

ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DEL MATERIAL NATURAL EXISTENTE DE
LAS CALLES MARGINALES 9 Y 8 PARALELAS A LA AVENIDA MARACOS,
INTERCEPCIÓN ANILLO VIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META, CON
POLIESTIRENO EXPANDIDO TRITURADO RECICLADO PARA SU UTILIZACIÓN EN
LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.



Por:

William Enrique Herrera Zarta



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

ANÁLISIS DE LA MODIFICACIÓN DEL MATERIAL NATURAL EXISTENTE DE
LAS CALLES MARGINALES 9 Y 8 PARALELAS A LA AVENIDA MARACOS,
INTERCEPCIÓN ANILLO VIAL EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO-META, CON
POLIESTIRENO EXPANDIDO TRITURADO RECICLADO PARA SU UTILIZACIÓN EN
LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.



Por:

William Enrique Herrera Zarta

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de ingeniero
civil

Aprobado por:

Director: Ing. Andrés Fabricio Mosquera Flórez

Co-director: Ing. Jessica María Ramírez Cuello

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO

2021

Autoridades académicas

P. José Gabriel Mesa Angulo, O.P

Rector General

P. Mauricio Antonio Cortés Gallego, O.P

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P. Rodrigo García jara, O.P

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Julieth Andrea Sierra Tobón-general

Secretaria de División Sede Villavicencio

Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Facultad de Ingeniería Civil

Tabla de contenido

Resumen.....	11
Abstract	12
1. Introducción.....	13
2. Descripción del problema.....	14
3. Formulación del problema.....	15
4. Justificación	16
5. Objetivos.....	17
5.1. Objetivo general	17
5.2. Objetivos específicos.....	17
6. Marco de referencia	18
6.1. Marco teórico	18
6.1.1. Estudios geotécnicos	18
6.1.2. Compactación	24
6.1.3. Ensayo de california bearing ratio (CBR).....	27
6.1.4. Pavimentos	30
6.1.5. Estabilización de suelos	35
6.2. Marco Normativo	37
6.3. Marco geográfico	38
6.3.1. Localización.....	38
6.4. Estado del arte	39
6.4.1. Poliestireno expandido.....	39
6.4.2. Reciclaje del poliestireno expandido	39
6.4.3. Comportamiento con el agua	40
6.5. Estudios similares.....	40
7. Metodología	46
7.1. Tipo y nivel de la investigación	46
7.2. Población y muestra	46
7.3. Descripción de etapas y tareas	46

8.	Desarrollo y resultados	48
8.1.	Análisis granulométrico	48
8.1.1.	Procedimiento del ensayo granulometría.....	49
8.2.	Análisis de humedad y límites	54
8.2.1.	Procedimiento del ensayo de humedad.....	54
8.2.2.	Procedimiento del ensayo de límites líquido	56
8.2.3.	Procedimiento del ensayo limite plástico	59
8.2.4.	Índice plasticidad	61
8.3.	Análisis de materia orgánica	61
8.3.1.	Procedimiento del ensayo de materia orgánica.....	62
8.4.	Análisis de compactación.....	64
8.4.1.	Procedimiento ensayo de compactación.	64
8.5.	Análisis de CBR	68
	con el ensayo de compactación previamente hecho se prosiguió con el último ensayo que	68
	dio las conclusiones de la investigación.	68
8.5.1.	Procedimiento ensayo de CBR	68
8.6.	Análisis económico	75
8.7.	Criterios para la estabilización con PET reciclado.....	77
9.	Diseño de pavimento.....	78
9.1.	Alternativa PCA con el suelo natural	78
9.2.	Alternativa PCA con el suelo modificado al 50% de PET.....	79
9.3.	Alternativa INVIAS	81
10.	Presupuesto	84
10.1.	Modelo de la vía	85
11.	Conclusiones	86
12.	Referencias.....	88

Lista de figuras

Figura 1 Límites de tamaño de suelos separados.....	19
Figura 2 Curvas de distribución del tamaño de partículas.....	20
Figura 3 Límites de Atterberg.....	21
Figura 4 Sistema unificado de clasificación de suelo	23
Figura 5 Equipo para la prueba de Proctor estándar	25
Figura 6 Resultados de la prueba de compactación Proctor estándar para arcilla limosa	27
Figura 7 Elementos para determinar el CBR	28
Figura 8 Curvas de penetración vs esfuerzo	29
Figura 9 Moldes en inmersión	29
Figura 10 Estructura típica de pavimento flexible.....	31
Figura 11 Estructura típica de pavimento flexible.....	33
Figura 12 Estructura de pavimento articulado	34
Figura 13 Tipos de estabilización del suelo.....	36
Figura 14 Mapa de Colombia-departamento Meta	38
Figura 15 Calles 8 y 9	38
Figura 16 Molde para la compactación.....	41
Figura 17 Secuencia de impactos.....	42
Figura 18 Espécimen con 0% de perlas	42
Figura 19 Espécimen con 25% de perlas	43
Figura 20 Espécimen con 75% de perlas	44
Figura 21 Apique	48
Figura 22 proceso de maceración de la muestra	49
Figura 23 Máquina vibradora para el proceso de tamizado	50
Figura 24 Muestra roja a través de los tamices.....	50
Figura 25 Curva granulométrica muestra roja	51
Figura 26 Curva granulométrica muestra negra No2.....	53
Figura 27 Muestra húmeda y seca + recipiente Respectivamente	55
Figura 28 Mezcla del material + agua destilada	56
Figura 29 Cazuela con abertura	56
Figura 30 Muestras húmeda a 17,26 y 32 golpes respectivamente.....	57
Figura 31 Muestras secas a 17,26 y 32 golpes respectivamente.....	57

Figura 32 Grafica contenido de humedad vs # de golpes	58
Figura 33 Muestra humeda-2 para 17 y 26 golpes respectivamente.....	60
Figura 34 Muestra seca-2 para 17,26 y 32 golpes respectivamente	60
Figura 35 Mufla	62
Figura 36 Masa del crisol para muestra negra y roja respectivamente	62
Figura 37 Masa del crisol + suelo seco antes de la ignición para muestra negra y roja respectivamente.....	63
Figura 38 Masa del crisol + suelo seco después de la ignición para muestra negra y roja respectivamente.....	63
Figura 39 Muestra del suelo tamizado	64
Figura 40 Peso del molde.....	65
Figura 41 Procedimiento de la compactación	65
Figura 39 Masa molde + suelo húmedo compactado al 3%,6%,13% y 18% respectivamente	66
Figura 43 Curva de compactación	67
Figura 44 Poliestireno expandido	68
Figura 45 Muestra de suelo para elaborar especímenes.....	69
Figura 46 Peso del molde y peso del molde más suelo compactado después de la inmersión	69
Figura 47 Sobrecarga mínima para la inmersión	70
Figura 48 Espécimen 0% de pet sumergido con deformímetro	70
Figura 49 Equipo de penetración Humboldt 5030	71
Figura 50 Espécimen 1, después de la prueba de penetración	71
Figura 51 Muestra de suelo y pet necesarios para la elaboración del 2° espécimen	72
Figura 52 Peso del molde + suelo pet, compactado después de la inmersión	72
Figura 53 Primer y ultima lectura de expansión	73
Figura 54 <i>Suelo al 50% pet compactado después de la inmersión.</i>	73
Figura 55 Curvas penetración vs esfuerzo para los tres especímenes propuestos	74
Figura 56 Modelo estructural alternativa 1	79
Figura 57 Datos de entrada para diseño alternativa 2	80
Figura 58 Modelo estructura alternativa 2	81
Figura 59 Modelo estructural alternativa INVIAS	83
Figura 60 Presupuesto de las 3 alternativas	84
Figura 61 Modelado de calle 8.....	85

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen general de los procedimientos de compactación por impactos sin y con EPS para las energías de compactación.....	44
Tabla 2 Desarrollo de los objetivos	47
Tabla 3 Gradación muestra No. 1 roja	51
Tabla 4 Clasificación de la muestra roja.....	52
Tabla 5 Clasificación de la muestra Roja AASHTO	52
Tabla 6 Gradación muestra No. 2 negra.	53
Tabla 7 Clasificación de la muestra No.2 SUCS	54
Tabla 8 Contenido de humedad (%)	55
Tabla 9 Muestra roja limite liquido	58
Tabla 10 Regresión lineal limite líquido.....	59
Tabla 11 Muestra roja limite plástico	61
Tabla 12 Índice de plasticidad	61
Tabla 13 Cálculos para cantidad de materia orgánica	64
Tabla 14 Contenido de humedad corregido.....	67
Tabla 15 Contenido de humedad óptimo.	68
Tabla 16 Porcentajes de CBR para una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas.....	74
Tabla 17 % de hinchamiento.....	75
Tabla 18 precios de los materiales por m3.....	76
Tabla 19 cantidad de material usado para un m3 de suelo	76
Tabla 20 <i>precios de los diferentes métodos de mejoramiento</i>	76
Tabla 21 Datos de entrada para diseño PCA alternativa 1.....	78
Tabla 22 Tipos de subrasante.....	81
Tabla 23 Categoría de tránsito	82
Tabla 24 Tipo de módulo de rotura.....	82
Tabla 25 Espesores de losa de concreto en cm, para Trafico de T2	83

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Índice de plasticidad.....	21
Ecuación 2 Límite de contracción.....	21
Ecuación 3 Contenido de humedad.....	22
Ecuación 4 Cambio de diferencia de humedad.....	22
Ecuación 5 Límite de contracción desglosada.....	22
Ecuación 6 Densidad húmeda.....	24
Ecuación 7 Densidad.....	25
Ecuación 8 Peso unitario seco.....	25
Ecuación 9 Peso unitario con cero vacíos de aire.....	26

Glosario

A

Aluviales

suelos aluviales son suelos de origen fluvial, poco evolucionados, aunque profundos. Aparecen en las vegas de los principales ríos. · 11

C

Capacidades portantes

capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. · 8

CBR

California Bearing Ratio es una prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo. · 12

Cohesiva

El suelo cohesivo contiene pequeñas partículas y suficiente arcilla para que el suelo se adhiera a sí mismo. · 16

Coluviales

Materiales sueltos depositados en las depresiones de las montañas y partes bajas de las laderas como resultado de la erosión de las partes altas. · 11

Compresibles

suelos con alta capacidad de ser comprimido. · 12

Consolidación

proceso de reducción de volumen de los suelos finos cohesivos (arcillas y limos plásticos), provocado por la actuación de solicitaciones (cargas) sobre su masa y que ocurre en el transcurso de un tiempo generalmente largo.. · 11

Contenidos de humedad

El contenido de agua o humedad es la cantidad de agua contenida en un material, tal como el suelo, las rocas, la cerámica o la madera medida sobre la base de análisis volumétricos o gravimétricos. · 55

G

Geotécnica

también llamada mecánica de suelos, es la aplicación de métodos científicos y principios de ingeniería para la adquisición, interpretación y uso del conocimiento de los materiales de la corteza terrestre y los materiales de la tierra para la solución de problemas de ingeniería. · 14

P

Pavimentos

es una estructura vial que se constituye en diversas capas sobre la subrasante (suelo natural o de fundación) capaz de soportar las cargas del parque automotriz y los agentes climáticos. · 9

Poliestireno expandido

es un material plástico espumado, derivado del poliestireno. Tiene diversos usos tales como el producir envases. · 8

S

Subbase

Es un material granular grueso compuesto por triturados, arena y material grueso. Usos y aplicaciones se emplea como capa en la instalación de pavimentos asfálticos y de concreto. · 9

Subrasante

es un material plástico espumado, derivado del poliestireno. Tiene diversos usos tales como el producir envases. · 8

T

Tamíz

es un utensilio que se emplea para separar materiales de diferente grosor. · 43

Resumen

El poliestireno expandido (EPS) o como se le denomina en Colombia al “icopor”, es un material originalmente de plástico espumado que es derivado del poliestireno y el cual es usado en diversos campos. Esta investigación tiene como objetivo clarificar si, el uso de este material triturado y combinado en distintas proporciones con el suelo natural puede mejorar sus capacidades portantes y ser una alternativa más amigable con en términos económicos y ambientales, gracias a que la investigación se centra en EPS reciclado. para no recurrir al poliestireno de alta resistencia que usan normalmente en obras para terraplenes que poseen características específicas y por ende su costo es mayor.

Palabras claves: Mejoramiento, Pavimentos, Poliestireno expandido, Subrasante, Subbase, Medio Ambiente, Reciclaje.

Abstract

Expanded polystyrene (EPS) or as it is called in Colombia “styrofoam”, is a material originally made of foamed plastic that is derived from polystyrene and which is used in various fields. This research aims to clarify whether the use of this material crushed and combined in different proportions with the natural soil can improve its bearing capacities and be a more friendly alternative in economic and environmental terms, thanks to the fact that the research focuses on EPS recycling. in order not to resort to the high-resistance polystyrene that is normally used in embankment works that have specific characteristics and therefore their cost is higher.

Key Words : Optimization, Pavements, Expanded Polystyrene, Subgrade, Subbase, Environment, Recycling.

1. Introducción

Los suelos naturales que presentan baja capacidad portante como arcillas, arenas limosas etc. en condiciones saturadas, pueden ser compresibles, estos suelos se caracterizan por su elevada deformabilidad, dando a lugar a asentamientos de considerable magnitud, afectando las estructuras que se encuentran sobre ellos, provocando deformaciones en el pavimento, además estos suelos también pueden estar saturados (el agua ha llenado los poros despojando en su interior el aire). pueden verse en sitios húmedos y de gran precipitación, como los es Villavicencio, que cuenta aproximadamente con precipitaciones de 3500 mm en un año (IDEAM, 2020)

El proyecto está enfocado al análisis de suelo natural mediante la modificación con PET.

con el fin de comprobar si hay una mejora en el comportamiento mecánico del suelo y pueda implementarse en las estructuras de pavimentos, asimismo utilizarse en suelos que posean características similares a las de la investigación en vías secundarias, terciarias. que necesiten un mejoramiento del suelo sin recurrir a excesivos gastos económicos.

