtenido en carretera no pavimentada para realizar todas las pruebas de laboratorio necesarias que lleven a cabo la investigación.



Ilustración 46 Muestra de suelo a obtenida en carretera

4.4.3 CEMENTO

El cemento Portland, de acuerdo con Neville y Brooks (2010), es el nombre que se le da a un cemento obtenido al mezclar íntimamente materiales calcáreos y arcillosos, u otros materiales que contienen sílice, alúmina y óxido de hierro.



Ilustración 47 Muestra de cemento Portland

Fuente: (Neville, 2010)

4.4.4 CLORURO DE SODIO

El cloruro de sodio (NaCl), comúnmente conocida como la sal, es uno de los minerales más abundantes de la Tierra y un nutriente esencial para muchos animales y plantas. Se encuentra de forma natural en el agua del mar y en formaciones rocosas subterráneas (Mauricio, 2010).



Ilustración 48 Estabilización con cloruro de sodio en nieve

Fuente: (Mauricio, 2010)

4.4.5 CLORURO DE CALCIO

(Mauricio, 2010) afirma: "El cloruro cálcico es una sal delicuescente. Puede disolverse completamente absorbiendo humedad de la atmósfera cuando la humedad relativa del aire está por encima de ciertos valores" (p.5).



Ilustración 49 Cloruro de calcio

Fuente: (Mauricio, 2010)

4.4.6 MELAZA DE CAÑA

Es la miel de la última etapa o remanente de cristalización final del azúcar. La melaza es un líquido espeso y viscoso de color oscuro, dulce y de agradable aroma, sobrante como residuo de los procesos de producción o depuración de la sacarosa que procede de la

caña de azúcar. El valor se debe únicamente a los carbohidratos, ya que no tiene grasa y celulosa. (Tuesta, Cesar, 2020, p. 11)



Ilustración 50 Muestra de melaza de caña

Fuente: (SOSTERRA, 2018)

4.5 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En esta sección se presenta la metodología de estudio para la obtención de resultados de la investigación de alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular.

4.5.1 CALICATAS

Se seleccionó un tramo para extraer la muestra de suelo para realizar los ensayos de laboratorio, con las herramientas de laboratorio se procede a sacar la muestra que está ubicada en la colonia El Tablón, Tegucigalpa.



Ilustración 51 Tramo donde se extrae la muestra de suelo

La muestra se retira de un tramo el cual no perjudique la rasante de la carretera, por lo que se extrajo de un lugar apropiado para obtener la calicata y llevar al laboratorio de Ingeniería Civil de UNITEC para el comienzo de los ensayos de laboratorio.



Ilustración 52 Obtención de calicata

Luego de trasladar la muestra de suelo al laboratorio de Unitec, se procede a meter la muestra al horno por 24 horas para secarla y así comenzar a realizar los ensayos de granulometría y contenido de humedad del suelo



Ilustración 53 Muestra para el contenido de humedad

4.5.2 INVESTIGACIÓN DE PORCENTAJE DE CADA MATERIAL ESTABILIZADOR

Se realizó una investigación de cada material estabilizador de suelos en sitios web y libros para determinar los porcentajes con la que se hará la mezcla de suelo-material, quedando de la siguiente manera: para el cemento se utilizó un rango 12%-18% basándose en un método estándar para suelos en los cuales se implementa en la rasante para los pavimentos Unicapa, se determina realizar tres probetas de suelo de 12%,16%,18%.

Para el cloruro de sodio se implementa una cantidad de 2%-20% realizando probetas en 4 tipos de porcentajes distintos, se determinó realizar probetas de suelo de 2%,5%,10% y 20%, para la melaza de caña en un rango de 2%-6% se realizaron tres probetas de suelo de 2%,4%y6%.

Para el cloruro de calcio se investigó un rango de 1%-6%, se determinó realizar tres probetas de 1%,4% y 6%.

4.5.2.1 Ensayos de laboratorio

En esta primera etapa de ensayos de laboratorio se hicieron los ensayos que permiten la clasificación de suelos según la AAHSTO y SUCS, el ensayo de granulometría, Proctor estándar, límites de Atterberg y contenido de humedad.



Ilustración 54 Tamizado para determinar la granulometría

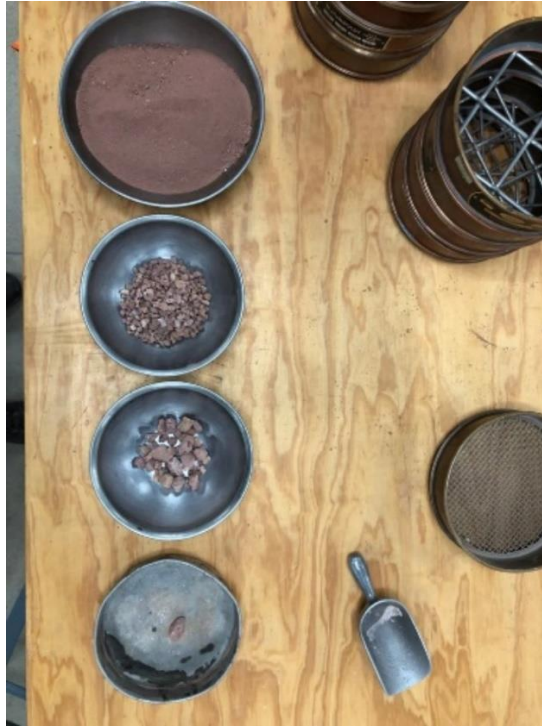


Ilustración 55 Granulometría gruesa, separación de partículas

Se obtuvo la granulometría gruesa, fina y combinada para la clasificación de suelos. A continuación, se presenta los resultados de la granulometría gruesa.

Tabla 4 Granulometría gruesa

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% de suelo retenido	% retenido acumulado
2"	101.6	0	0	0	0
1 1/2"	38.1	0	0	0	0
1"	25.4	0	0	0	0
3/4"	19.1	12.5	12.5	0.54	0.54
3/8"	9.52	149.18	161.68	6.46	7
#4	4.76	238.92	400.60	10.35	17.36
Fondo	-	1907.62	2308.22	82.64	100

Se presenta el porcentaje de error del ensayo el cual debe ser inferior al 1%, haciendo uso de la muestra de la masa inicial antes de someterlo al tamizado, así como la masa final que es la suma de todas las muestras de masa retenidas por cada tamiz.

Tabla 5 Porcentaje de error del ensayo

Masa	Gramos (g)
Masa inicial	2,308.49
Masa total	2,308.22
%	0.012
<1% Cumple	

Tabla 6 Granulometría fina

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% de suelo retenido	% retenido acumulado	% que pasa
#10	2	396.29	396.29	20.80	20.80	79.20
#40	0.42	821.64	1,217.93	43.13	63.93	36.07
#100	0.149	380.57	1,598.5	19.98	83.91	16.09
#200	0.074	141.21	1,739.71	7.41	91.32	8.68
Fondo	-	165.35	1,905.06	8.68	100.00	0.00
Total		1,905.06	-	100.00	-	-

El porcentaje de error del ensayo debe ser inferior al 1%, haciendo uso de la muestra de la masa inicial antes de someterlo al tamizado y la masa final que es la suma de todas las

masas retenidas por cada tamiz. La Tabla 8 muestra la combinación de la granulometría fina y gruesa, se obtiene el coeficiente de uniformidad y de curvatura del suelo Tabla 9.

Tabla 7 Porcentaje de error del ensayo de granulometría fina

Masa	Gramos (g)
Masa inicial	1,907.62
Masa total	1,905.06
%	0.13
<1% Cumple	

Tabla 8 Granulometría combinada

Tamiz No.	Diámetro (mm)	Masa retenida (g)	Masa retenida acumulada (g)	% de suelo retenido	% retenido acumulado	% que pasa
2"	101.6	0	0	0	0	100.00
1 ½"	38.1	0	0	0	0	100.00
1"	25.4	0	0	0	0	100.00
¾"	19.1	12.5	12.5	0.54	0.54	99.46
⅜"	9.52	149.18	161.68	6.46	7.01	92.99
#4	4.76	238.92	400.60	10.36	17.37	82.63
#10	2	396.29	796.89	17.19	34.56	65.44
#40"	0.42	821.64	1,618.53	35.64	70.20	29.80
#100	0.149	380.57	1,999.10	16.51	86.70	13.30
#200	0.074	141.21	2,140.31	6.12	92.83	7.17
Fondo	-	165.35	2,305.66	7.17	100.00	0.00
Total		2,305.66	-	100.00	-	-

Tabla 9 Coeficientes de curvatura y uniformidad del suelo

COFICIENTES		
D30	D10	D60
0.43	0.11	1.65
CURVATURA		
$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$		
1.02		
UNIFORMIDAD		
$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$		
15.00		

Se procede a realizar el ensayo de límites de Atterberg para determinar el índice de plasticidad del suelo, límite líquido Ilustración 56 y límite líquido Ilustración 57.



Ilustración 56 Ensayo para determinar el límite plástico



Ilustración 57 Ensayo de Casagrande para límite líquido de la muestra

Se realiza el contenido de humedad de la muestra.