De esta forma, se realizó una investigación del suelo extraído y el poliestireno expandido triturado (PET), que se derivó en ensayos de laboratorio cuyos resultados y el análisis tanto técnico, como económico, financiero, ambiental terminaron con concluir el objeto de la investigación.

2. Descripción del problema

En Colombia existen varios tipos de mejoramientos de suelos que son empleados según las características de la subrasante. como, por ejemplo: emplear cemento, cal o recurrir a mezclas granulométricas para mejorar las capacidades portantes del suelo natural, con el fin de darle cumplimiento a la normatividad.

Los mejoramientos siempre con llevan un gasto económico considerable y más cuando el tramo en cuestión está en una ubicación geográficamente compleja, esto puede provocar un aumento en los costos respecto a movilidad del material y la maquinaria, en consecuencia, la sección de la carretera podría no cumplir con los estándares o saldría económicamente inviable, lo que nos lleva al problema de ¿por qué no hay otras alternativas de mejoramiento de suelo más económicas que puedan facilitar la ejecución de estos proyectos?

El usar compuestos como el poliestireno expandido en forma de bloque ayudo en gran parte la composición de terraplenes más rentables, de ese modo porque no investigar el comportamiento del suelo natural con el poliestireno, pero esta vez de forma triturada y mezclada en una proporción establecida, que pueda comprobar si la subrasante puede alcanzar los estándares de la normatividad, logrando así un mejoramiento mucho más económico y más amigable con el medio ambiente.

3. Formulación del problema

Las estructuras de pavimentos sobre suelos con depósitos coluviales o aluviales, poseen cantidades de arcillas y arenas considerables como en la ciudad de Villavicencio (Colombiano, 2020). pueden generar problemas geotécnicos, ya que pueden presentar asentamientos y/o hundimientos ya sean elásticos impuestos por las cargas de tránsito o por consolidación bastante considerables, Por lo tanto pueden ocasionar daños en la subrasante y se verán reflejadas en las demás capas, en consecuencia, la vía no cumpliría con su vida útil trayendo consigo gastos en reparaciones.

¿Por qué el uso del PET puede mejorar las condiciones del suelo y es económicamente más viable para un proyecto?

Las propiedades del PET pueden conseguir menores densidades y buenas resistencias que ciertos tipos de suelo natural, Actualmente se usa más como bloque, para construir terraplenes en vías nacionales, que requieren un volumen y peso menor que usando material natural compactado, por ende, al necesitar menos material proveniente de canteras se disminuyó los costos de envío y material a usar. Hace algunas décadas ciertos países han implementado el uso del poliestireno expandido, como Alemania, Bélgica, Canadá, EE. UU, Francia, etc. (Romo, 2009) para crear rellenos con pesos volumétricos bajos comparado con un suelo natural compactado.

En Colombia el uso de poliestireno expandido, Es relativamente novedoso, se ha usado como bloque en terraplenes, pero debe cumplir con los parámetros de la ASTM 578-92. la investigación trata de encontrar otros usos del poliestireno expandido, para que pueda ser implementado en el suelo en otra presentación.

Esta investigación tiene como objetivo analizar si el PET mezclado con el suelo natural de la zona, la cual fue elegida debido a que cerca de estas hay un terreno el cual se pueden hacer los apiques y extracción de las muestras, puede mejorar sus propiedades portantes, añadiendo este compuesto como una estabilización del suelo alternativa para alcanzar los CBR requeridos por el INVIAS (INVIAS, Afirmado, Bases y Subbases, 2014).

4. Justificación

Los profesionales dedicados al diseño de pavimentos en la región se encuentran con suelos de muy baja capacidad portante altamente compresibles, presentando deformaciones por consolidación o debido las diversas cargas aplicadas por el tránsito. (geologico, 2021)

El mejorar las condiciones de la subrasante con los métodos tradicionales presenta costos elevados y mayores tiempos de entrega del proyecto, debido a la distancia de los materiales requeridos para una estabilización efectiva, por lo que recurrir a geosintéticos como un nuevo método de estabilización in situ puede funcionar de manera exitosa.

Mezclando el suelo existente con PET en diferentes proporciones y evaluando por medio de ensayos su capacidad portante, densidades etc. Para conocer si se puede implementar como base granular, subbase granular o un mejoramiento de la subrasante.

¿Por qué no se ha planteado antes? La caracterización y comportamiento de los materiales como el PET para aplicarse a obras no llama mucha la atención por parte de los investigadores, el PET es utilizado, pero no se investigan otros usos de este mismo material en diferentes composiciones o estados que pueda que consigan resultados sobresalientes para el mejoramiento del suelo.

En la actualidad el reutilizar materiales es indispensable para cumplir con el ODS 12 (Objetivos del desarrollo sostenible) (ONU, 2020). En Villavicencio conseguir material reciclable que ayude a mejorar la subrasante es complicado, Por esa razón el comprobar un mejoramiento del suelo existente a base de PET y/o por medio de técnicas granulométricas o convencionales podría cambiar la mentalidad del municipio aumentando así la implementación de este compuesto y por ende la concientización de que el “ICOPOR” tiene usos importantes, como material reciclable.

Pero al final ¿Quiénes se benefician de esta investigación? Este proyecto está enfocado, a la búsqueda de nuevas formas de estabilizar suelos, De ser positivo los resultados de la investigación podría utilizarse la metodología para implementar esta mejora del suelo para zonas que tengan parámetros similares a las del proyecto.

5. Objetivos

5.1. Objetivo general

Analizar la modificación del material natural existente de las calles marginales 9 y 8 paralelas a la avenida maracos, intercepción anillo vial en la ciudad de Villavicencio-Meta, con poliestireno expandido triturado reciclado para mejorar sus propiedades portantes, para su utilización en la estructura de pavimento.

5.2. Objetivos específicos

- Analizar especímenes con mezcla de suelo-poliestireno expandido triturado reciclado con una energía de compactación y contenido de humedad previamente seleccionada a diferentes porcentajes de PET.
- Evaluar la funcionalidad del poliestireno expandido en suelo de estudio.
- Establecer criterios de diseño de pavimentos utilizando EPS como material de mejoramiento.

6. Marco de referencia

6.1. Marco teórico

6.1.1. Estudios geotécnicos

A la hora de evaluar los pavimentos existentes, la exploración de suelos y las pruebas de laboratorio de los diferentes materiales utilizados en la capa del pavimento juegan un papel muy importante porque aportan información muy valiosa a la hora de tomar decisiones sobre las condiciones. Estructura. Para obtener información geotécnica básica sobre las propiedades del suelo, se deben realizar pruebas de campo y de laboratorio para determinar su distribución y propiedades físicas. (Lina Monsalve, 2012)

El estudio de suelos debe incluir:

- Determinación del perfil del suelo: esto incluye perforar bajo tierra para determinar el número y la extensión de los diferentes tipos de suelo, la forma en que está organizado en capas y la determinación lógica del agua subterránea. La ubicación, profundidad y número de perforaciones debe poder determinar cualquier cambio significativo en la cantidad de suelo.
- Muestreo de diferentes capas de suelo: para cada perforación se deben recolectar muestras representativas de las diferentes capas encontradas. Las muestras pueden ser de dos tipos, a saber, modificadas y sin modificaciones.

En carretera, se recomienda perforar un pozo dentro de una distancia de 200 a 250m. Considerando que el material de un corte comúnmente existente es similar, la muestra obtenida se utilizará para determinar la naturaleza y clasificación del material extraído a través de lo siguiente pruebas:

- Humedad natural.
- Granulometría.
- Límites de consistencia.

Tamaño de las partículas del suelo. El tamaño de las partículas que componen el suelo varía en un amplio rango. Según el tamaño principal de las partículas, el suelo suele denominarse grava, arena, limo o arcilla. La Tabla 1 enumera los límites de tamaño de partículas de suelo individuales establecidos por el Instituto de Tecnología de Massachusetts y la Asociación de Oficiales Estatales de Carreteras y Transporte.

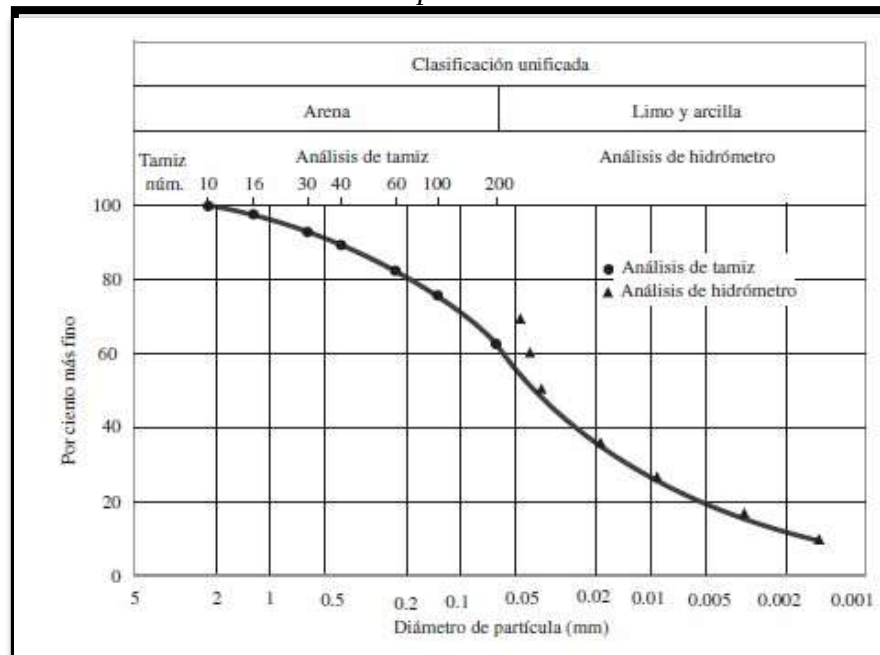
Figura 1 Límites de tamaño de suelos separados

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

Nota: Adaptado de (Das, 2013)

Curva granulométrica. El resultado del análisis mecánico generalmente se expresa como una curva de distribución del tamaño de partícula en forma de gráfico semilogarítmico. El diámetro de las partículas se representa en una escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de polvo fino se representa en una escala aritmética.

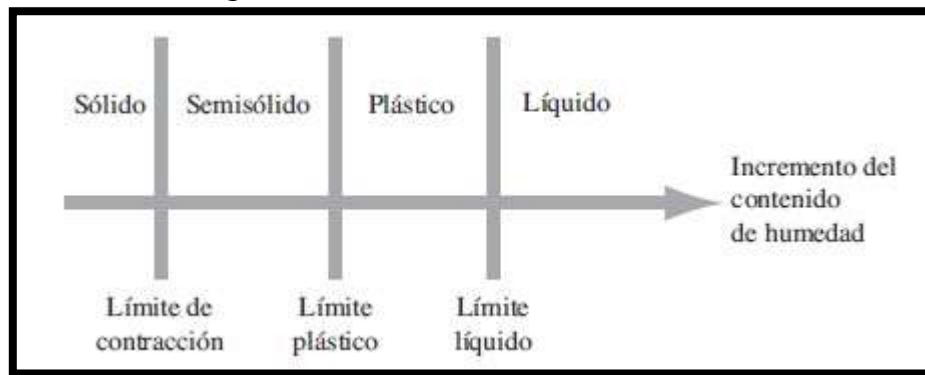
Figura 2 Curvas de distribución del tamaño de partículas



Nota: Adaptado de (Das, 2013)

Consistencia del suelo. Cuando los minerales de arcilla están presentes en el suelo de grano fino, el suelo se puede remover en presencia de algo de humedad sin que se desmorone. Esta naturaleza cohesiva se debe al agua adsorbida que rodea a las partículas de arcilla. En 1900, un científico sueco llamado Albert Mauritz Atterberg desarrolló un método para describir la consistencia de los suelos de grano fino con diferentes contenidos de humedad. Con un contenido de humedad muy bajo, el suelo se comporta más como un sólido quebradizo. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el suelo y el agua pueden fluir como un líquido. Por lo tanto, sobre una base arbitraria, dependiendo del contenido de humedad, la naturaleza del comportamiento del suelo puede ser dividido en cuatro estados básicos: sólido, semisólido, plástico y líquido.

Figura 3 Límites de Atterberg



Nota: Adaptado de (Das, 2013)

Límite líquido (LL). Se define como el contenido de agua de un suelo fino, para el cual su resistencia al corte es aproximadamente de 25g/cm².

Límite plástico (PL). Se define como el contenido de agua en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2mm de diámetro se desmorona. Es el límite inferior de la etapa plástica del suelo.

$$PI = LL - PL$$

Ecuación 1 Índice de plasticidad.

Límite de contracción (SL). La masa de suelo se contrae conforme se pierde gradualmente el agua del suelo. Con una pérdida continua de agua, se alcanza una etapa de equilibrio en la que más pérdida de agua conducirá a que no haya cambio de volumen.

$$SL = w_i(\%) - \Delta w(\%)$$

Ecuación 2 Límite de contracción.

w_i: Contenido de humedad inicial cuando se coloca el suelo en el plato del límite de contracción

Δw: Cambio en el contenido de humedad (es decir, entre el contenido de humedad inicial y el contenido de humedad en el límite de contracción)

$$w_i(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100$$

Ecuación 3 Contenido de humedad

M1: masa de la porción de suelo mojado en el plato al inicio de la prueba (g) **M2:** masa de la porción de suelo seco (g)

$$\Delta w(\%) = \frac{(v_i - v_f)p_w}{m_2} \times 100$$

Ecuación 4 Cambio de diferencia de humedad.

Vi: volumen inicial de la porción de suelo húmedo (es decir, volumen en el interior del plato, cm³)

Vf: volumen de la porción de suelo de suelo secada en el horno (cm³)

Pw: densidad del agua (g/cm³)

$$SL = \left(\frac{m_1 - m_2}{m_2} \right) (100) - \left[\frac{(v_i - v_f)p_w}{m_2} \right] (100)$$

Ecuación 5 Límite de contracción desglosada.

Clasificación del suelo. Los suelos con propiedades similares se dividen en grupos y subgrupos de acuerdo con su comportamiento de ingeniería. El sistema de clasificación proporciona un lenguaje universal para expresar de manera concisa las características generales del suelo, que pueden variar infinitamente sin una descripción detallada. En la actualidad, los ingenieros de suelos suelen utilizar dos sistemas de clasificación que utilizan el tamaño de partículas del suelo y la distribución de la plasticidad: el sistema de clasificación AASHTO y el sistema de clasificación de suelos unificado. Los ingenieros geotécnicos generalmente prefieren un sistema unificado.

Sistema unificado de clasificación de suelos. La forma original del sistema fue propuesta por Casagrande en 1942 para su uso en aeródromos construidos por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército durante la Segunda Guerra Mundial. La siguiente tabla proporciona un sistema de clasificación unificado; los suelos se dividen en dos categorías:

1. La proporción de suelo de grano grueso, grava o arenoso que atraviesa la malla No. 200 es inferior al 50%. El símbolo de grupo comienza con el prefijo G o S. G significa grava o suelo de grava y S significa arena o suelo arenoso.

2. Suelo de grano fino, donde el 50% o más del suelo pasa a través de la pantalla No20. El símbolo del grupo comienza con el prefijo M., que significa limo inorgánico, yc significa arcilla inorgánica o arcilla y limo orgánicos. El símbolo pt se utiliza para turba, barro y otros suelos altamente orgánicos.

Otros símbolos son también usados para la clasificación:

- **W:** Bien graduado
- **P:** Mal graduado
- **L:** Baja plasticidad (limite liquido menor que 50)
- **H:** Alta plasticidad (limite liquido mayor que 50)

Figura 4 Sistema unificado de clasificación de suelo

Tabla 4.2 Sistema unificado de clasificación de suelo (basado en el material que pasa por el tamiz núm. 75)				Símbolos de grupo
Criterio para la asignación de símbolos de grupo				
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
	Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
		Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Arenas	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
	50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Menos de 5% finos ^a	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200		Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
		Más de 12% finos ^{a,e}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
	Limos y arcillas	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^f	CL
	Límite líquido menor que 50	Orgánico	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^f	ML
			Límite líquido: secado	
			Límite líquido: no secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL	OL
Suelos altamente orgánicos	Limos y arcillas	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	CH
	Límite líquido	Orgánico	Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	MH
	50 o más		Límite líquido: secado	
			Límite líquido: no secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH	OH
Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

$$^c C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Nota: Adaptado de(Das, 2013)

6.1.2. Compactación

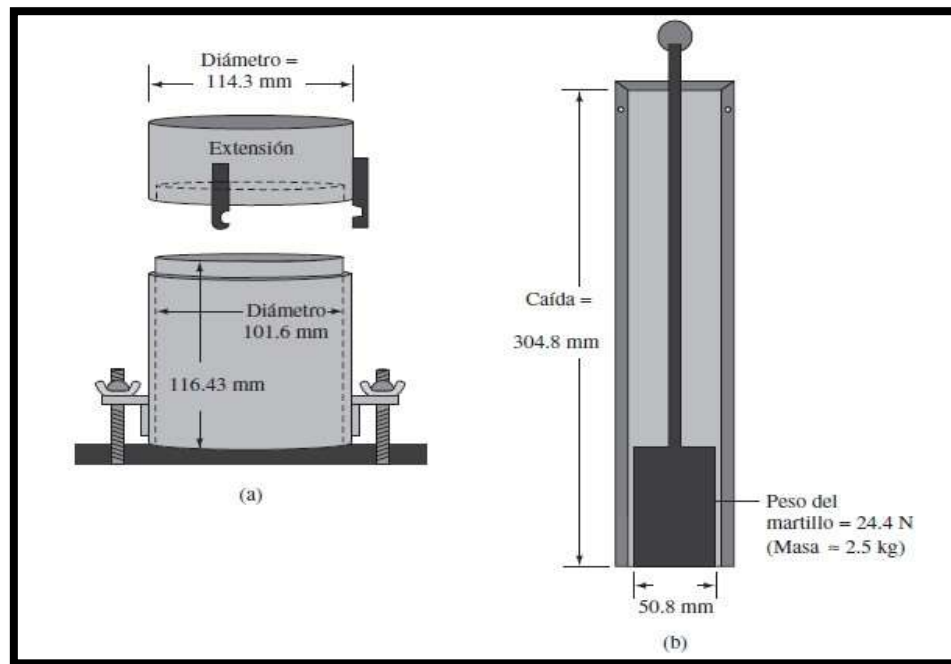
Generalmente, la compactación es la consolidación del suelo al eliminar el aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación del suelo se mide en base al peso unitario seco del suelo. Cuando se agrega agua al suelo durante el proceso de compactación, el agua actúa como ablandador de las partículas del suelo. Se deslizaron uno al lado del otro y se trasladaron a posiciones densamente pobladas. El peso unitario seco después de la compactación aumenta primero a medida que aumenta el contenido de humedad. Tenga en cuenta que cuando el contenido de humedad $w = 0$, la unidad de peso húmedo (g) es igual a la unidad de peso seco (gd),

$$\gamma = \gamma_d(w = 0) = \gamma_1$$

Ecuación 6 Densidad húmeda.

Prueba de Proctor Estándar. En la prueba de Proctor, el suelo se compacta en un molde con un volumen de 943,3 cm³. El diámetro del molde es de 101,6 mm. En la prueba de laboratorio, el molde se fijó en la placa inferior en la parte inferior. En la placa de extensión en la parte superior, el suelo se mezcló con diferentes cantidades de agua y luego se compactó en tres partes iguales con un martillo, 25 veces. por capa. El martillo pesa 24,4 N.

Figura 5 Equipo para la prueba de Proctor estándar



Nota: Adaptado de (Das, 2013)

(masa = 2.5kg) y tiene una caída de 304.8mm. para cada prueba, el peso unitario húmedo de compactación γ se puede calcular como

$$\gamma = W / V(m)$$

Ecuación 7 Densidad

donde

W_v = pesos del suelo compactado en el molde

$V(m)$ = volumen del molde (=943.3cm³)

Para cada prueba, el contenido de humedad del suelo compactado es determinado en el laboratorio. Si se conoce el contenido de humedad, el peso unitario seco γ_d puede calcularse como

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \frac{w \%}{100}}$$

Ecuación 8 Peso unitario seco.

Donde:

w (%) = porcentaje de contenido de humedad.

El valor de γ_d se determina mediante la ecuación (8) y se puede representar como una función, El contenido de humedad correspondiente para obtener el peso unitario seco máximo y El contenido de humedad óptimo del suelo.

La figura (6) muestra un ejemplo de compresión Para arcilla limosa. El procedimiento de prueba estándar de Proctor se describe en ASTM D-698 y Estándar AASHTO T-99. Para un contenido de humedad dado, obtenga el peso unitario seco máximo Teóricamente, cuando no hay aire en la vacante, es decir, cuando la saturación es igual Al 100%. Por lo tanto, el peso unitario seco máximo a un contenido de humedad dado Cero poros, puede verse como:

$$\gamma_{cva} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e}$$

Ecuación 9 Peso unitario con cero vacíos de aire.

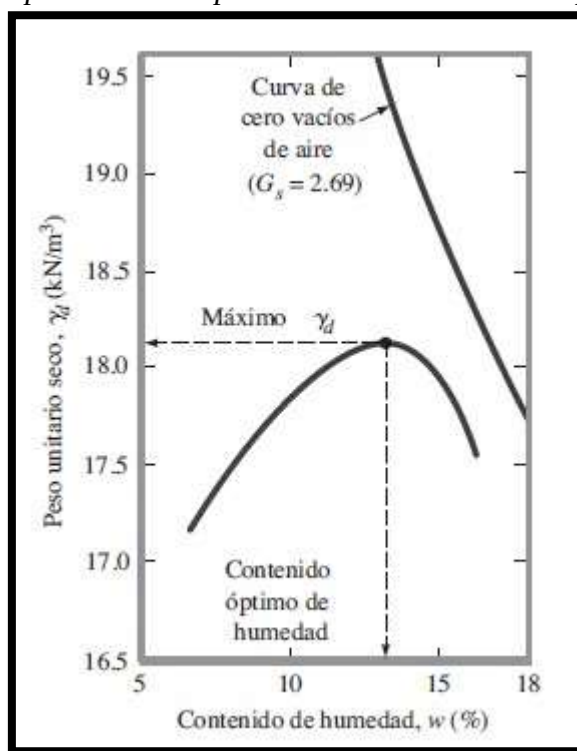
Donde:

γ_{cva} = peso unitario con cero vacíos de aire

γ_w = peso unitario de agua e = radio del hueco

G_s = peso específico de sólidos del suelo

Figura 6 Resultados de la prueba de compactación Proctor estándar para arcilla limosa



Nota: Adaptado de (Das, 2013)

6.1.3. Ensayo de califonia bearing ratio (CBR)

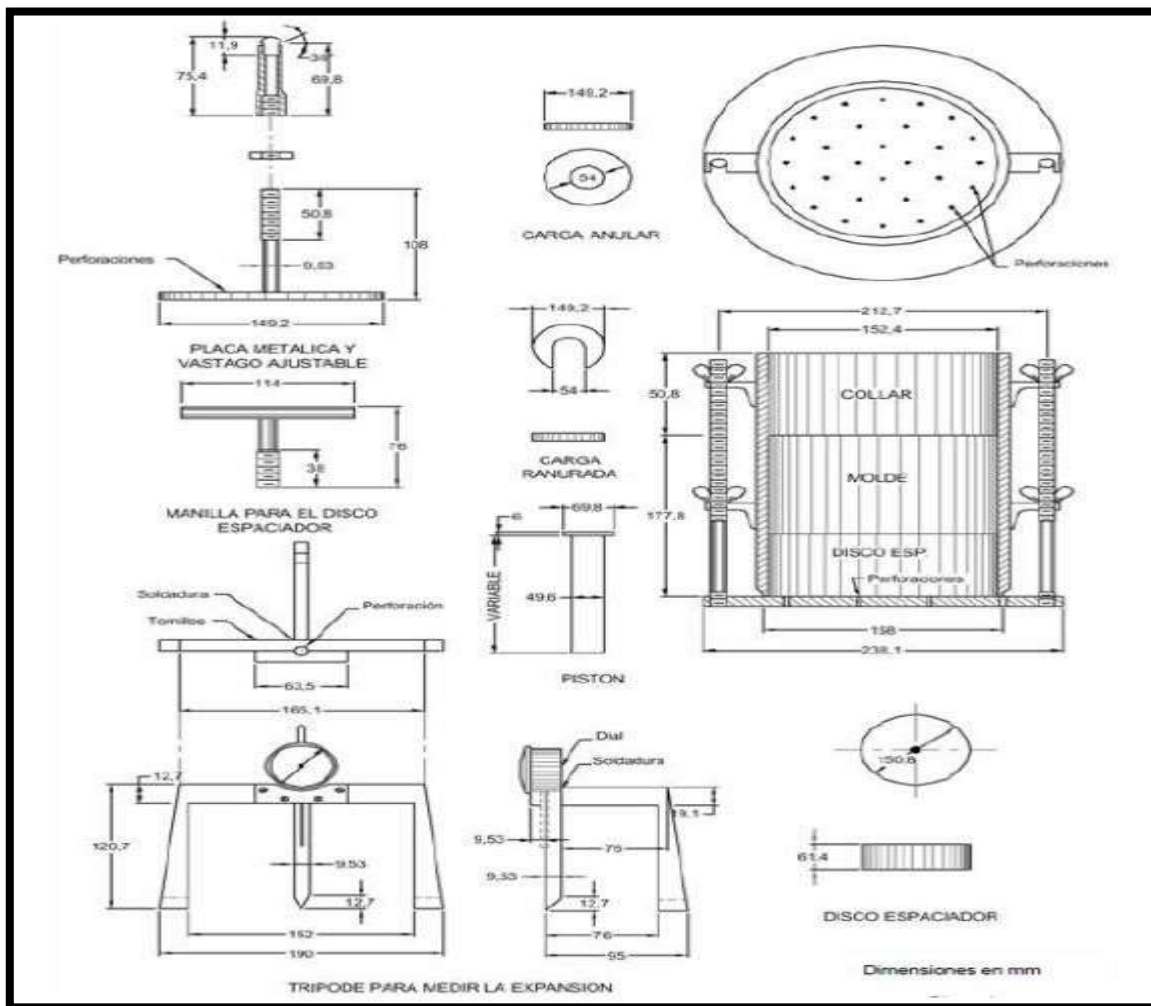
Esta norma describe el procedimiento de prueba para determinar el índice de resistencia de la subrasante, subrasante y suelo de cimentación, llamado CBR (California Bearing Ratio). Este método de prueba está diseñado (pero no limitado a) para evaluar la resistencia eléctrica de materiales con un tamaño máximo de partícula de menos de 19 mm (3/4).