Ilustración 58 Muestra de contenido de humedad

Se realiza el ensayo de Proctor estándar para determinar la cantidad de agua en la que el suelo obtiene la mayor resistencia sacando una muestra para el contenido de humedad, el procedimiento se realiza en tres capas de suelo compactando cada una de la capa por medio del martillo compactador.



Ilustración 59 Ensayo de Proctor estándar

Una vez obtenido los resultados de los ensayos de granulometría, límites de Atterberg y Proctor, se procede a realizar la clasificación de suelo puro por el método de la AASHTO y SUCS.

Tabla 10 Clasificación de suelos según la AASHTO

Clasificación General	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	50% máx 25% máx	35% máx	35% máx	35% máx	35% máx	51% mín	36% mín	36% mín	36% mín	36% mín
#40	30% máx										
#200	15% máx										
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	

Para la clasificación del suelo según el método AASHTO es tipo granular A-2-4.

Tabla 11 Sistema de clasificación SUCS

GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de Suelo	Símbolo	% pasa 5 mm.***	% pasa 0.08 mm.	CU	CC	** IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	< 0.73 (wl-20) ó <4 > 0.73 (wl-20) ó >7
	GP			≤ 6	<1 ó >3	
	GM		> 12			
	GC					
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	< 0.73 (wl-20) ó <4 > 0.73 (wl-20) y >7
	SP			≤ 6	<1 ó >3	
	SM		> 12			
	SC					
* Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC. *** respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
** Si $IP \geq 0.73 (wl-20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (wl-20)$, usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC.						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_u = (D_{60}) / (D_{10})$				$C_c = (D_{30}^2) / (D_{60} \cdot D_{10})$		

Para la clasificación del suelo según el método SUCS es GM-GC

Una vez obtenido los resultados de la clasificación de suelo el contenido de agua óptimo del suelo, se realizan las probetas de suelo con la mezcla de suelo puro con cada % de material que se determinó.

Se realiza una cantidad de dos probetas por cada porcentaje de material estabilizador, se procede a humedecer cada probeta de suelo durante 7 días para luego elegir una de cada porcentaje de material que se someterá a compresión y la otra se somete a la prueba de desgaste y absorción durante 6 ciclos, que comprenden 5 horas bajo agua y 48 horas en el horno por cada probeta hasta cumplir la cantidad de ciclos requeridos.

4.5.3 COMPRESIÓN AXIAL

Se procede a elegir cuál de las dos probetas de suelo se someterá a compresión y cual será sometida a desgaste. Una vez identificadas se procede a medir la sección transversal de la probeta de suelo, se pesan las probetas, se calcula el volumen y se calcula el área la sección transversal de la probeta de suelo con una herramienta llamada pie de rey para finalmente someterla a una carga axial.



Ilustración 60 Ensayo de compresión axial

El ensayo de compresión axial se aplicó a todas las probetas de suelo con cada uno de sus porcentajes de mezcla de material estabilizador, el dato de referencia es determinado por el suelo puro.

Tabla 12 Ensayo de compresión axial suelo puro

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)
Suelo puro	10.11	960

Una vez obtenido la carga aplicada del suelo puro se procede, a realizar el ensayo de cada probeta de suelo con el agente estabilizador.

Tabla 13 Ensayo de compresión axial suelo-cemento

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)
Cemento 16%	10.15	9,220
Cemento 12%	10.12	7,310
Cemento 18%	10.12	6,440

Tabla 14 Ensayo de compresión axial suelo-cloruro de sodio

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)
Cloruro de sodio 2%	10.17	970
Cloruro de sodio 5%	10.26	790
Cloruro de sodio 20%	10.17	870
Cloruro de sodio 10%	10.23	690

Tabla 15 Ensayo de compresión axial suelo-cloruro de calcio

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)
Cloruro de calcio 1%	10.1	960
Cloruro de calcio 4%	10.06	490
Cloruro de calcio 6%	10.1	310

Tabla 16 Ensayo de compresión axial suelo-melaza de caña

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)
Melaza de caña 2%	10.12	1,030
Melaza de caña 4%	10.04	830
Melaza de caña 6%	10.06	290

Una vez obtenido los datos de las cargas aplicadas a las probetas con la mezcla de suelo con el material estabilizador de suelos se procede a obtener los resultados con las fórmulas correspondientes al ensayo de resistencia a la compresión, así mismo realizar el cálculo de la resistencia aumentada que da como resultado una comparación de un aumento o disminución de la resistencia con respecto a la que obtiene el suelo puro, se procede a someter las probetas en agua durante 5 horas así da comienzo a la prueba de desgaste y absorción del suelo.

4.5.4 DESGASTE Y ABSORCIÓN DEL SUELO

El ensayo de desgaste se realiza luego de medir las probetas, tomar el peso inicial de cada una de ellas y luego someter cada probeta bajo agua por 5 horas para hacer comienzo del primer ciclo de este ensayo, se comienza en la misma fecha que se realiza la prueba de compresión axial. El desgaste y absorción se realiza en una cantidad de 12 ciclos, por tiempo estipulado se harán 6 ciclos hasta llegar a obtener el peso final de cada probeta.

A continuación, se presentan los datos iniciales de cada probeta de suelo con los agentes estabilizadores, ejemplo de absorción Ilustración 61, ejemplo de desgaste Ilustración 62.

Tabla 17 Peso inicial probeta de suelo puro

Probeta	Peso inicial (gr)
Suelo puro (promedio)	2,022.58

Tabla 18 Peso inicial probeta de suelo-cemento

Probeta	Peso inicial (gr)
Suelo + 18% cemento	1,994.95
Suelo + 12% cemento	1988.4
Suelo + 16% cemento	1963.44

Tabla 19 Peso inicial probeta de suelo-cloruro de sodio

Probeta	Peso inicial (gr)
Suelo + cloruro de sodio 10%	2,009.13
Suelo + cloruro de sodio 5%	2,015.29
Suelo + cloruro de sodio 2%	2,005.34
Suelo + cloruro de sodio 20%	1,962.4

Tabla 20 Peso inicial probeta de suelo-cloruro de calcio

Probeta	Peso inicial (gr)
Suelo + cloruro de calcio 4%	2,035.03
Suelo + cloruro de calcio 6%	2,033.36
Suelo + cloruro de calcio 1%	1,942.55

Tabla 21 Peso inicial probeta de suelo-melaza de caña

Probeta	Peso inicial (gr)
Suelo + melaza de caña 4%	1,973.44
Suelo + melaza de caña 6%	1,970.12
Suelo + melaza de caña 2%	1,934.82



Ilustración 61 Absorción por 5 hora bajo agua



Ilustración 62 Desgaste 48 horas al horno

Se realizaron los ciclos de la prueba de desgaste, se realizó el ensayo de permeabilidad de suelo puro y de todos los materiales con él porcentaje óptimo de cada uno, que se determinó en la prueba de compresión.

Una vez realizada la prueba de permeabilidad se procede a realizar los ensayos de límites de Atterberg, Proctor con los porcentajes óptimos de cada material.

4.5.4.1 Permeabilidad

Se montó todos los materiales y herramientas que se utilizaran para este ensayo, así como mantener bajo agua la piedra porosa hasta utilizarla cuando la mezcla del suelo puro esta lista con cada material y el porcentaje óptimo de cada uno. De igual manera se determinó tener más altura entre la muestra de suelo a la obra de captación del agua, de esta manera nos permite agilizar el procedimiento

Este procedimiento se realiza con cada material de la siguiente manera: cemento 16%, melaza de caña 2%, cloruro de sodio 2% y cloruro de calcio 1%. Obteniendo como resultado mejoría en cada uno con respecto al suelo puro con la excepción del cemento 16% el cual perjudicó el ensayo de permeabilidad, el material con mayor permeabilidad es la mezcla de suelo puro con el cloruro de calcio 1% Tabla 25. A continuación, se presenta los datos obtenidos durante el ensayo.



Ilustración 63 Permeabilidad del suelo

A continuación, se presentan los datos generales y resultados del ensayo de permeabilidad suelo con cada agente estabilizador de suelos

Tabla 22 Datos de permeabilidad suelo-melaza

Ítem	Datos
Volumen de agua	750
Longitud de la muestra de suelo (cm)	8.23
Área de la sección transversal cm^2	31.97
Tiempo de prueba (s)	151
Temperatura de la prueba ($^{\circ}C$)	21.6
Carga (cm)	126
Cálculo de permeabilidad con melaza de caña (cm/s)	0.01014778

Tabla 23 Datos de permeabilidad suelo-cloruro de sodio

Ítem	Datos
Volumen de agua	750
Longitud de la muestra de suelo (cm)	7.8
Área de la sección transversal cm^2	31.97
Tiempo de prueba (s)	313
Temperatura de la prueba ($^{\circ}C$)	21.4
Carga (cm)	126
Cálculo de permeabilidad con cloruro de sodio (cm/s)	0.00463979

Tabla 24 Datos de permeabilidad suelo-cemento

Ítem	Datos
Volumen de agua	94
Longitud de la muestra de suelo (cm)	8
Área de la sección transversal cm^2	31.97
Tiempo de prueba (s)	4,523
Temperatura de la prueba ($^{\circ}C$)	21.7
Carga (cm)	126
Cálculo de permeabilidad con cemento Portland (cm/s)	4.1274E-05

Tabla 25 Datos de permeabilidad suelo-cloruro de calcio

Ítem	Datos
Volumen de agua	750
Longitud de la muestra de suelo (cm)	8.53
Área de la sección transversal cm^2	31.97
Tiempo de prueba (s)	78
Temperatura de la prueba ($^{\circ}C$)	22.2
Carga (cm)	126
Cálculo de permeabilidad con cloruro de calcio (cm/s)	0.0203612



Ilustración 64 Permeabilidad con suelo cemento 16%

Una vez obtenidos los datos correspondientes del ensayo por cada material se procede a realizar los cálculos del coeficiente de permeabilidad (K) y la corrección por temperatura a 20°C.