El ensayo se suele realizar sobre muestras de suelo preparadas en laboratorio en determinadas condiciones de humedad y densidad. El peso unitario seco de la muestra suele corresponder al porcentaje del peso unitario seco máximo obtenido en la prueba de compactación normal (INV E-141) o la prueba modificada (INV E-142); además, también se puede utilizar de manera similar desde el suelo Una muestra no perturbada recolectada. (INVIAS, 2013)

La prueba CBR se utiliza para el diseño de pavimentos. En la prueba, un pistón circular penetra en la muestra de suelo a una velocidad constante. CBR se expresa como la relación porcentual entre la fuerza requerida para que el pistón penetre 2.54 o 5.08 mm en la muestra de

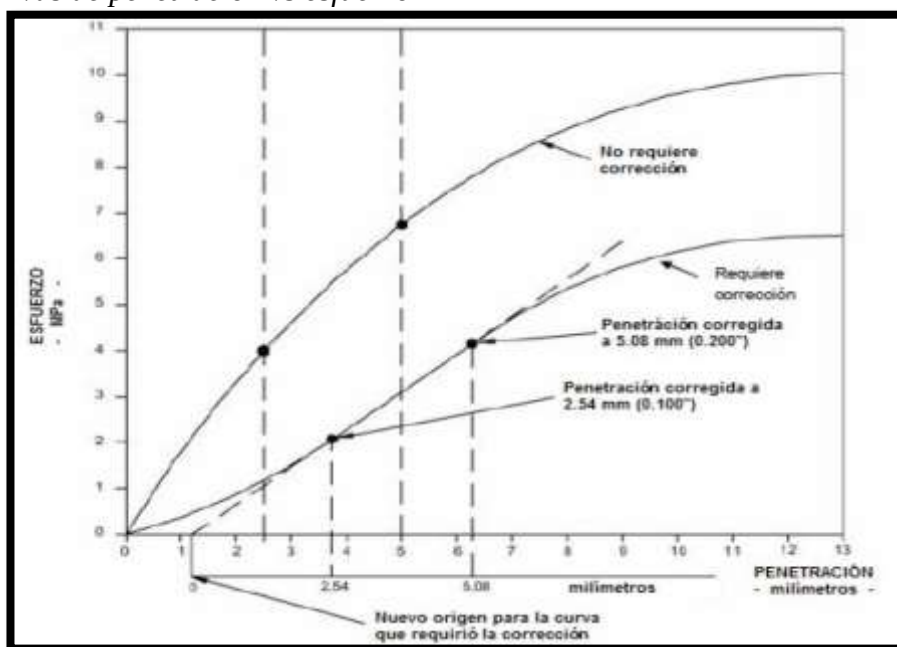
prueba y la fuerza requerida para penetrar una muestra de grava estándar con un buen gradiente a la misma profundidad.

Figura 7 Elementos para determinar el CBR



Nota: Adaptado de (INVIAS, 2014)

La presión ejercida por el pistón se calcula para cada penetración y se traza una curva para obtener la tensión de penetración a partir de los datos de prueba. En ocasiones, por irregularidades en la superficie de la muestra u otros motivos, la curva será cóncava hacia arriba en su parte inicial, por lo que se deberá ajustar el punto cero de la curva. La corrección implica dibujar la tangente de la curva en el punto de inflexión.

Figura 8 Curvas de penetración vs esfuerzo

Nota: Adaptado de (INVIAS, 2014)

CBR Sumergido. Cuando la zona de estudio se encuentra en una región la cual las precipitaciones son mayores a 1200mm al año se debe tomar el CBR sumergido para el diseño del pavimento, como en Villavicencio las precipitaciones son mayores 3200mm al año es una obligación tomar este valor, por lo cual en el ensayo de CBR, las muestras deben estar inmersión de 3-4 días según la normatividad invias (INVIAS, 2014).

Figura 9 Moldes en inmersión

Nota: Adaptado de (INVIAS, 2014)

La muestra se mantuvo durante 96 (4 días) en estas condiciones con un nivel de agua constante, aproximadamente a 25 mm (1 pulgada) por encima de la superficie de la muestra. Si es necesario, permita un tiempo de inmersión más corto, no menos de 24 horas. Es suelo granular y pronto estará saturado de agua, si las pruebas muestran que esto no afectará los resultados. Para algunas arcillas, puede ser necesario remojar durante más de 4 días. Al final del tiempo de inmersión, el trípode está en la misma posición que la primera lectura. Lea el medidor para medir la expansión y luego calcule la expansión como un porcentaje de la altura inicial de la muestra.

6.1.4. Pavimentos

El pavimento consta de un conjunto de capas superpuestas relativamente horizontales, que están técnicamente diseñadas y construidas con materiales apropiados y completamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en el lecho de la vía obtenida por el movimiento de tierra en el proceso de exploración, y deben resistir completamente la tensión transferida por las cargas de tráfico repetidas durante el período de diseño de la estructura del pavimento. La acera debe realizar plenamente sus funciones y debe cumplir con los siguientes parámetros: (Lina Monsalve, 2012).

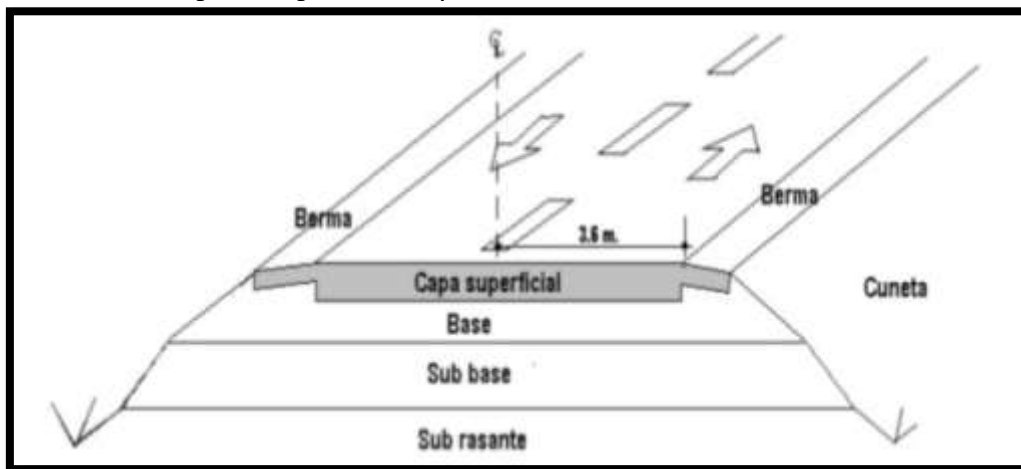
- Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Ser resistente ante los agentes de intemperismo.
- Presentar una textura superficial adaptada a las velocidades previstas de circulación de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial además debe ser resistente al desgaste producido por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos.
- Debe presentar una regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal que permitan una adecuada comodidad a los usuarios en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación.
- Debe ser durable.
- Debe ser económico.
- El ruido de rodadura, en el interior de los vehículos que afectan al usuario, así como en el exterior que influyen en el entorno, debe ser adecuadamente moderado.

- Debe poseer el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramiento y ofrecer una adecuada seguridad al tránsito.

Clasificación de los pavimentos. En nuestro entorno, la superficie de la calzada se divide en: calzada flexible, semirrígida, rígida y articulada.

Pavimento flexible. Este tipo de pavimento consta de una carpeta de asfalto, generalmente apoyado en dos capas no rígidas (capa base y sub base). Sin embargo, se puede renunciar a cualquiera de estas dependencias para las necesidades especiales de cada trabajo.

Figura 10 Estructura típica de pavimento flexible



Nota: Adaptado de (Lina Monsalve, 2012)

Pavimento semirrígido. Aunque este pavimento tiene básicamente la misma estructura que un pavimento flexible, una de las capas está endurecida artificialmente con aditivos como asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El propósito básico del uso de estos aditivos es corregir o cambiar las propiedades mecánicas de los materiales locales adecuados para la construcción de capas de pavimento, teniendo en cuenta que la distancia entre los aditivos adecuados aumentará significativamente el costo de construcción. (Lina Monsalve, 2012)

Funciones de las capas de un pavimento flexible

- **Subbase granular**

- Capa de transición: la subbase bien diseñada impide la penetración de los materiales que constituyen la base con los de la subrasante, por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.
- Disminución de la deformación: algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua(expansiones) o a cambios externos de temperatura, pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.
- Resistencia: la subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidas a un nivel adecuado de la subrasante.

- **Base granular**

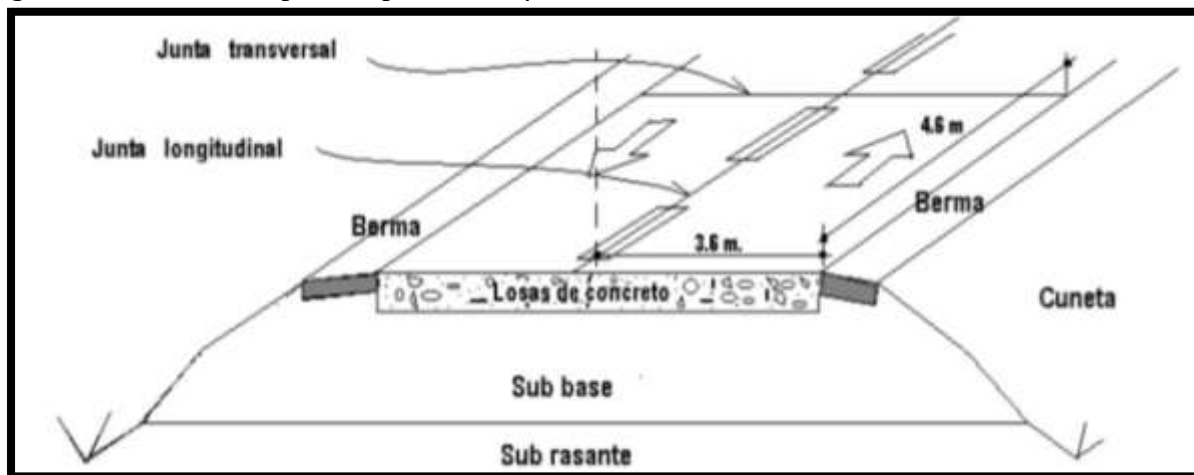
- La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que trasmita a la subbase y a la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

- **Carpeta asfáltica**

- Superficie de rodadura: la carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conviene y resistir los efectos abrasivos del tránsito.
- Resistencia: su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.
- Impermeabilidad: hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

Pavimento rígido. Estos pavimentos están compuestos básicamente por losas de concreto, apoyadas en la calzada o capa de material seleccionado, lo que se denomina calzada de pavimento rígido. Debido a la alta rigidez y alto coeficiente elástico del hormigón hidráulico, la distribución de la tensión se producirá en un área muy amplia. Además, debido a que el concreto puede resistir la tensión de tracción hasta cierto punto, incluso si hay áreas débiles en el lecho de la carretera, el rendimiento del pavimento rígido es suficientemente satisfactorio. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia del tablero, por lo que el soporte de la capa inferior tiene poco efecto en el diseño del espesor del pavimento. (Lina Monsalve, 2012)

Figura 11 Estructura típica de pavimento flexible



Nota: Adaptado de (Lina Monsalve, 2012)

Funciones de las capas de un pavimento Rígido

- **Subbase granular**

- La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de materiales fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas, el agua que penetra a través de las juntas licua el suelo fino de la subrasante facilitada así su evacuación a la superficie bajo la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.
- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.

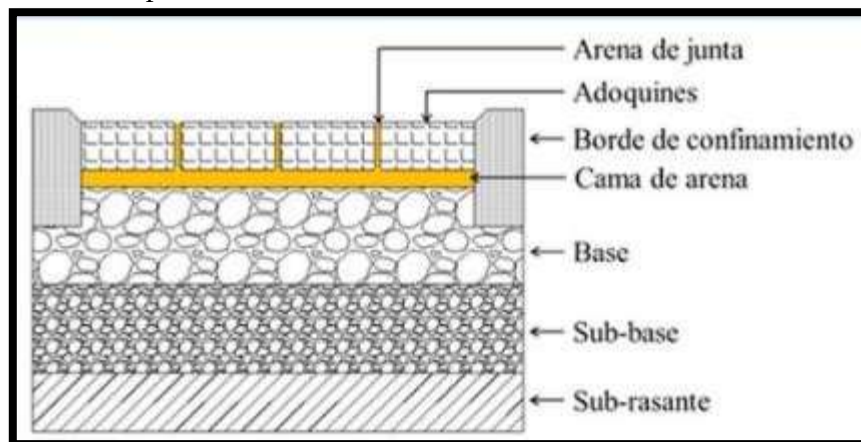
- Facilitar los trabajos de pavimento.
- Mejorar el drenaje y reducción por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.

• Losas de concreto

- Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

Pavimento articulado. El pavimento articulado consiste en una capa rodante de bloques prefabricados de hormigón (llamados adoquines) de espesor uniforme e iguales entre sí. Esto se puede realizar sobre una fina capa de arena, que a su vez se ubica sobre una capa base granular o directamente sobre la calzada, dependiendo de su calidad y de la magnitud y frecuencia de la carga sobre la calzada.

Figura 12 Estructura de pavimento articulado



Nota: Adaptado de (Rincon, 2017)

Funciones de las capas de un pavimento articulado

• Base granular

- Es la capa colocada entre la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa le da mayor espesor y capacidad estructural al pavimento. Puede estar compuesta por dos o mas capas de material seleccionado.
- Capa de arena: es una capa de poco espesor, de arena gruesa y limpia que se coloca directamente sobre la base; sirve de asiento a los adoquines y como filtro para el agua que eventualmente pueda penetrar por las juntas entre estos.
- Sellos de aren: está constituido por arena fina que se coloca como llenante de las juntas entre los adoquines; sirve como sello de las mismas y contribuyen al funcionamiento como un todo, de los elementos de la capa de rodadura.

6.1.5. *Estabilización de suelos*

El objetivo de un mejoramiento o estabilización de suelos es obtener un material que sea eficiente para el uso propuesto. Por ende, lo que se propone es dependiendo de la clasificación del suelo se elige el tipo de estabilización, es decir por una reacción química o física esto más que todo son aplicado en subrasante.

Figura 13 Tipos de estabilización del suelo

Suelo		Arcilla Finas	Arcilla Gruesas	Limos Finos	Limos Gruesos	Arenas Finas	Arenas Gruesas
Tamaño de Partículas (mm)		< 0.0006	0.0006-0.002	0.002-0.01	0.01-0.06	0.05-0.4	0.4-2.0
Estabilidad Volumétrica		Muy Pobre	Regula	Regular	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Tipos de Estabilización	Cal						
	Cemento						
	Asfalto						
	Mecánica						
		Rango de máxima eficacia Efectiva, pero el control de calidad puede ser difícil					

Nota: Adaptado de (Salgado,2020)

Como se evidencia en la figura 13, la estabilización con cal es muy efectiva con las arcillas y limos finos, esta reacción ocurre cuando hay presencia de agua y las arcillas cuando más plásticas son es porque su contenido de humedad es altísimo, en consecuencia, hay una reacción formando silicato de calcio el propósito de su uso es el disminuir plasticidades. Cabe resaltar que no debe haber materia orgánica en el suelo ya que la estabilización no sería efectiva.

La estabilización con cemento se puede utilizar en todos los suelos, pero en arcillas y limos tener un control de calidad bueno es difícil porque se recomienda para arenas finas y gruesas, también se debe tener en cuenta que el suelo no posea contenido orgánico de igual manera suelos con límite líquidos >45 y índice de plasticidad >18 no son estabilizables con cemento

Para que la mezcla de suelo-cemento sea efectiva se requiere un muy buen proceso de mezclado y antes de la compactación debe completarse antes de que fragüe el cemento, aproximadamente 2 horas.

El mecanismo básico para la estabilización con asfalto es la impermeabilización del suelo teniendo en cuenta que el asfalto rellena los vacíos, adicionalmente se logra un aumento en resistencia por adhesión entre el asfalto y las partículas del suelo, se pueden utilizar varios tipos de asfaltos y emulsiones, entre sea la cantidad de finos se requiere una mayor cantidad de asfalto.

6.2. Marco Normativo

El proyecto se regirá a partir de las siguientes normas:

Clasificación del tamaño de partículas en el suelo

- Asociación americana de carreteras estatales y oficiales del transporte (AASHTO)
- Instituto de tecnología de Massachusetts
- Departamento de agricultura de Estados unidos
- Sistema unificado de clasificación de suelos (Cuerpo de ingenieros del ejército E.U., oficina de reclamación de E.U., sociedad americana para pruebas y materiales)

Análisis del tamizado y determinación de límites

- ASTM C 136 – 01. “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates” Método estándar de ensayo para análisis por tamizado de agregados fino y grueso.
- Granulometría por tamizado (AASHTO T-87, T-88, ASTM D421, D422) (INVE-106-13)
- El procedimiento para la prueba de límite líquido dada en ASTM es la Designación ASTM D-4318. (Das, 2013)(INVE -125-13)
- El procedimiento para la prueba de límite plástico se da en la norma ASTM, Designación ASTM D-4318. (Das, 2013)(INVE-126-13)
- Determinación de materia orgánica (INVE-121-13)
- Contenido de humedad (AASHTO T-93, ASTM D2216) (INVE-122-13) (INVE-135-13)
- Clasificación de suelo (INVE-181-13) (SUCS)

Compactación

- Proctor Modificado (AASHTI T-180, ASTM D-1557) (INVE-141-13-----INVE-142-13)

CBR

- • Ensayo para la determinación del índice C.B.R en el laboratorio (AASHTO T 193-63) INVE-148-13).

6.3. Marco geográfico

6.3.1. Localización

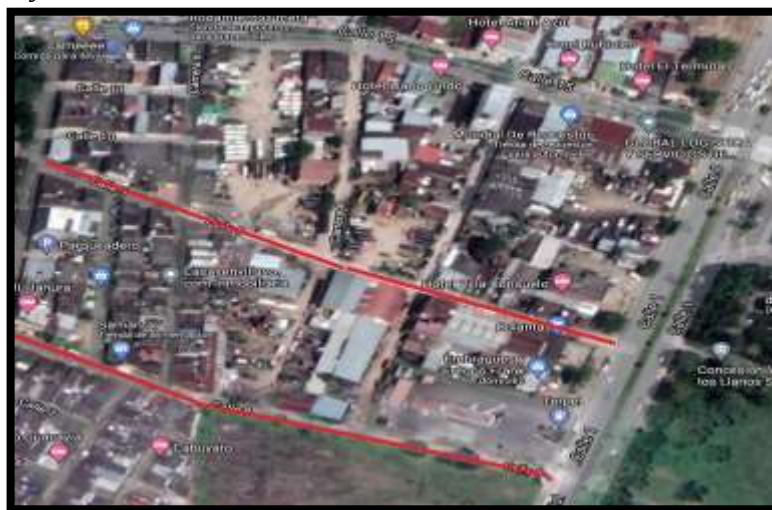
El área geográfica donde se realizará la investigación es en el departamento del Meta en la ciudad de Villavicencio concretamente en el sector terminal que comunica la avenida maracos con las calles 8,9 y 15b.

Figura 14 Mapa de Colombia-departamento Meta



Nota: Adaptado de (Wikipedia, 2021)

Figura 15 Calles 8 y 9



Nota: Adaptado de (Google, 2021)

En la anterior figura, se evidencia por medio de líneas rojas el área de estudio propuesta en el proyecto, En el cual se extrajeron las muestras de suelo y se elaboraron los respectivos ensayos y alteraciones en su composición granular para obtener resultados que ayuden a alcanzar el objetivo de la investigación.

6.4. Estado del arte

6.4.1. *Poliestireno expandido*

En los últimos 30 años, el poliestireno expandido ha sido considerado como uno de los geo- sintéticos más utilizados en la ingeniería geotécnica. La espuma EPS se debe a que el volumen y el peso son aproximadamente 100 veces más ligeros que el suelo. (Horvath., 1995)

Con el tiempo, este material se ha designado para su uso en el campo de la construcción y tiene un papel importante en los "paneles de yeso", pero no se ha utilizado ampliamente para la mejora del suelo. Aunque el logo no es un elemento insignia, tampoco lo es el logo que se usa comúnmente para este propósito. Por tanto, como uno de los estudios de referencia para la implementación de este proyecto se encuentra el trabajo titulado "Pavimento con Polímeros Reciclados" de Lina Marcela Ramírez Jiménez de la "Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA)", que describe el poliestireno expandido de la siguiente manera:

Es ampliamente conocido como su fabricante de espumas (Columbia Porous Industries). Es un polímero de vinilo, resultado de una reacción de polimerización (un proceso químico en el que se unen varias moléculas de un compuesto). También se puede definir como "un material plástico poroso rígido moldeado a partir de perlas de poliestireno expandido expandible, con una estructura porosa cerrada y lleno de aire". (científicos, 2020).

6.4.2. *Reciclaje del poliestireno expandido*

En Colombia la última cifra fue en el 2017 en el que se reciclaron 500000 toneladas entre los tipos de materiales que más se aprovechan en el país están papel y cartón (53%), metales (25%), vidrio (13%), plástico (7%) y maderables (2%) (tiempo, 2019).

Del 14% de los residuos poliméricos generados en Colombia, el 0,1 % corresponde al poliestireno expandido (EPS), más conocido como icopor por su empresa fabricante industria colombiana de porosos.

Al ser tan poca la cantidad de poliestireno expandido que se desecha, se espera que sea muy poco el que se encuentra en los rellenos sanitarios y los vertederos, esta es una idea errónea, ya que en los vertederos se encuentra gran cantidad de poliestireno expandido debido a su alto tiempo de descomposición (hasta 500 años) (árboles, 2021) y a su amplio uso en objetos desechables, además de ser un producto de alto volumen y poco peso.

Reciclaje mecánico: Consiste en moler el icopor y reutilizarlo de las siguientes formas, fabricación de productos espumados (otros productos de icopor), en la construcción implementándolo en la fabricación de ladrillos porosos, aligerantes y hormigón liviano, reutilizarlo en el proceso de producción de las fábricas; en drenajes, aligeramiento y estabilización de suelos. (jimenez, 2011)

6.4.3. Comportamiento con el agua

El poliestireno expandido no es higroscópico, lo que se diferencia de otros materiales en el campo del aislamiento y el embalaje. Incluso si el material está completamente sumergido en agua, el nivel de absorción es muy pequeño y el valor de volumen está entre el 1% y el 3% (prueba de inmersión después de 28 días). Los nuevos desarrollos en materias primas han dado como resultado una menor absorción de agua. (Diego barrero, 2018)

Lo cual resulta positivo en casos la subrasante se vea afectada por infiltraciones el comportamiento no se verá tan impactado y tendrá menos disminuciones en la capacidad portante.

6.5. Estudios similares

Problemas de similar magnitud se presentaron en distintos países del mundo sin ir más lejos en México donde propusieron el aligeramiento del peso volumétrico en terraplenes usando poliestireno, ya que los suelos del valle eran altamente compresibles, es por eso que propusieron porcentajes de 25% 50% 75% y 100% perlas de poliestireno.

Se planteo realizar especímenes cambiando tres variables la energía, el contenido de humedad y el % de perlas de EPS, pero se desvió un poco de esta investigación ya que propuso impactos estándar para realizar los especímenes es decir que los ensayos de compactación no fueron con Proctor modificado

Para esta tesis, se empleó un molde cilindro bipartido longitudinalmente, que consta de un diámetro interior de 3.6cm y una altura de 9 c. además, tiene una extensión de un diámetro interior de 3.6cm y con una altura de 3.7cm y tiene una base donde se coloca el molde cilíndrico bipartido como se muestra en la figura 16. (Quintos, 2016)

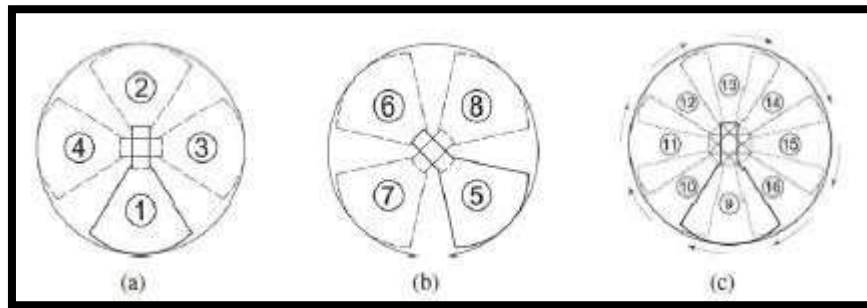
Figura 16 Molde para la compactación



Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

Erick propuso también no hacer la mezcla de las perlas de EPS con el suelo natural si no hacerlo con arena, caolín y EPS la cual por medio de los estudios de granulometría se podría concluir que era una arena arcillosa la mezcla de ambas, también especificó el diámetro de las perlas a la que iba a trabajar, oscilan entre los 2 a 3 (mm).

El proceso para las pruebas de compactación con o sin perlas de EPS fue el mismo con diferencias en las capas se propusieron 8 capas y con 24, 32 y 42 impactos con unas secuencias de golpes diferente a la de la norma invias.

Figura 17 Secuencia de impactos

Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

Espécimen con una mezcla del suelo 0% EPS

El espécimen resultado del procedimiento de pruebas de compactación por impactos sin perlas de EPS se observa en la figura 18. El espécimen se compactó con una energía de 14.57kg/cm², los especímenes presentan una pérdida de agua mínima en diversos contenidos de agua y no se observa ningún tipo de grietas o fisuras. Los especímenes son adecuados para ser ensayados en futuras pruebas mecánicas, estáticas o dinámicas. (Quintos, 2016)

Figura 18 Espécimen con 0% de perlas

Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

Especímenes con una mezcla de suelo con 25% EPS

Las muestras mostraron una pérdida de humedad mínima en el rango de contenido de humedad del 7% al 9%. Además, no se observaron fisuras ni fisuras de ningún tipo, y la

homogeneidad del material fue excelente, ya que, a mayor contenido de agua, mejor homogeneidad de la mezcla dentro y fuera de la muestra.

Figura 19 Espécimen con 25% de perlas



Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

Especímenes con una mezcla de suelo con 75%

La muestra obtenida de la prueba de compactación por impacto de perlas de EPS se muestra en la figura 19, La tasa mínima de pérdida de agua de la muestra bajo diferentes contenidos de agua es del 7% al 11%. No se observaron fisuras ni fisuras de ningún tipo, y la homogeneidad del material es suficiente porque no hay concentración de perlas de EPS de ningún tipo en el interior y exterior de la muestra. La muestra es apta para ensayos en ensayos mecánicos estáticos o dinámicos posteriores.

Figura 20 Espécimen con 75% de perlas

Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

En resumen, en base a los resultados obtenidos de los siguientes procedimientos: procedimiento de prueba de compactación por impacto sin perlas de EPS y procedimiento de prueba de compactación por impacto con perlas de EPS, se ha propuesto una tabla resumen en la que se muestran los resultados de las áreas de energía intermedia y efectiva 18.21 y 21.86 kg / cm².