4.5.4.2 Límites de Atterberg

El procedimiento de esta sección es la mezcla de 400g pase 4 más el porcentaje de cada material realizando límite líquido y límite plástico para obtener resultados sobre el índice de plasticidad. El ensayo requiere realizar un cilindro de 3mm de diámetro que se desprenda hasta no poder unirse nuevamente, se realizan 3 muestras que determina el límite plástico del suelo, para la obtención de resultados del límite líquido se realizan cinco muestras con la copa de Casagrande así mismo realizar un gráfico con estos datos. Una vez realizada las muestras de cada uno de los materiales se procede colocarla al horno para determinar cuál es el índice de plasticidad, el agente estabilizador con mayor reducción al índice de plasticidad es la melaza de caña 2%.



Ilustración 65 Mezcla de suelo puro y melaza de caña

Tabla 26 Límite líquido suelo puro

No. Lata	No. Golpes	PL+SH (gr) (W2)	PL+SS (gr) (W3)	PL (gr) (W1)	SS- PL	SH- SS	W%
16	19	42.5	36.21	11.11	25.1	6.29	25.06
24	27	43.14	36.7	11	25.7	6.44	25.06
61	34	39.02	33.41	10.97	22.44	5.61	25.00
Límite líquido				25.061 %			

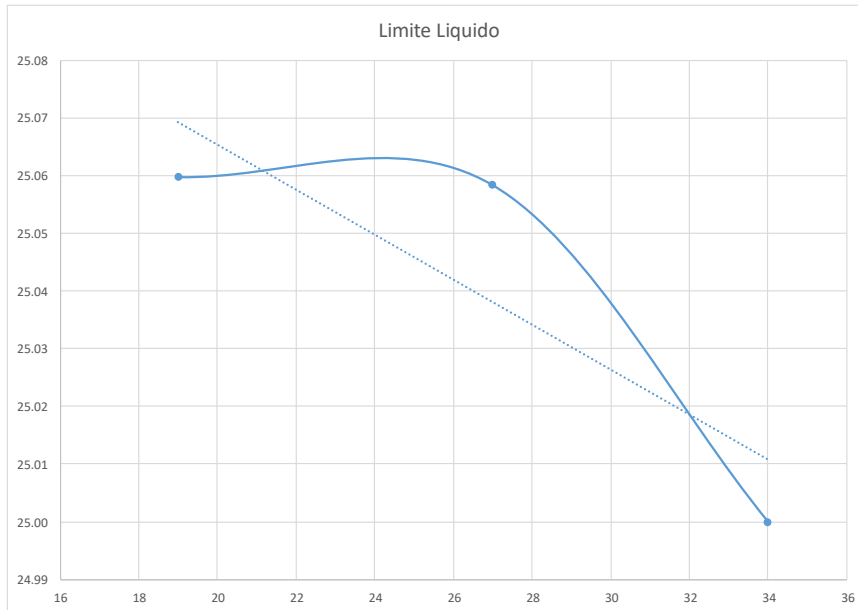


Ilustración 66 Gráfico límite líquido suelo puro

Tabla 27 Límite plástico

No. Lata	PL+SH (gr) (W2)	PL+SS (gr) (W3)	PL (gr) (W1)	SS- PL	SH- SS	W%
1	12.94	12.69	10.97	1.72	0.25	14.53
25	13.11	12.85	11.11	1.74	0.26	14.94
75	13.94	13.53	11.08	2.45	0.41	16.73
Límite plástico						15.40

Tabla 28 Índice de plasticidad

Índice de plasticidad	LL-LP
IP	25.061-15.40
IP	9.66%

V RESULTADOS Y ANÁLISIS

Al aplicar los procedimientos metodológicos descritos anteriormente y los cálculos necesarios de los ensayos de laboratorio se obtuvieron los resultados de resistencia a la compresión, permeabilidad, índice de plasticidad, desgaste y absorción por material, se sometieron los agentes estabilizadores de suelo a cada ensayo con un suelo granular A-2-4 según la clasificación AASHTO.

5.1 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para esta sección se realizaron pruebas de resistencia a la compresión de una probeta por porcentaje de agente estabilizador, la cual dio como resultado los siguientes gráficos y tablas:

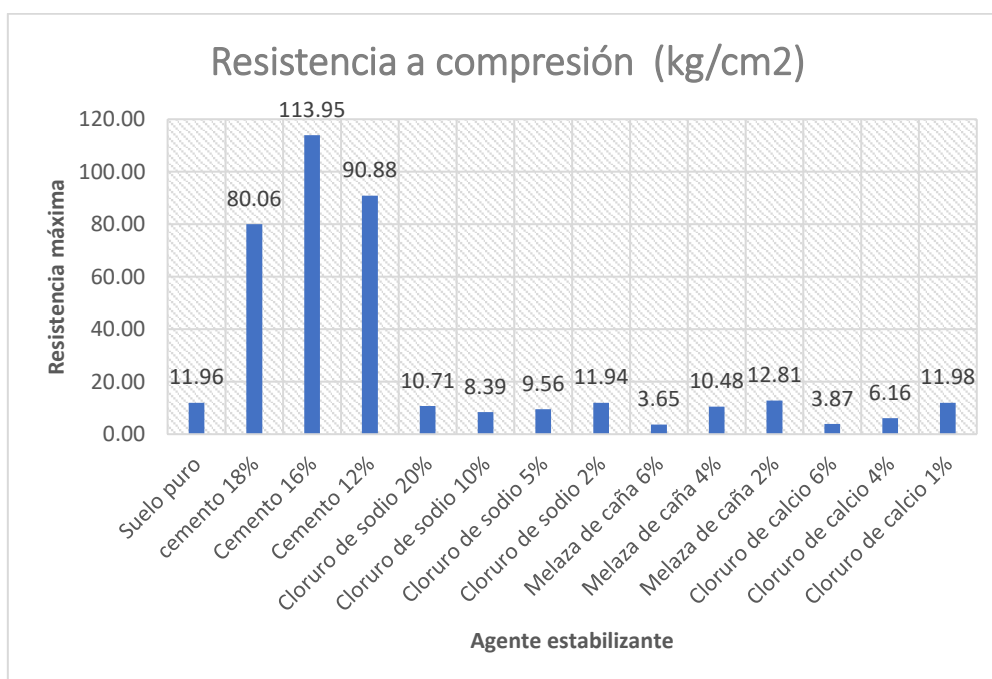


Ilustración 67 Gráfico de resistencia a la compresión según tipo de material

El gráfico muestra los resultados que se obtuvieron de la prueba de resistencia a la compresión de todos los porcentajes de cada agente estabilizador de suelos determinando la resistencia máxima.

A continuación, se presentan los resultados del ensayo de resistencia a la compresión axial de las probetas de suelo con el porcentaje del agente estabilizador que obtuvieron mayor resistencia sobre los demás porcentajes de agentes estabilizadores, siendo estos los siguientes:

Tabla 29 Comparación de resultados de resistencia a compresión por agente

Probeta	Diámetro (cm)	Carga aplicada (kg)	Resistencia (kg/cm ²)
Suelo puro	80.28	960	11.96
Cemento 16%	80.91	9220	113.95
Cloruro de sodio 2%	81.23	970	11.94
Melaza de caña 2%	80.44	1030	12.81
Cloruro de calcio 1%	80.12	960	11.98

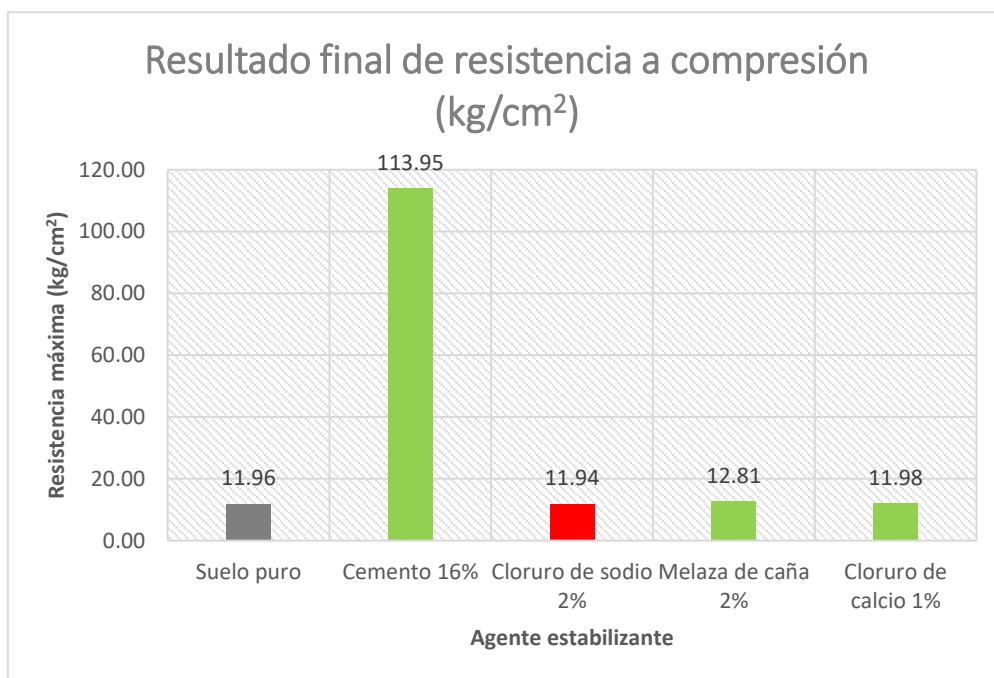


Ilustración 68 Gráfico de resistencia a compresión de cada porcentaje de material

La gráfica anterior mostrada es el resultado por porcentaje de resistencia a la compresión según cada tipo de material.