Tabla 1 Resumen general de los procedimientos de compactación por impactos sin y con EPS para las energías de compactación.

<i>Procedimiento de pruebas de compactación por impactos sin perlas de EPS</i>				
Contenido de EPS en volumen (%)	Pérdida de agua	Concentración de perlas de EPS	Tipo de grieta	Es factible realizar ensayos mecánicos
0	Mínima	No aplica	No presenta	Sí es factible
<i>Procedimiento de pruebas de compactación por impactos con perlas de EPS</i>				
Contenido de EPS en volumen (%)	Pérdida de agua	Concentración de perlas de EPS	Tipo de grieta	Es factible realizar ensayos mecánicos
25	Mínima	No presenta	No presenta	Sí es factible
50	Mínima	No presenta	No presenta	Sí es factible
75	Mínima	No presenta	No presenta	Sí es factible
100	Mínima	Poca concentración	No presenta	Sí es factible

Nota: Adaptado de (Quintos, 2016)

En general, los resultados del procedimiento de compactación por impacto son satisfactorios para la energía de 18.21 y 21.86 kg / cm², debido a que la muestra tiene una mínima pérdida de humedad, no presenta grietas ni grietas de ningún tipo, y puede ser probada mecánicamente. Sin embargo, para el procedimiento de prueba de compactación por impacto que

utiliza perlas de EPS, cuando se utiliza la energía de 14,57 kg / cm² y el contenido de agua en el área media, la muestra se agrietará. Si se agrega más del 100% de perlas de EPS en relación con el volumen del suelo, se debe considerar que la interacción entre la mezcla de suelo y las perlas de EPS se reduce, por lo que la muestra puede tener casi ninguna fricción o ninguna fricción. Es posible que la mezcla de perlas de EPS muestre un daño más rápido en las pruebas mecánicas.

7. Metodología

7.1. Tipo y nivel de la investigación

Paradigma de la investigación: Positivista

Enfoque de la investigación: cuantitativa

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación. (Sampieri, 2014)

Nivel alcance: Descriptivo - Explicativo

Descriptivo: busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. (Sampieri, 2014)

Explicativo: pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian. (Sampieri, 2014)

7.2. Población y muestra

Población: Ciudad de Villavicencio.

Muestra: Barrio mi llanura calle 8,9 y calle 15b en los maracos.

7.3. Descripción de etapas y tareas

Etapas 1: Recolección de datos de caracterización del suelo, clima.

Etapas 2: Ejecutar de ensayos de laboratorio requeridos por la normatividad para contemplar información geotécnica y geológica.

Etapas 3: Mezclar nuevos tipos de mejoramiento con el suelo existente y distintas proporciones de PET.

Etapas 4: Realizar ensayos de compactación y capacidad portante de los nuevos especímenes.

Etapas 5: Compara los resultados obtenidos con los parámetros de la normatividad para subrasante, subbase y base granular.

Etapla 6: Socialización del proyecto*Tabla 2 Desarrollo de los objetivos*

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Analizar especímenes con mezcla de suelo-poliestireno expandido triturado reciclado con una energía de compactación y contenido de humedad previamente seleccionada a diferentes porcentajes de PET en la muestra.	Mezclar el suelo con poliestireno expandido triturado. Compactación de las nuevas muestras	Se compararon los resultados de CBR a tres especímenes propuestos, el primero con ausencia de (PET) con un contenido de humedad teórico del 10.23%, hallado gracias el ensayo de Proctor, el segundo con un 25% de (PET) e igual contenido de humedad y el tercero al 50% de (PET).	William Enrique Herrera Zarta
Evaluar la funcionalidad del poliestireno expandido en suelos de baja capacidad portante.	Comparar los resultados del suelo sin alterar y alterado	Después de obtener los resultados propuestos por el objetivo 1 se comparan con los valores de la normativa invias. De igual manera ver si superaran la muestra sin alterar.	
Establecer criterios de diseño de pavimentos utilizando EPS como material de mejoramiento.	Proponer metodologías si el empleo de EPS triturado es positivo en las pruebas	En una serie de pasos se establecerá la metodología para mejorar el suelo de características similares a la del estudio.	

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

8. Desarrollo y resultados

Los análisis comprendieron de varios ensayos aplicados a las muestras de suelo extraídas, a diferentes profundidades hasta completar el 1.2. con el fin de descartar la posibilidad de diferentes estratos, luego de una inspección se extrajeron dos tipos de muestras una de color negro y una roja que podrían ser dos suelos distintos una a 0.8m y la otra a 1.2m respectivamente.

Los ensayos descritos en el documento otorgaron la siguiente información.

8.1. Análisis granulométrico

El apique fue lo primero que se realizó para extraer el suelo y elaborar los ensayos propuestos, comenzando por su respectiva caracterización para alcance de la investigación se centrara en un tipo de suelo en específico y no de manera general, como consecuencia dar conclusiones erróneas.

Figura 21 Apique



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El sitio donde se extrajeron fue de una obra muy cerca al punto propuesto que por cuestiones del tránsito de vehículos pesado no fue posible hacer exactamente ahí, por lo que este apique fue excepcional para recoger la muestra, el apique tiene una profundidad de 1.2m.

8.1.1. Procedimiento del ensayo granulometría

La muestra se colocó en el horno a una temperatura de 110 grados Celsius para secarla por completo, luego se maceró para tener una muestra más afín a la real dado que hubo terrones de tierra que son aglomeraciones de las partículas que pueden dar resultados erróneos dado que no son material grueso.

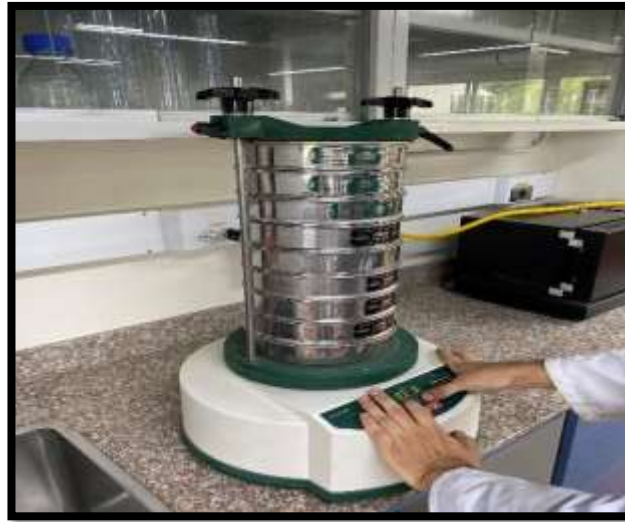
Figura 22 proceso de maceración de la muestra



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Despues el material ya macerado se introdujo en una serie de tamicez que comprenden desde el de 1” Hasta el tamiz No. 200 y el fondo. Por medio de una una maquina que nos facilitó el proceso de colar el suelo para ver su composicion a travez de los tamicez.

Figura 23 Maquina vibradora para el proceso de tamizado



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Cabe destacar que los tamices fueron pesados con anterioridad para saber con exactitud la cantidad de suelo retenido en cada tamiz que ayudo a constriur las tablas granulométricas.

Figura 24 Muestra roja a través de los tamices



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Como se apreció en la figura 24 , el suelo extraido comprende de diferentes tamaños que fueron de utilidad para saber con certeza su clasificación según la normatividad AASHTO Y SUCS.

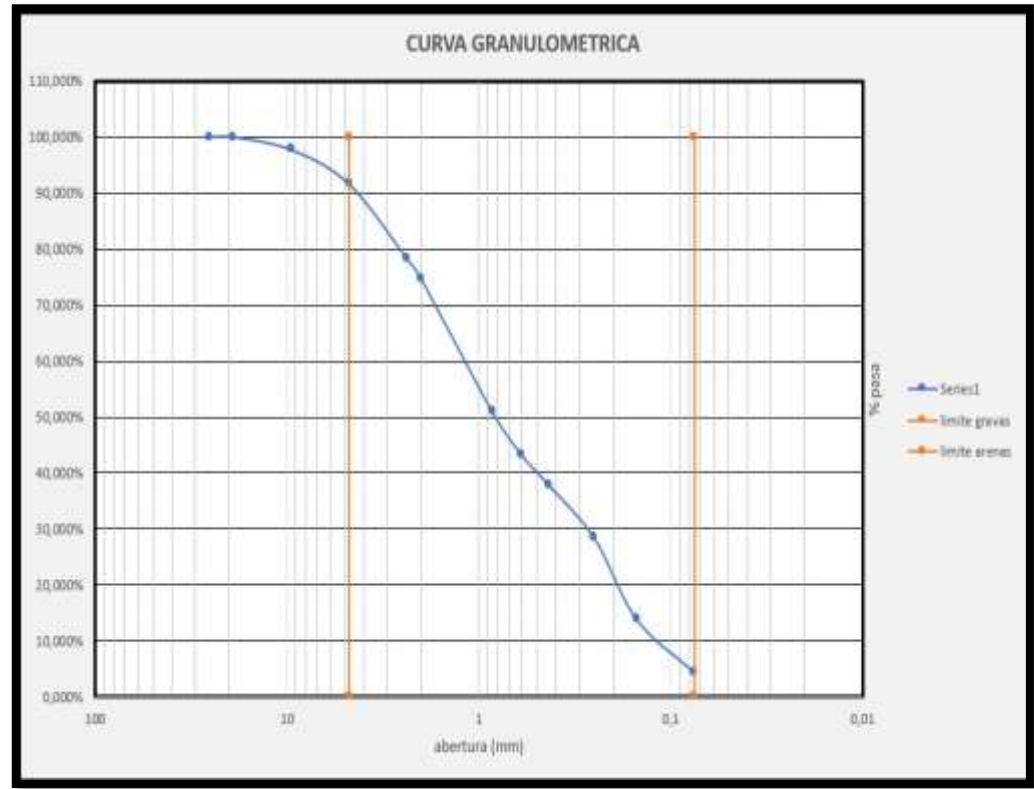
Tabla 3 Gradación muestra No. 1 roja

GRADACIÓN MUESTRA No.1 ROJA							
mall	peso tamiz (g)	peso de suelo + tamiz (g)	abertura (mm)	suelo retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1"	448,2	448,2	25,4	0	0,00%	0,00%	100,000%
3/4"	433,9	433,9	19,05	0	0,00%	0,00%	100,000%
3/8"	450,3	490,9	9,525	40,6	2,22%	2,22%	97,785%
No 4	514,7	626,8	4,75	112,1	6,12%	8,33%	91,669%
No 8	412,2	658,5	2,36	246,3	13,44%	21,77%	78,231%
No 10	444,6	508,4	2	63,8	3,48%	25,25%	74,750%
No 20	463,7	899,4	0,85	435,7	23,77%	49,02%	50,979%
No 30	425,3	565,4	0,6	140,1	7,64%	56,66%	43,336%
No 40	536,8	637,5	0,43	100,7	5,49%	62,16%	37,842%
No 60	401,3	574	0,25	172,7	9,42%	71,58%	28,419%
No 100	396,8	663,8	0,15	267	14,57%	86,15%	13,852%
No 200	379,8	553,4	0,075	173,6	9,47%	95,62%	4,381%
pasa 200	257,6	337,9	fondo	80,3	4,38%	100,00%	0,000%
total				1832,9			

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Como se explicó con anterioridad, las muestras retenidas en cada tamiz son pesadas y cuantificadas, como se presenció en la tabla 1. Con el proposito de crear la curva granulométrica.

Figura 25 Curva granulométrica muestra roja



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El resultado de este proceso da como conclusión que la mayoría del suelo está ubicado entre el tamiz No.4 y No. 200 que nos indicó que el suelo es una arena, pero se rectificó con las metodologías de clasificación de AASHTO como SUCS (sistema unificado de clasificación de suelo).

Tabla 4 Clasificación de la muestra roja

METODO SUCS		
% gravas	% arenas	% finos
8,33%	87,29%	4,38%
(SW) ARENA BIEN GRADADA		

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Por la metodología SUCS nos arrojó que es una arena bien gradada.

Tabla 5 Clasificación de la muestra Roja AASHTO

METODO AASHTO		
% gravas	% arenas	% limos y arcillas
25,25%	70,37%	4,38%
A-2-4 LIMO O GRAVA ARCILLOSA Y ARENA		

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

La metodología AASHTO arrojó que el suelo fue A-2-4 (se necesitaban de los límites e índice de plasticidad para saber su clasificación). A medida que se llegó a la profundidad 1.2m no se encontró un gran cambio en la estratigrafía del suelo, A ojo se tomaron dos muestras para verificar si habría otro tipo de suelo además de las arenas previamente descritas, se encontró una segunda muestra, tenía un color negro e igualmente se hizo las pruebas de granulometría.