5.1.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el ensayo de resistencia a la compresión se desea un incremento en el suelo estabilizado, debido a que mayor resistencia del suelo mayor será la carga que soporte, al tener un suelo de tipo granular de clasificación A-2-4 según la AASHTO, se observan resultados óptimos en esta sección con los diferentes agentes estabilizadores de suelo implementados, siendo el suelo puro el punto de partida al comparar los resultados obtenidos en las probetas de cada material, existe una mejoría en porcentajes de

cemento, melaza de caña y cloruro de calcio, caso contrario sucede con el cloruro de sodio, el cual no se obtuvieron incrementos de resistencia a la compresión en esta sección.

Según los resultados obtenidos en la prueba de resistencia a la compresión, se determinó el porcentaje de cada agente estabilizador que obtuvo mayor incremento a compresión axial, que son: cemento 16%, cloruro de calcio 1% melaza de caña 2% y cloruro de sodio 2%.

5.2 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Para esta sección se realizó el ensayo de Límites de Atterberg de cada probeta de suelo con el porcentaje de agente estabilizador óptimo, que muestra los siguientes resultados.

Tabla 30 Comparación de resultados índice de plasticidad

Material	Índice de Plasticidad
Suelo Puro	9.66
Cemento 16%	8.79
Cloruro de sodio 2%	8.48
Cloruro de Calcio 1%	7.59
Melaza de caña 2%	5.62

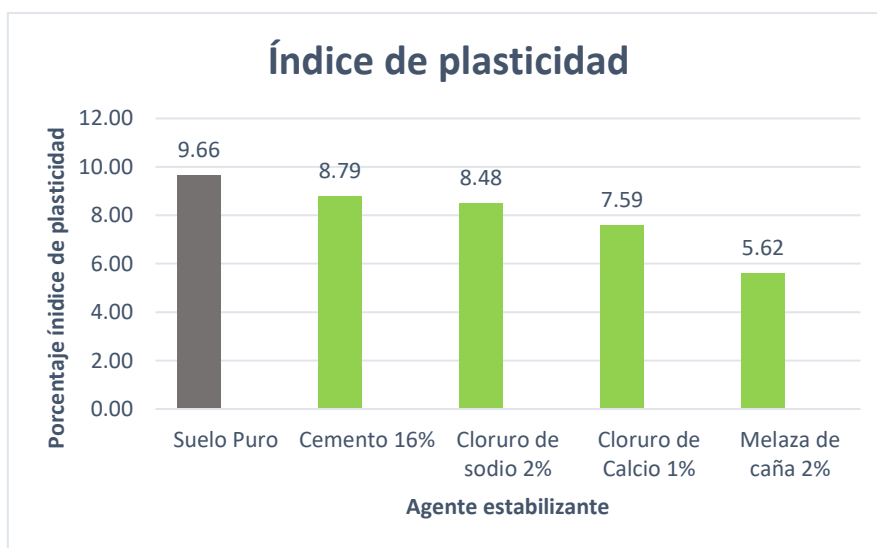


Ilustración 69 Gráfico comparativo de porcentaje índice de plasticidad

5.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Entre más elevado el índice de plasticidad, más arcilloso se considera el suelo, los suelos arcillosos se deben evitar para la construcción de pavimentos, cada agente estabilizador proporciona una reducción en el índice de plasticidad con respecto al suelo puro, además se menciona que la melaza de caña como agente estabilizador de suelos obtiene la mayor reducción, obteniendo un dato de 5.62% de índice de plasticidad el cual se cataloga como un suelo no cohesivo, por lo que se recomienda utilizar la melaza en esta sección para suelos granulares A-2-4.

5.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE DESGASTE

Para esta sección se realizó el ensayo de desgaste de cada probeta de suelo con el porcentaje de agente estabilizador óptimo, que muestra los siguientes resultados.



Ilustración 70 Gráfico de numero de ciclos resistente al desgaste

Como se puede observar en el grafico anterior, las probetas fueron sometidas a desgaste con un número de ciclos establecidos de 6.



Ilustración 71 Desgaste del 100% de probeta

Tabla 31 Porcentaje de desgaste final por material

Material por porcentaje	Porcentaje de desgaste final
Suelo + 16% cemento	3.71
Suelo + 2% Cloruro de Sodio	100.00
Suelo + 2% melaza de caña	20.20
Suelo + 1% Cloruro de calcio	52.21

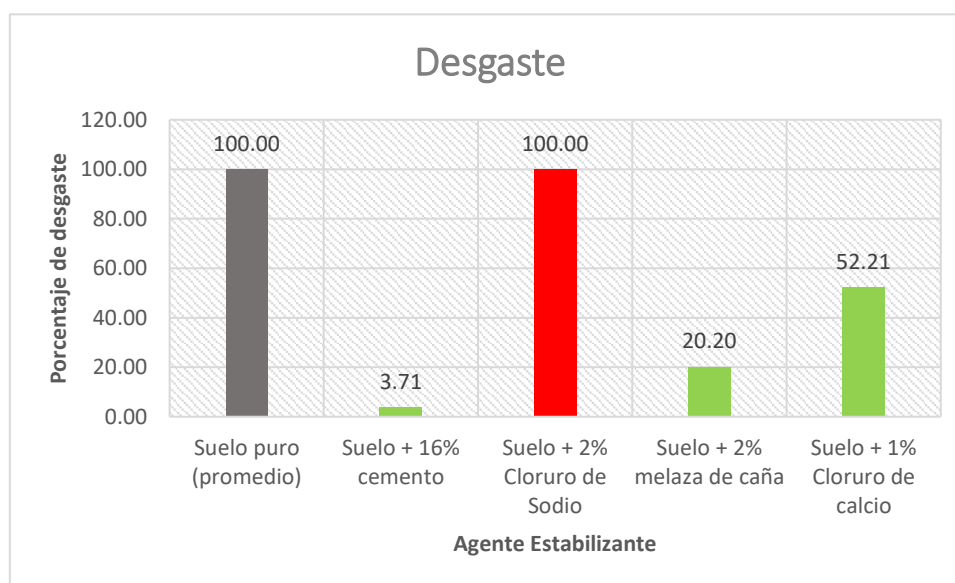


Ilustración 72 Gráfico de porcentajes desgaste final por material

En el gráfico anterior se muestra el desgaste que tuvo cada probeta por porcentaje óptimo de agente estabilizante, es decir que tanto en porcentaje sufrió de desgaste la probeta.

5.3.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El desgaste refleja la capacidad de suelo a soportar fuerzas abrasivas en campo como ser: paso vehicular, humano. flujo de agua, etc. Se requieren porcentajes mínimos de desgaste, el cemento es el material que brinda menos desgaste al suelo según los ciclos sometidos en esta investigación. La melaza de caña y el cloruro de calcio obtuvieron menor desgaste respecto al suelo puro, por lo que es recomendable utilizar este tipo de agentes estabilizadores de suelos para el suelo granular A-2-4.

5.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE ABSORCIÓN

Para los resultados de porcentaje de absorción del suelo se realizaron 6 ciclos por cada probeta de suelo con el agente estabilizador para llegar al siguiente resultado:



Ilustración 73 Gráfico comparativo grado absorción

5.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el ensayo de absorción de los diferentes tipos de agentes estabilizadores analizados, se obtuvo menor grado de absorción con respecto al suelo puro, en esta sección entre menor sea el grado de absorción más importante es para la estabilización de suelo, el cloruro de calcio 1% como agente estabilizador de suelos obtuvo el menor grado de absorción con un porcentaje cercano a la melaza de caña y cemento. La absorción indica la capacidad del suelo de retener la humedad en su interior, la humedad que absorbe el suelo debería ser similar al contenido de humedad, los porcentajes de absorción deben ser bajos, se recomienda aplicar los agentes antes mencionados para suelos de tipo granular A-2-4.

5.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE PERMEABILIDAD

Los resultados de permeabilidad del suelo con los agentes estabilizadores se presentan en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 32 Permeabilidad por porcentaje de material

Material	Cálculo de permeabilidad(cm/s)
Suelo puro	0.00178
Suelo-Cemento 16%	4.1274E-05
Suelo-Cloruro de sodio 2%	0.00463979
Suelo-Cloruro de calcio 1%	0.02036116
Suelo-Melaza de caña 2%	0.010147778

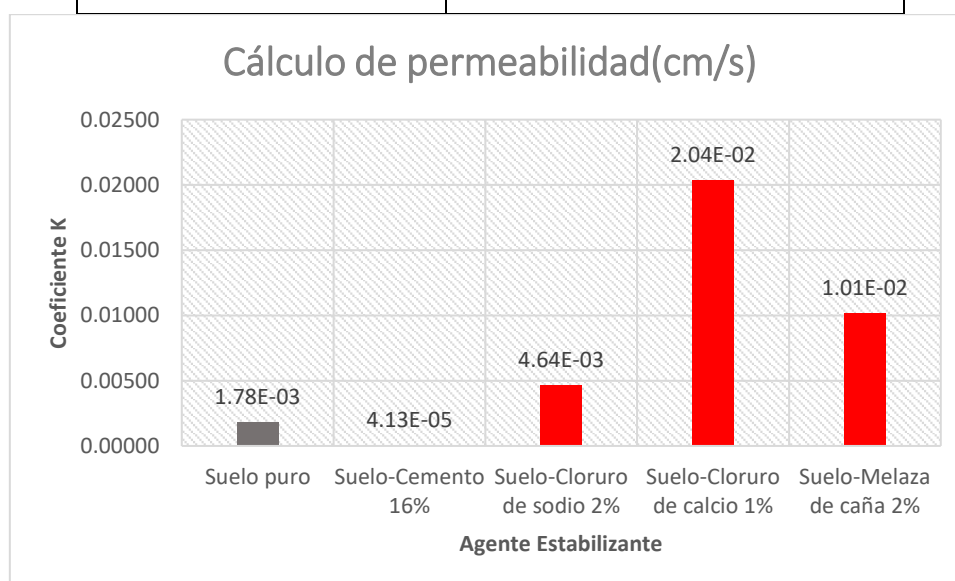


Ilustración 74 Gráfico resultados de permeabilidad por material

Como se muestra en el gráfico, el cálculo de la permeabilidad por el porcentaje de material es la proporción permeable de la combinación suelo-material en una estabilización de suelos.

5.5.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se realizó un análisis de cada agente estabilizador para el ensayo de permeabilidad, obteniendo como resultado datos de mayor permeabilidad en los agentes estabilizadores de suelos a excepción de cemento, cuyo análisis resulta impermeable para suelos estabilizados que no serán pavimentados, se desea que el suelo sea impermeable, para evitar filtración de agua que dañe el estrato estabilizado.

5.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS PROCTOR ESTÁNDAR

A continuación, se presentan los resultados comparativos de Proctor estándar con la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 33 Resultados porcentaje de humedad

Proctor estándar	
Material estabilizador	% de agua
Cemento 16%	11.93%
Cloruro de calcio 1%	9.96%
Cloruro de sodio 2%	10.98%
Melaza de caña 2%	8.98%
Suelo puro	9.40%

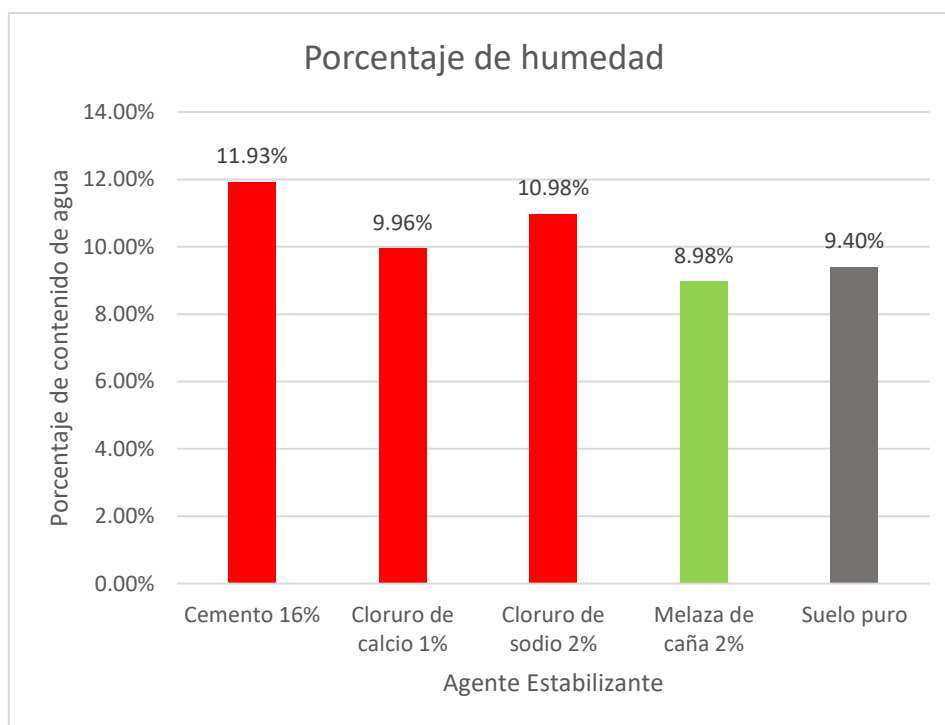


Ilustración 75 Gráfico comparativo porcentaje de humedad

A continuación, se presentan los resultados de la densidad máxima seca de cada agente estabilizador:

Material estabilizador	Densidad máxima seca (lb/ft³)
Suelo puro	140.35
Suelo-cemento 16%	138.10
Suelo cloruro de calcio 1%	139.59
Suelo-cloruro de sodio 2%	139.17
Suelo-melaza de caña 2%	138.12

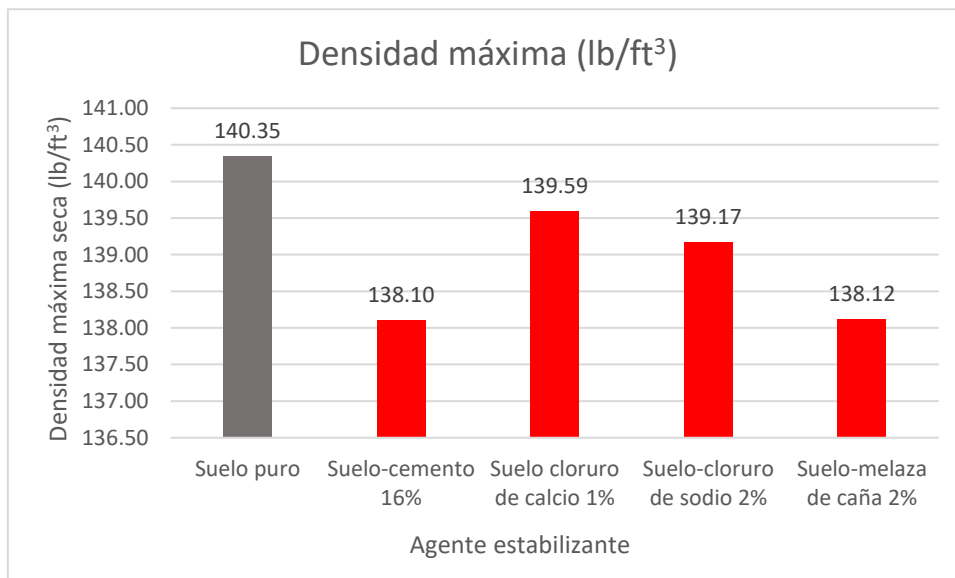


Ilustración 76 Gráfico comparativo densidad máxima

5.6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para la melaza de caña se obtuvo un porcentaje de humedad bajo a comparación del suero puro, caso contrario los demás agentes estabilizantes obtuvieron un incremento en la cantidad de agua que se relaciona con la porosidad del suelo, entre menos agua requiera el suelo menos poros internos tendrá. Estas cantidades de humedad el suelo puro y los agentes estabilizadores llegan a la densidad máxima seca, entre más denso sea el suelo es más estable debido a que contiene menos vacíos internos. Los resultados de densidad máxima seca fueron menores a la densidad máxima que posee el suelo puro.

5.7 COMPARACIÓN GENERAL DE RESULTADOS

A continuación, se presentan las comparativas de los resultados de las propiedades mecánicas del suelo.