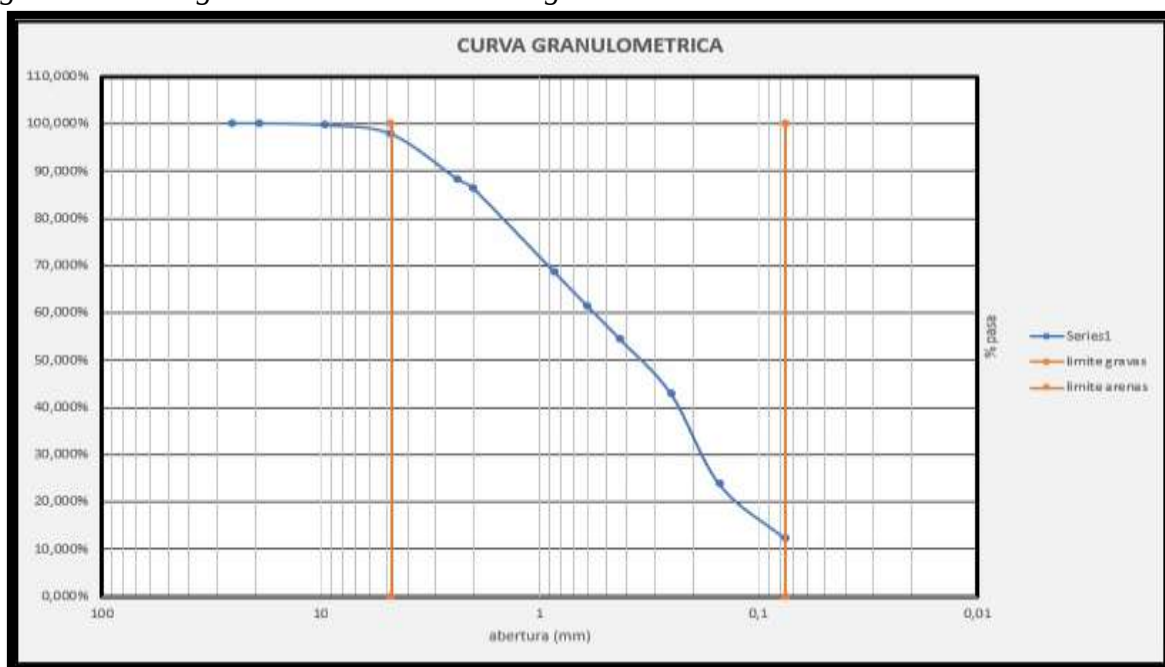
Tabla 6 Gradación muestra No. 2 negra.

GRADACIÓN MUESTRA No.2 NEGRA							
mall	peso tamiz (g)	peso de suelo + tamiz (g)	abertura (mm)	suelo retenido (g)	% retenido	% retenido acumulado	% pasa
1"	448,2	448,2	25,4	0	0,00%	0,00%	100,000%
3/4"	433,9	433,9	19,05	0	0,00%	0,00%	100,000%
3/8"	450,3	454,5	9,525	4,2	0,36%	0,36%	99,637%
No 4	514,7	536,6	4,75	21,9	1,89%	2,26%	97,744%
No 8	412,2	523,3	2,36	111,1	9,60%	11,86%	88,140%
No 10	444,6	466,7	2	22,1	1,91%	13,77%	86,229%
No 20	463,7	668,9	0,85	205,2	17,74%	31,51%	68,491%
No 30	425,3	508,4	0,6	83,1	7,18%	38,69%	61,307%
No 40	536,8	615,7	0,43	78,9	6,82%	45,51%	54,487%
No 60	401,3	536,1	0,25	134,8	11,65%	57,17%	42,834%
No 100	396,8	618,2	0,15	221,4	19,14%	76,31%	23,695%
No 200	379,8	512,6	0,075	132,8	11,48%	87,79%	12,215%
pasa 200	257,6	398,9	fondo	141,3	12,21%	100,00%	0,000%
			total	1156,8			

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

En la segunda muestra se observó que tiene un comportamiento similar al de la primera pero con un aumento en la presencia de finos.

Figura 26 Curva granulométrica muestra negra No2



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

La gráfica fue similar a la muestra 1 dando indicios de que también se trataría de una arena.

Tabla 7 Clasificación de la muestra No.2 SUCS

METODO SUCS		
% gravas	%arenas	% finos
2,26%	85,53%	12,21%
(SW-SM) ARENA BIEN GRADADA CON LIMO		

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Finalmente se concluyó que por la metodoligía SUSC fue una arena bien gradada con presencia de limos y por la metodología AASHTO clasifcación fue la misma que la muestra roja.

8.2. Análisis de humedad y límites

El contenido de humedad natural in situ del suelo suele ser útil para ver el comportamiento del suelo ya que el suele tener diferentes resistencias a diferentes humedades por lo cual establecer cuál es la natural también no ayuda a enfocar más el alcance de la investigación. Por otra parte, los límites de Atterberg son de suma importancia para saber el índice de plasticidad del suelo y obtener una clasificación más acertada del mismo.

8.2.1. Procedimiento del ensayo de humedad

El procedimiento fue bastante sencillo, prácticamente fue recolectar pequeñas muestras del suelo in situ, pesarlo para hallar el peso húmedo de la muestra y luego se introdujo en el horno a una temperatura de 110° Celsius y nuevamente se pesó para el peso seco del suelo más el recipiente.

Figura 27 Muestra húmeda y seca + recipiente Respectivamente

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Luego de haber tomado los datos se hicieron los respectivos calculos para encontrar los contenidos de humedad de los dos tipos de muestras recolectadas.

Tabla 8 Contenido de humedad (%)

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		
RECIP No	1-- muestra roja	2--- miestra negra
MASA DE RECIP. +S.H	395,30	363,40
MASA DE RECIP. +S.S	321,50	293,70
MASA RECIPIENTE	7,80	6,30
MASA AGUA	73,80	69,70
MASA SUELO SECO	313,70	287,40
% HUMEDAD	23,53%	24,25%
PROMEDIO C. HUMEDAD%	23,89%	

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Como se evidenció en la tabla 8 se obtuvieron dos contenidos de humedad en los diferentes tipos de suelo extraído se propuso un promedio el cual, si se quiere hacer el uso de todo el suelo, pero en este caso la muestra roja se va tener en cuenta debido a que se extrajo a la profundidad 1.2m y con base a esa profundidad se hicieron los ensayos de compactación y CBR.

8.2.2. Procedimiento del ensayo de límites líquido

El ensayo comenzó preparando una muestra entre 150 a 200g de material que estuvieran retenidas en el tamiz No. 40.

Figura 28 Mezcla del material + agua destilada



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

se remezclo completamente el espécimen, ajustando su contenido de agua para que adquiriera la consistencia requerida para que fueran necesarios entre 25 y 35 golpes para cerrar la ranura que se formó en la cazuela.

Figura 29 Cazuela con abertura



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Se colocó una cantidad adecuada de suelo en la cazuela encima del punto donde esta descansa en la base. se comprimió y extendió con la espátula para nivelarla, luego el suelo colocado sobre la cazuela de bronce se dividió con una pasada firme del ranurado formado una abertura,

asimismo se prosiguió a dar los golpes y anotar los números de golpes exactos cuando la abertura se cierre a una distancia cerca de 13mm.

Figura 30 Muestras húmeda a 17,26 y 32 golpes respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Este procedimiento se repitió tres veces para tomar los puntos que dieran origen a la gráfica contenido de humedad (%) versus el # de golpes, exacta mente los golpes fueron de 17,26 y 32 luego de haber presenciado el cierre de la abertura se tomó el espécimen de suelo ensayado para saber el peso húmedo de la muestra.

Figura 31 Muestras secas a 17,26 y 32 golpes respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

luego se introdujo en el horno a 110° para tomar el peso de la muestra seca y saber con exactitud el contenido de humedad que se tomó para que los golpes uniesen las dos mitades de la cazuela.

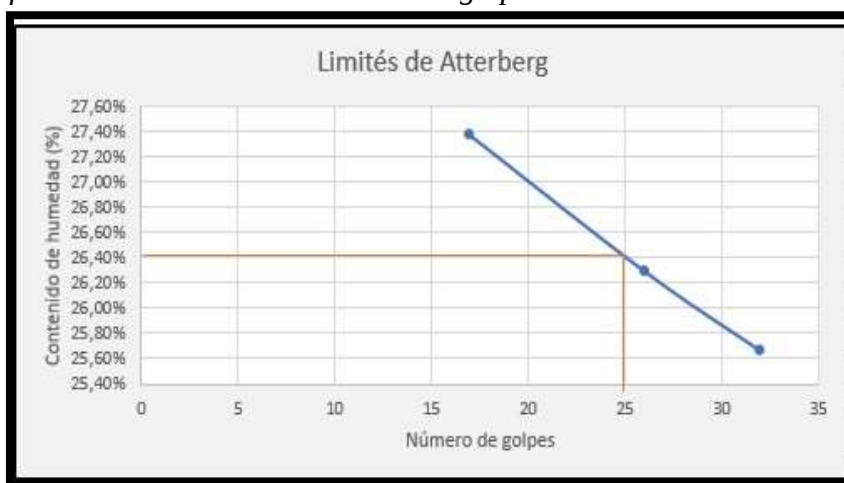
Tabla 9 Muestra roja limite liquido

LÍMITES DE CONSISTENCIA- MUESTRA ROJA No.1			
DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO		
Determinacion No	1	2	3
No golpes	17	26	32
recip. No	1	2	3
peso de recip. +S.H	x	x	x
peso de recip. +S.S	x	x	x
peso recipiente	x	x	x
peso agua	5,20	5,60	3,90
peso suelo seco	19,00	21,30	15,20
% humedad	27,37%	26,29%	25,66%
promedio C. de humed:			

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Por temas de eficiencia con los hornos para el uso propio y otros estudiantes que lo necesitaban, se fue pesando la muestra humedad sin un recipiente, este solo se usó para dejar reposadas tres especímenes de distintos contenidos de humedad, para no ocupar todo el horno, los datos fueron tomados según el orden de golpes menor a mayor, las muestras fueron pesadas antes y después del horno por consecuencia las x en la tabla.

Figura 32 Grafica contenido de humedad vs # de golpes



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con los datos obtenidos se formó la gráfica que nos indicó donde podría estar el límite líquido a cierto número de golpes, según la norma I.N.V.E-125 a 25 golpes se encontraría. el grafico representa ese valor de manera muy visual, subjetivo se podría decir.

Tabla 10 Regresión lineal limite líquido.

m	0,1105866
b	24
y	26,44

x	y	xy	x^2
32	27,368421	875,78947	1024
26	26,29108	683,56808	676
17	25,657895	436,18421	289
75	79,317396	1995,5418	1989

LÍMITE LÍQUIDO	26,44%
----------------	--------

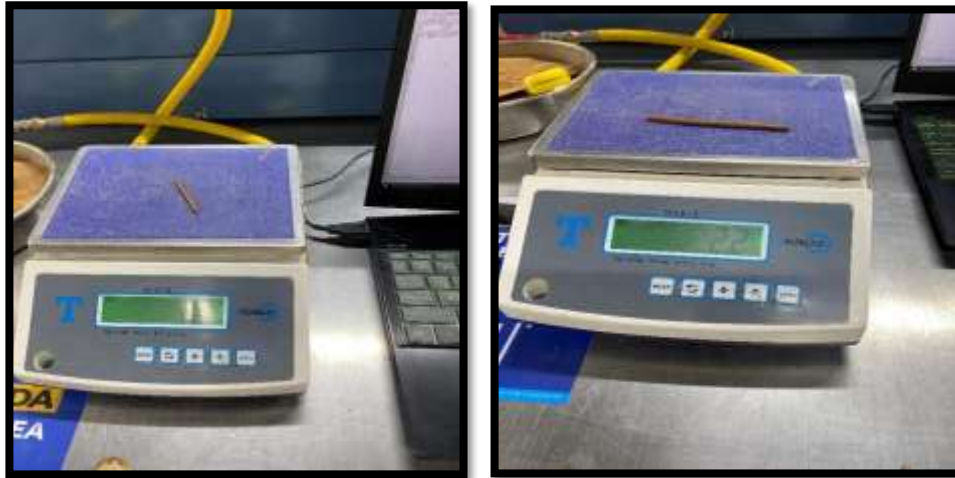
Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Usando regresiones lineales se obtuvo el límite líquido exacto a la cantidad de golpes sugerida que fue de 26.44%.

8.2.3. Procedimiento del ensayo limite plástico

De la misma muestra obtenida para hacer el ensayo de límite líquido se extrajo la otra mitad, se hicieron rollos con un diámetro máximo 3.2mm o un poco más cuando se presencie posible que el desmoronamiento y puede hacer aceptado se toma el peso húmedo antes de ingresarlo al horno a 110° Celsius.

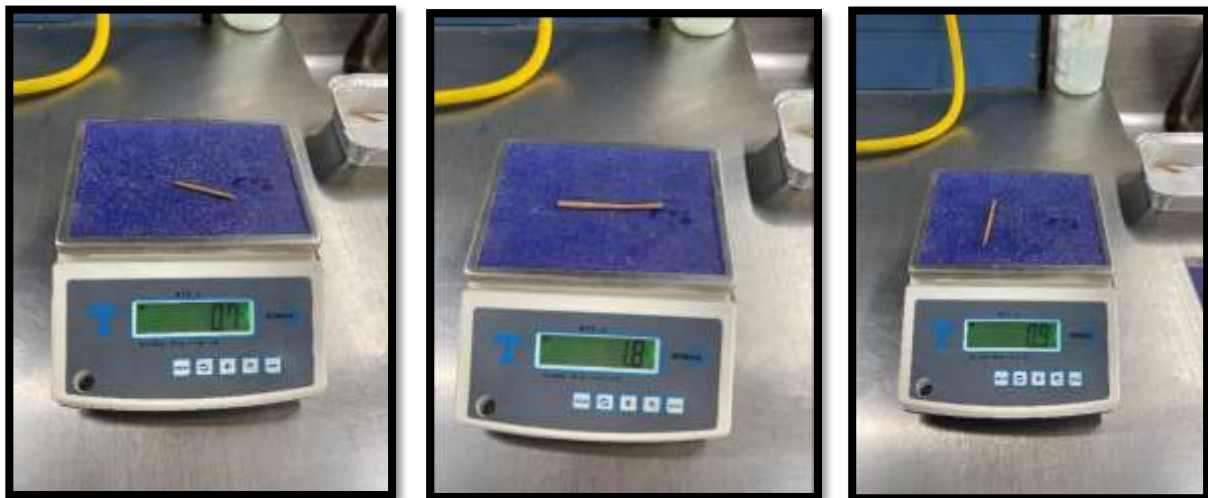
Figura 33 Muestra humeda-2 para 17 y 26 golpes respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

se introdujo en el horno a 110° para tomar el peso de la muestra seca y saber con exactitud los contenidos de humedad para cada muestra.