Tabla 34 Comparación de las propiedades mecánicas del suelo

	Suelo puro	Cloruro de Sodio 2%	Cloruro de Calcio 1%	Melaza 2%	Cemento 16%
Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	11.96	11.94	11.98	12.81	113.95
Desgaste Final (%)	100.00	100.00	52.21	20.20	3.71
Permeabilidad (cm/s)	1.78E-03	4.64E-03	2.04E-02	1.01E-02	4.13E-05
Absorción (%)	86.35	49.19	6.69	7.01	8.41
Índice de Plasticidad	9.66	8.48	7.59	5.62	8.79
Densidad Máxima Seca (lb/ft³)	140.35	139.17	139.59	138.12	138.1
Humedad Óptima (%)	9.4	10.98	9.96	8.98	11.93

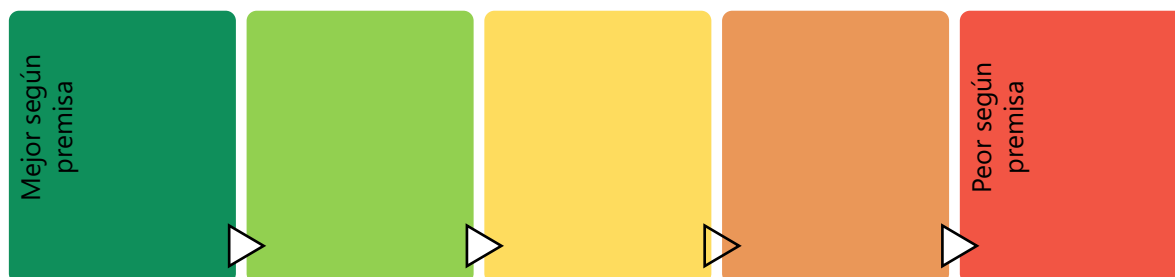


Ilustración 77 Simbología de resultados generales

5.7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS GENERALES

5.7.1.1 *Premisa resistencia a la compresión*

Se necesita un incremento en la resistencia del suelo estabilizado.

5.7.1.2 *Premisa desgaste final*

El desgaste refleja la capacidad de suelo soportar fuerzas abrasivas en campo (paso vehicular, humano, flujo de agua, etc.). Se desean porcentajes bajos de desgaste.

5.7.1.3 *Premisa permeabilidad*

Para suelos estabilizados que no serán pavimentados se desea que el suelo sea impermeable, para evitar filtración de agua que dañe el estrato estabilizado.

5.7.1.4 *Premisa absorción*

La absorción indica la capacidad del suelo de retener humedad en su interior. La humedad que absorbe el suelo debería ser similar al contenido de humedad óptimo. Se desean porcentajes bajos de absorción.

5.7.1.5 *Premisa índice de plasticidad*

Entre más elevado el índice de plasticidad, más arcilloso se considera el suelo. Los suelos arcillosos se deben evitar en la construcción de pavimentos. Se desea un índice de plasticidad bajo.

5.7.1.6 *Premisa densidad máxima seca*

Entre más denso el suelo se entiende que es más estable, porque tiene menos vacíos internos. Se desea un incremento en la densidad seca máxima.

5.7.1.7 *Premisa humedad óptima*

La cantidad de agua se relaciona con la porosidad del suelo, entre menos agua requiera el suelo menos poros internos tendrá. Se desea un porcentaje de humedad bajo.

El suelo puro es de tipo granular con clasificación A-2-4 según el método AASHTO, posee materiales como: gravas, arenas, limosas y arcillosas. El suelo puro posee una mayor densidad máxima seca con respecto a los resultados de los demás agentes estabilizadores, sin embargo, obtiene el mayor porcentaje en el índice de plasticidad y

absorción, el suelo puro obtuvo el menor porcentaje respecto a los demás debido a que su índice de plasticidad y el grado de absorción es mayor. El desgaste final el suelo puro se desintegró antes de realizar los 6 ciclos de desgaste.

El cloruro de sodio 2% en desgaste, resistencia a la compresión, humedad óptima, permeabilidad y densidad máxima seca no mejoró las condiciones con respecto al suelo puro, sin embargo, el grado de absorción del cloruro de sodio es menor al de suelo puro.

El cloruro de calcio 1% con respecto al suelo puro obtuvo mejores resultados en cuanto a la resistencia a la compresión, absorción e índice de plasticidad sin embargo en el resto de los ensayos obtuvo resultados sin mejorar el suelo puro.

La estabilización con melaza de caña 2% obtuvo mejores resultados en los ensayos de resistencia a la compresión, humedad óptima, índice de plasticidad, desgaste y absorción respecto al suelo puro, sin embargo, no obtuvo mejoras en permeabilidad y densidad máxima seca.

El cemento 16% obtuvo resultados óptimos en los ensayos de resistencia a la compresión, permeabilidad, índice de plasticidad, desgaste y absorción, sin embargo, no obtuvo mejoras en la densidad máxima seca y el porcentaje contenido de humedad.

VI CONCLUSIONES

Se ha determinado que el método que se utilizó es la estabilización química, la norma ASTM D-4609 indicó el método de selección de productos químicos para la estabilización de suelos, los ensayos de laboratorio brindaron resultados de resistencia a la compresión, permeabilidad, índice de plasticidad, desgaste y absorción del suelo.

- 1 Se ha determinado con la norma ASTM D-3282 que la clasificación de suelo es tipo granular A-2-4 según el método AAHSTO y un suelo GW-GC en el método SUCS.
- 2 Se ha determinado que los porcentajes de los agentes estabilizadores analizados son: cemento con porcentajes de 12,16, y 18%, estos porcentajes de cemento se implementan en la rasante de los pavimentos Unicapa de alto desarrollo, cloruro de sodio con porcentajes de 2,5,10,20%, cloruro de calcio con porcentajes de 1,4,6% según la norma ASTM D-9815 donde indica que el material puede ser utilizado en suelos con índice de plasticidad menor al 15%, y melaza de caña con porcentajes de 2,4,6%.
- 3 Se ha determinado con los resultados de los ensayos de laboratorio que existe una estabilización al suelo de tipo granular A-2-4 con los agentes estabilizadores utilizados, la melaza de caña de 2% de la muestra de suelo proporciona mayor estabilización de suelo para caminos de terracería con material granular.
- 4 Se ha determinado con la norma ASTM D-2434 que determina la permeabilidad de suelos granulares, la norma ASTM D-4318 método de ensayo para determinar el índice de plasticidad, la norma ASTM D-1633 método para determinar la resistencia a la compresión axial y la norma ASTM D-1557 que indica el procedimiento de Proctor estándar que la melaza de caña 2% proporciona mejores propiedades mecánicas al suelo granular A-2-4.

VII RECOMENDACIONES

1. Realizar una segunda etapa de esta investigación que se pueda implementar los mismos ensayos de laboratorio para un suelo arcilloso.
2. Realizar el procedimiento de desgaste de las probetas de los diferentes agentes estabilizadores en un lapso simultáneo de tiempo para poder tener los resultados congruentes con el mismo tiempo, ya que si se realizan de forma de orden de materiales se obtienen resultados pasos por paso y esto genera pérdida de tiempo a la hora de presentar resultados.
3. Realizar un plan de mejoramiento de la red vial de terracería mediante los agentes estabilizadores descritas en esta investigación para poder proceder de una vez a la pavimentación y mejor la calidad de las carreteras y calles vecinales del país.
4. Combinar el suelo con materiales que le puedan mejorar sus características para poder reducir costos y aumentar la vida útil de las carreteras que estarán encima de las mezclas de suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Anguas, P., Perez, A., Gomez, J., & Obil, E. (2002). *ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CLORURO DE SODIO PARA SU USO EN LAS VIAS TERRESTRES*. Queretaro.
- Archie Technology . (Abril de 2021). *Estabilizacion termica* . Obtenido de <https://tecnologiaelectron.blogspot.com/2021/04/estabilizacion-termica-transistor.html>
- Arimetrics. (2022).
- Artero, M., Jovel, J., & Mejía, M. (2003). *Propuesta para el diseño y construcción de pavimentos unicapa de alto desempeño como alternativa de aplicación de caminos rurales*. San Salvador.
- ASOCRETO. (2022). *CAMINOS EN CONCRETO COMO OPCIÓN PARA VÍAS Terciarias*. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/caminos-en-concreto-opcion-para-vias-terciarias/>
- ASTM Corp. . (17 de Abril de 2018). *ASTM*. Obtenido de <https://www.astm.org/standards/d4318>
- ASTM Corp. (2016). *World Pdf Slides*. Obtenido de <https://pdfslide.net/documents/astm-c-117-95-56113c83f366d.html?page=1>
- ASTM Corp. (15 de Abril de 2022). Obtenido de <https://www.astm.org/standards/d2434>
- Cahuana, F. (2016). *Doisificación óptima de cloruro de calcio y melaza de caña para la estabilización de suelos en caminos vecinales no pavimentados del distrito de barranca 2016*. Huaraz .
- Cerrato, M. (Enero de 2018). *Ensayos de Límites de Atterberg* . Obtenido de <https://es.essays.club/Otras/Temas-variados/ENSAYO-DE-LIMITES-DE-ATTERBERG-37078.html#:~:text=Los%20%C3%ADmites%20de%20Atterberg%20son%20ensayos%20de%20laboratorio,Unificada%20de%20Suelos%20%28Unified%20Soil%20Classification%20System%2C%20USCS%29>.

- CONSTRUNEIC. (2022). *Que es la granulometria* . Obtenido de <https://construneic.com/mecanica-de-suelos/granulometria/#:~:text=Que%20Es%20El%20Ensayo%20de%20Granulometria?>
- Díaz, W. Á. (Mayo de 2015). Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/6239/MANUAL%20DE%20PROCEDIMIENTOS%20DE%20ENSAYOS%20DE%20SUELOS.pdf;jsessionid=1A0878C8C2499E8CD42ED5DCE072A8D1?sequence=1>
- Estrada, H., & Cueva, K. (22 de Marzo de 2021). *Influencia de la aplicación de cloruro de calcio y melaza de caña en vías no pavimentadas*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81584>
- Estrategias y Negocios. (19 de Abril de 2019). *Vision Centroamerica*. Obtenido de <https://www.estrategiaynegocios.net/centroamericaymundo/solo-el-24-de-la-red-vial-de-honduras-esta-pavimentada-PWEN1277190>
- Excel para todos. (2022).
- Fernandez, & Souza. (Mayo de 2018). *Representación del movimiento iónico desde la solución del suelo* . Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Representacion-del-movimiento-ionico-desde-la-solucion-del-suelo-hasta-el_fig10_324975554
- Fernandez, C. (17 de Enero de 2016). *Tecnología de la Cosntrucción* . Obtenido de <https://www.tresingenieros.com/tecnologia-de-la-construccion/tecnologia-de-la-construccion-44-asfalto-produccion-y-colocacion-de-mezclas-de-asfalto/>
- Google Earth. (2023).
- Google Maps . (2023). Tegucigalpa .
- HumiCorp. (2018). *Estabilizacion de suelos con polimeros* . Obtenido de <https://www.humicorp.com/estabilizacion-de-suelos-sin-cemento/>
- INE. (2020). *BOLETIN PARQUE VEHICULAR DE HONDURAS 2016-2020*. tegucigalpa .
- INE. (2021). *Carreteras y Aeropuertos de Honduras*. Obtenido de <https://www.ine.gob.hn/V3/2022/11/28/carreteras-y-aeropuertos-2017-2021/>

- INE, Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Carreteras y Aeropuertos de Honduras 2014-2018*. Obtenido de <https://ine.gob.hn/V3/imag-doc/2020/01/Carreteras-y-Aeropuertos-2018.pdf>
- Lagarreta, M. G. (1998). *El agua*. Obtenido de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=Omnmv6A0e_sC&oi=fnd&pg=PT3&dq=que+es+el+agua+&ots=QbDB38U7ca&sig=eDiF4qg_TnIdx3FTMNSkG5sXJFo#v=onepage&q=que%20es%20el%20agua&f=false
- Manquirez, O. (17 de Febrero de 2017). *ASTM C 136-01*. Obtenido de https://kupdf.net/download/astm-c-136-01-doc_58a6102b6454a7d10db1e8eb_pdf
- Manriquez, O. (17 de Febrero de 2017). *KUPDF*. Obtenido de https://kupdf.net/download/astm-c-136-01-doc_58a6102b6454a7d10db1e8eb_pdf
- Mattos, J., & Vasquez, D. (2019). *Mejora de la subrasante de suelo arcilloso aplicando el sistema de confinamiento celular para reducir las capas del pavimento*. Obtenido de <https://1library.co/document/q05me09y-mejora-subrasante-arcilloso-aplicando-sistema-confinamiento-celular-pavimento.html>
- Mauricio. (2010). *ChemicalSafetyFacts*. Obtenido de <https://es.chemicalsafetyfacts.org/es/sobre-este-sitio-web/>
- Mercado, R. (Enero de 2013). *Research Gate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/277718862_Ruptura_de_emulsiones_asfalticas_cationicas_y_no_ionicas_mediante_la_adicion_de_arena
- Montejo, A., Montejo, A., & Montejo, A. (2018). *Estabilizacion de Suelos*. Bogota: Ediciones de la U.
- Neville, A. y. (2010). *Tecnologia del Hormigon*. Obtenido de [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2420055](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2420055)
- Notas de Office. (2014).

- Obando, T. (2009). *Sondeos Geotecnicos y Calicatas*. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32077265/Sondeos-geotecnicos-calicatas-libre.pdf?1391488749=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSondeos_Geotecnicos_y_Calicatas_Por.pdf&Expires=1678147578&Signature=c5vpaS1tpCRIXjOKs-kEs6oBpfH~cK-jU9UGt
- Olivo, K. (2014). *Los pavimentos y su importancia*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/kenolivo1/presentacion1-41056662>
- Ordoñez, J. (2021). *DOCZ*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/14999/proctor-est-ndar--aashto-t-99--y-proctor-modificado--aashto-t-180->
- Pérez Porto, J., Merino, M. (2015). *Que es word* .
- Reyes, F., & Rondon, H. (2015). *Pavimentos, Materiales de construccion y diseño*. ECOE Ediciones.
- Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2014). *Definiciones de los enfoques cuantitativos y cualitativos*. Obtenido de https://www.academia.edu/download/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias.pdf
- Rodríguez, D. (Octubre de 2022). *Dosificacion suelo cemento*. Obtenido de <https://idoc.pub/documents/idocpub-d2nvwro9e0lk>
- SEFIN. (2019). *Pavimentacion de calles vecinales* . Obtenido de <https://www.sefin.gob.hn/>
- Softonic. (2021).
- SOSTERRA. (Febrero de 2018). *CONTROL DE POLVO Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS*. Obtenido de <https://www.sosterra.com.pe/project/control-de-polvo-y-estabilizacion-de-suelos/>
- Suárez, E. (28 de 05 de 2019). *IngeCivil.net*. Obtenido de <https://www.ingecivil.net/2019/05/28/que-es-la-compactacion-de-suelos/>
- Waldir, J., & Rubin, C. (13 de Mayo de 2018). *Utilización de la Vinaza de Caña Azúcar para Estabilizar Suelos Cohesivos*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1035>

- XplorHonduras. (2015). *Carreteras de Honduras*. Obtenido de <https://www.xplorhonduras.com/carreteras-de-honduras/>
- Yepes, V. (Marzo de 2021). *Estabilizacion de suelos con cloruros* . Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/03/19/estabilizacion-de-suelos-con-cloruros/>
- Yepes, V. (Febrero de 2021). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/02/22/estabilizacion-de-suelos-con-cemento/>
- Zambrano, H. (2021). *DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DINÁMICAS A PEQUEÑAS DEFORMACIONES DE SUELOS ESTABILIZADOS QUÍMICAMENTE CON ADITIVOS POLIMÉRICOS*. Obtenido de <https://1library.co/document/ydlv2dgz-determinaci%C3%B3n-propiedades-din%C3%A1micas-peque%C3%B1as-deformaciones-estabilizados-qu%C3%ADmicamente-polim%C3%A9ricos.html>

ANEXOS

Anexo 1 Resultados generales de los ensayos

Tabla comparación general sin suelo-cemento

	Suelo puro	Cloruro de Sodio 2%	Cloruro de Calcio 1%	Melaza 2%
Resistencia a la Compresión (kg/cm²)	11.96	11.94	11.98	12.81
Desgaste Final (%)	100.00	100.00	52.21	20.20
Permeabilidad (cm/s)	0.001780000	0.004639790	0.020361160	0.010147778
Absorción (%)	86.35	49.19	6.69	7.01
Índice de Plasticidad	9.66	8.48	7.59	5.62
Densidad Máxima Seca (lb/ft³)	140.35	139.17	139.59	138.12
Humedad Óptima (%)	9.4	10.98	9.96	8.98

Anexo 2 Resultados prueba de desgaste y absorción

Tabla 35 Ciclo I desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo puro (promedio)	1375.32	1,204.15	1203.29	14.22	0.07
Suelo + 18% cemento	2113.83	1934.31	1933.34	9.28	0.05
Suelo + 16% cemento	2077.31	1895.11	1893.54	9.61	0.08
Suelo + 12% cemento	2098.31	1923.6	1921.91	9.08	0.09
Suelo + 20% Cloruro de Sodio	1022.49	918.08	917.82	11.37	0.03
Suelo + 10% Cloruro de Sodio	951.44	851.48	847.21	11.74	0.50
Suelo + 5% Cloruro de Sodio	1168.36	1067.44	1065.53	9.45	0.18
Suelo + 2% Cloruro de Sodio	1250.59	1115.17	1110.21	12.14	0.45
Suelo + 6% melaza de caña	1695.9	1616.23	1615.11	4.93	0.07
Suelo + 4% melaza de caña	1798.8	1722.46	1721	4.43	0.08
Suelo + 2% melaza de caña	1866.1	1694.75	1690.1	10.11	0.28
Suelo + 6% Cloruro de calcio	1895.47	1721.91	1719.05	10.08	0.17
Suelo + 4% Cloruro de calcio	1575.06	1439.15	1438.2	9.44	0.07
Suelo + 1% Cloruro de calcio	1837.62	1684.95	1682.65	9.06	0.14

Tabla 36 Ciclo II desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo puro (promedio)	568.3	480.44	473.57	18.29	1.45
Suelo + 18% cemento	2111.56	2068.41	1933.22	2.09	6.99
Suelo + 16% cemento	2076.79	1892.88	1891.64	9.72	0.07
Suelo + 12% cemento	2097.82	1920.76	1919.35	9.22	0.07
Suelo + 20% Cloruro de Sodio	161.3	142.8	141.83	12.96	0.68
Suelo + 10% Cloruro de Sodio	400.9	333.88	332.96	20.07	0.28
Suelo + 5% Cloruro de Sodio	382.74	284.54	282.99	34.51	0.55
Suelo + 2% Cloruro de Sodio	652.4	571.48	570.02	14.16	0.26
Suelo + 6% melaza de caña	1693.3	1589.86	1585.92	6.51	0.25
Suelo + 4% melaza de caña	1729.94	1665.47	1660.83	3.87	0.28
Suelo + 2% melaza de caña	1738.23	1637.3	1633.2	6.16	0.25
Suelo + 6% Cloruro de calcio	881.2	838.8	836.17	5.05	0.31
Suelo + 4% Cloruro de calcio	987.6	929.82	925.64	6.21	0.45
Suelo + 1% Cloruro de calcio	1482.1	1390.83	1379.46	6.56	0.82

Tabla 37 Ciclo III desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo puro (promedio)	258.8	79.25	64.45	226.56	22.96
Suelo + 18% cemento	2068.41	1933.12	1932.21	7.00	0.05
Suelo + 16% cemento	2041.23	1892.44	1891.86	7.86	0.03
Suelo + 12% cemento	2082.71	1918.9	1918.9	8.54	0.00
Suelo + 20% Cloruro de Sodio	-	-	-	-	-
Suelo + 10% Cloruro de Sodio	-	-	-	-	-
Suelo + 5% Cloruro de Sodio	-	-	-	-	-
Suelo + 2% Cloruro de Sodio	345.6	156.2	146.71	121.25	6.47
Suelo + 6% melaza de caña	1668.87	1565.3	1564.4	6.62	0.06
Suelo + 4% melaza de caña	1691.5	1603.9	1598.4	5.46	0.34
Suelo + 2% melaza de caña	1710.2	1595.8	1583.36	7.17	0.79
Suelo + 6% Cloruro de calcio	239.54	220.2	220.1	8.78	0.05
Suelo + 4% Cloruro de calcio	422.6	397.3	397.1	6.37	0.05
Suelo + 1% Cloruro de calcio	1306.57	1229.7	1227.3	6.25	0.20

Tabla 38 Ciclo IV desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo puro (promedio)	-	-	-	-	-
Suelo + 18% cemento	2058.4	1933.8 9	1932.11	6.44	0.09
Suelo + 16% cemento	2037.4	1891.9 8	1891.07	7.69	0.05
Suelo + 12% cemento	2077.2	1918.8 5	1916.75	8.25	0.11
Suelo + 2% Cloruro de Sodio	-	-	-		
Suelo + 6% melaza de caña	1677.3	1552.0 3	1547.57	8.07	0.29
Suelo + 4% melaza de caña	1664.22	1558.8 4	1545.15	6.76	0.89
Suelo + 2% melaza de caña	1682.69	1570.3 1	1553.74	7.16	1.07
Suelo + 6% Cloruro de calcio	-	-	-		
Suelo + 4% Cloruro de calcio	198.1	183.57	182	7.92	0.86
Suelo + 1% Cloruro de calcio	1180	1110.5 3	1104.15	6.26	0.58

Tabla 39 Ciclo V desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo + 18% cemento	2057.1	1931.7	1931.6	6.49	0.01
Suelo + 16% cemento	2038	1890.6	1890.6	7.80	0.00
Suelo + 12% cemento	2083.3	1916.1	1915.9	8.73	0.01
Suelo + 6% melaza de caña	1656.07	1543.7	1539.97	7.28	0.24
Suelo + 4% melaza de caña	1636.01	1536.5 3	1525.94	6.47	0.69
Suelo + 2% melaza de caña	1653.01	1548.7 6	1544.08	6.73	0.30
Suelo + 4% Cloruro de calcio	60	54.64	54.26	9.81	0.70
Suelo + 1% Cloruro de calcio	1067.64	1002.3 2	995.6	6.52	0.67

Tabla 40 Ciclo VI desgaste y absorción

Probeta	Peso inicial húmedo	Peso Seco	Peso Seco cepillado	Grado de absorción %	Material Disgregado %
Suelo + 18% cemento	2052.93	1931.7	1931.6	6.28	0.01
Suelo + 16% cemento	2037.35	1890.6	1890.5	7.76	0.01
Suelo + 12% cemento	2082.65	1916.1	1915.9	8.69	0.01
Suelo + 6% melaza de caña	1630.15	1539.97	1537.36	5.86	0.17
Suelo + 4% melaza de caña	1618.2	1518.72	1507.22	6.55	0.76
Suelo + 2% melaza de caña	1622.25	1548.76	1544.08	4.75	0.30
Suelo + 4% Cloruro de calcio	14.03	12.86	11.16	9.10	15.23
Suelo + 1% Cloruro de calcio	985.8	934.37	928.42	5.50	0.64

Anexo 3 Asesoramiento técnico

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO


NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

Tabla 41 Asesoramiento semana 1

NOMBRES	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		Nº: <u> 1 </u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Presentación de muestra de suelo y aprobación por parte de asesor temático	
2.	Cuarteo y tamizado de muestra sacada	
3.	Realización pruebas de granulometría y contenido de humedad	
 FIRMA DEL ASESOR SEIO		Fecha: <u>01/02/23</u>


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular
 INTEGRANTES:

Tabla 42 Asesoramiento semana 2

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		Nº: <u> 2 </u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de pruebas de Limites de Atterberg para suelo puro.	
2.	Realización de ensayo de Proctor estándar.	
3.	Requerimiento de sacado de muestra de contenido de humedad.	
4.	Realización de muestra de contenido de humedad.	
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR SEIO		Fecha: <u>07/02/23</u>


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular
 INTEGRANTES:

Tabla 43 Asesoramiento semana 3

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u> 3 </u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de probetas con ensayo Proctor con mezcla suelo-cemento.	
2.	Realización de 2 probetas de suelo-cemento 18%.	
3.	Realización de 2 probetas de suelo-cemento 16%.	
4.	Realización de 2 probetas de suelo-cemento 12%.	
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>13/02/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular
 INTEGRANTES:

Tabla 44 Asesoramiento semana 4

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>4</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de probetas con ensayo Proctor con mezcla suelo-cloruro de sodio.	
2	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de sodio 2%.	
3	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de sodio 5%.	
4	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de sodio 10%.	
5	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de sodio 20%.	
6		
7		
8		
9		
10		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>14/02/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular
 INTEGRANTES:

Tabla 45 Asesoramiento semana 5

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>5</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Inicio pruebas de probetas desgaste y a compresión con cemento y cloruro de sal.	
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>20/02/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
André Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>6</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de probetas con ensayo Proctor con mezcla suelo-cloruro de calcio.	
2	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de calcio 1%.	
3	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de calcio 4%.	
4	Realización de 2 probetas de suelo-cloruro de sodio 6%.	
5		
6		
7		
8		
9		
10		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>23/02/23</u>
SEIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>7</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de probetas con ensayo Proctor con mezcla suelo-melaza de caña.	
2	Realización de 2 probetas de suelo-melaza de caña 2%.	
3	Realización de 2 probetas de suelo-melaza de caña 4%.	
4	Realización de 2 probetas de suelo-melaza de caña 6%.	
5		
6		
7		
8		
9		
10		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>24/02/23</u>
SEIO		

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

Tabla 46 Asesoramiento semana 6

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		Nº: <u>8</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Inicio pruebas de probetas desgaste y a compresión con cloruro de calcio y melaza de caña.	
2.		
3.		
4.		
6.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>25/02/23</u>

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO


NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

Tabla 47 Asesoramiento semana 8

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>8</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de ensayo de Límites de Atterberg con porcentajes óptimos.	
2.	_____	
3.	_____	
4.	_____	
5.	_____	
6.	_____	
7.	_____	
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>05/03/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
Andréé Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>9</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de ensayo Proctor con los porcentajes que se comportaron de mejor manera de el cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña.	
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>06/03/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular INTEGRANTES:

Tabla 48 Asesoramiento semana 9

NOMBRE	CUENTA
André Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>10</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Realización de ensayo Proctor con los porcentajes que se comportaron de mejor manera de el cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña.	
2.	Realización de Contenido de humedad de cada porcentaje optimo.	
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>11/03/23</u>
SEIO		

ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO


NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

Tabla 49 Asesoramiento semana 10

NOMBRE	CUENTA
André Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>11</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Ensayo de Permeabilidad con la mezcla con los porcentajes óptimos de cemento, cloruro de sodio, cloruro de calcio y melaza de caña.	
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		Fecha: <u>15/03/23</u>
SEIIO		


ACTA DE ASESORAMIENTO TÉCNICO

NOMBRE DEL PROYECTO:

Alternativas de estabilización de suelos para caminos de terracería de material granular

INTEGRANTES:

NOMBRE	CUENTA
André Zelaya Ramírez	11741364
Jorge Arturo Lemus Ponce	11811128

ASESORAMIENTO		N°: <u>16</u>
ASESOR: Ing. Juan Carlos Reyes Zúniga		
1.	Revisión de resultados y análisis de investigación.	
2.		
3.		
4.		
5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
 FIRMA DEL ASESOR		SEIIO Fecha: <u>23/03/23</u>