Figura 34 Muestra seca-2 para 17,26 y 32 golpes respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Finalmente, con los datos recolectados se obtuvieron los contenidos de humedad y se promediaron dando como resultado el límite plástico de la muestra.

Tabla 11 Muestra roja limite plástico

LÍMITES DE CONSISTENCIA- MUESTRA ROJA No.1		
LÍMITE PLÁSTICO		
1	2	3
-	-	-
4	5	6
x	x	x
x	x	x
x	x	x
0,17	0,40	0,20
0,73	1,80	0,90
23,29%	22,22%	22,22%
22,75%		

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Cabe resaltar que los contenidos de humedad entre muestras presentaron una diferencia menor 1.5% de desviación que es lo permitido por la norma.

8.2.4. Índice plasticidad

Con la simple ecuación que implica restar los límites líquido y plástico se obtuvo el índice 3.69%

Tabla 12 Índice de plasticidad

LÍMITE LÍQUIDO	26,44%
LÍMITE PLÁSTICO	22,75%
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	3,69%

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

8.3. Análisis de materia orgánica

El propósito de esta prueba fue determinar el contenido orgánico en el material. Identificado como turba, lodo orgánico y suelo que contiene material vegetal. Relativamente sin descomposición o deterioro. Este artículo proporciona una estimación Contenido orgánico efectivo por calcinación.

8.3.1. Procedimiento del ensayo de materia orgánica

Se necesitó de una mufla que es un horno que llega a temperaturas mayores exactamente los 445° Celsius, se tuvo que preparar una muestra de 30 gramos previamente secada en un horno a 114° Celsius.

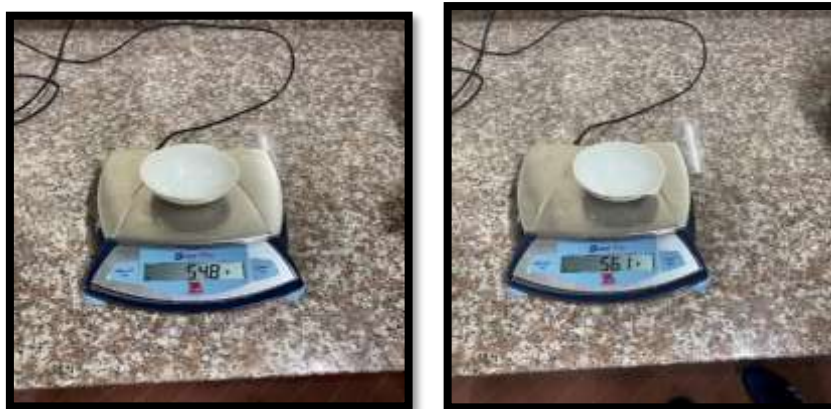
Figura 35 Mufla



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Se tuvieron que pesar los crisoles o plato de evaporación de ambas muestras tanto roja como negra

Figura 36 Masa del crisol para muestra negra y roja respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Después se hicieron las mediciones de 30g para cada una de las muestras en sus crisoles respectivos para la ignición se registraron los pesos.

Figura 37 Masa del crisol + suelo seco antes de la ignición para muestra negra y roja respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Se llevaron a la mufla y se dejaron a 445° Celsius durante 6 horas, Después de la ignición se dejó reposar 2 horas para tomar los datos del peso de nuevo.

Figura 38 Masa del crisol + suelo seco después de la ignición para muestra negra y roja respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Por ultimo se hicieron los respectivos calculos para encontrar el % de material organica en las dos muestras arrojando resultados 3.33% y 2.33%.

Tabla 13 Cálculos para cantidad de materia orgánica

suelo rojo No.1		% de materia organica
expresion	peso (g)	
A	86,1	3,33%
B	85,1	
C	56,1	

suelo negro No.2		% de materia organica
expresion	peso (g)	
A	84,9	2,33%
B	84,2	
C	54,8	

A	Masa del crisol o plato de evaporacion y del suelo secado al horno, antes de la ignicion;
B	Masa del crisol o plato de evaporacion y del suelo secado al horno, despues de la ignicion;
C	Masa del crisol o plato de evaporacion, con aproximacion a 0,01g

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

8.4. Análisis de compactación

El siguiente ensayo se determinó la relación entre la humedad y el peso seco del suelo (curva de compactación), se compactó con un martillo 44.48 en un molde con un diámetro de 101.6 o 152.4 mm (4 o 6 pulgadas). N (10 lbf) de caída libre desde una altura de 457,2 mm (18 pulgadas).

8.4.1. Procedimiento ensayo de compactación.

Lo primero fue hacer el respectivo tamizado de la muestra con que íbamos a obtener los 5 Proctor, se pesó la muestra a utilizar, también se pesó el molde indicado según el ensayo y por último se planteó el porcentaje de agua agregar para los diferentes Proctor.

Figura 39 Muestra del suelo tamizado



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Se pesó el molde para obtener la masa de suelo húmedo y la densidad de ese suelo. Asimismo, se planteó el contenido de agua teórico para el primer Proctor.

Figura 40 Peso del molde



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con los datos previos tomados antes de la compactación se prosiguió hacer el primer Proctor, se utilizó la metodología B, por lo cual se trabajó con un molde de 10.16cm de diámetro con un martillo de 4.5 kg proporcionando 25 golpes para cada capa de un total de 5.

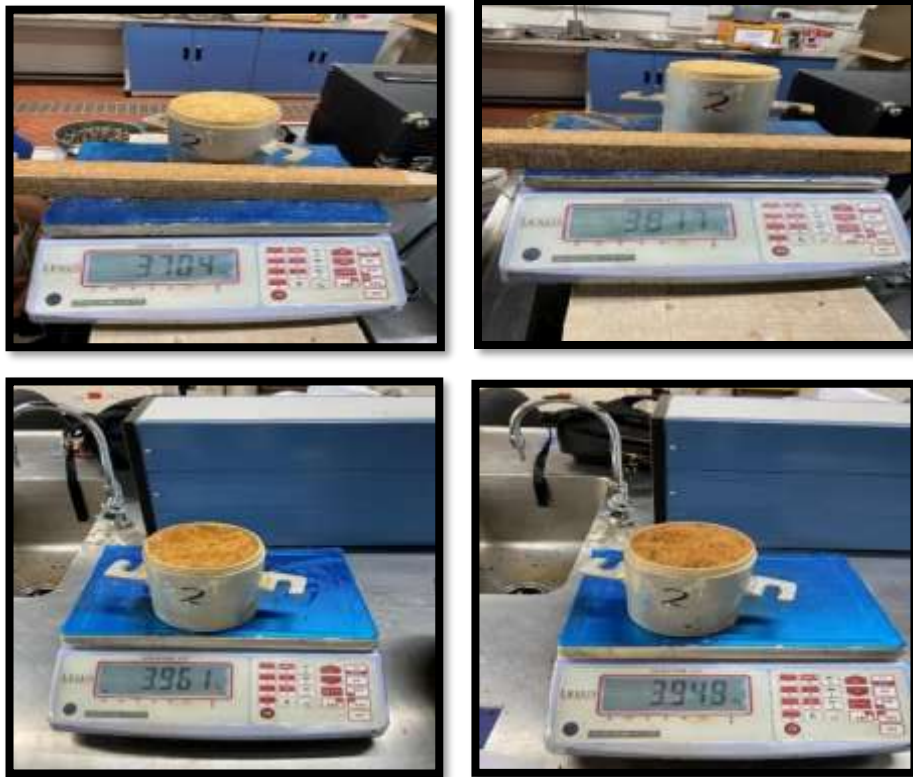
Figura 41 Procedimiento de la compactación



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Luego de completar el proceso de compactación se removió el collar y se enrasó el suelo bien antes de pesarlo.

Figura 42 Masa molde + suelo húmedo compactado al 3%,6%,13% y 18% respectivamente



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Debido a que por propiedades externas el contenido de humedad de la muestra seca trae consigo un porcentaje de humedad que no se sabe con seguridad, es por eso que se corrigió los contenidos de humedad teóricos aplicados en cada una de los puntos, tomando pequeñas muestras de cada uno de los Proctor para tomar el peso antes y después de secarla en el horno, con el fin de conocer específicamente el contenido de humedad para lograr una curva de compactación más certera.

Tabla 14 Contenido de humedad corregido

	MUESTRAS				
	1	2	3	4	5
masa de tara (g)	0,325	0,366	0,364	0,688	0,315
masa de tara + suelo humedo (g)	0,369	0,4261	0,464	0,801	0,422
masa de tara + suelo seco(gg)	0,368	0,423	0,455	0,787	0,404
masa agua	0,001	0,0031	0,009	0,014	0,018
masa solido	0,043	0,057	0,091	0,099	0,089
%humedad teorica	3,0%	6,0%	9,0%	13,0%	18,0%
%humedad real	2,33%	5,44%	9,89%	14,14%	20,22%

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con los datos de contenido de humedad corregidos y las medidas del molde se obtuvo el volumen, asimismo se procedió a sacar las densidades húmedas y secas, que fueron de ayuda para crear la gráfica de compactación.

Figura 43 Curva de compactación



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Como se observó en la figura 43, esta presentó una ecuación cuadrática que sirve para encontrar el punto máximo densidad seca, pero primero se tuvo que encontrar el contenido de humedad óptimo, dado que la gráfica es una parábola se apoyó de la ecuación del eje de simetría para saber exactamente el valor de eje x que toca el vértice de la parábola y poder ende en eje y sería el punto máximo de densidad seca.

Tabla 15 Contenido de humedad óptimo.

contenido de humedad optimo %	10,23%
punto maximo densidad seca g/cm3	1,90739

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Los resultados del ensayo de compactación son necesarios para utilizarlos en la creación de las probetas que llevaran los distintos porcentajes de EPS para realizar los ensayos de CBR.

8.5. Análisis de CBR

con el ensayo de compactación previamente hecho se prosiguió con el último ensayo que dio las conclusiones de la investigación.

8.5.1. Procedimiento ensayo de CBR

en términos generales el procedimiento constó de ejercer un esfuerzo o que llegara a una determinada deformación, para conocer el %c CBR. Se planteó utilizar poliestireno expandido mezclado a diferentes porcentajes en específico del 25% y 50% respecto al volumen de mezcla que se ocupó en el cilindro.

Figura 44 Poliestireno expandido



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El poliestireno expandido que se utilizó fue el que se evidenció en la figura 44, un PE desechable que se trituró, que se propuso en la investigación con el fin de ver otras mejoras en suelo más baratas y reciclables.

El procedimiento para que el poliestireno triturado reciclado presente una uniformidad se rayó de manera artesanal en un tamiz no.4, por lo que aproximadamente el diámetro de partícula fue de 5mm, después del proceso de triturado se tamizaba para desechar las partículas que pasaban el tamiz 4. Y se retenía en el tamiz $\frac{1}{4}$ ".

Figura 45 Muestra de suelo para elaborar especímenes



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El primer espécimen se elaboró con suelo natural con una energía de compactación, # de capas y contenido de humedad óptimo sin ningún tipo de agregado EPS.

Figura 46 Peso del molde y peso del molde más suelo compactado después de la inmersión



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Para obtener los datos necesarios para los resultados del CBR se pesó el molde vacío y el molde con la muestra compactada a 5 capas de a 25 golpes con el contenido de humedad óptimo hallado del ensayo de Proctor modificado.

Figura 47 Sobrecarga mínima para la inmersión



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Posterior a este proceso de compactación se ensambló el espécimen con una placa metálica con vástago ajustable y con la sobrecarga mínima de 4.54kg establecidas por el invias para la inmersión por 3 días antes de la penetración de la probeta compactada.

Figura 48 Especimen 0% de pet sumergido con deformímetro



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con la muestra en inmersión se tomó la primera lectura de expansión con el deformímetro y se fue tomando lecturas cada día para encontrar el % de hinchamiento.

Figura 49 Equipo de penetración Humboldt 5030



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Luego de haber extraído el espécimen del tanque se drenó el agua sin dejar caer las pesas de sobre carga y se dejó 15 minutos escurriendo antes de llevarlo a la máquina de penetración.

Figura 50 Especimen 1, después de la prueba de penetración



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Para la elaboración de del segundo espécimen se utilizo el suelo natural mas el 25% de EPS respecto al volumen a ocupar del molde se mezcló y se le agrego el contenido de humedad optimo igual al del primer espécimen.

Figura 51 Muestra de suelo y pet necesarios para la elaboración del 2° espécimen



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Se realizo en el proceso de compactación y se tomó el peso del segundo espécimen para ir comparando las densidades y contenido de humedad.

Figura 52 Peso del molde + suelo pet, compactado después de la inmersión



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Posteriormente antes de la penetración se tomaron lecturas de expansión del material en sumersión el primer día y el ultimo, con el fin de hallar el porcentaje de hinchamiento.

Figura 53 Primer y ultima lectura de expansión



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Para el ultimo espécimen se usó el 50% de EPT respecto al volumen del molde especificado en la norma con se evidencia en la siguiente figura.

Figura 54 Suelo al 50% pet compactado después de la inmersión.

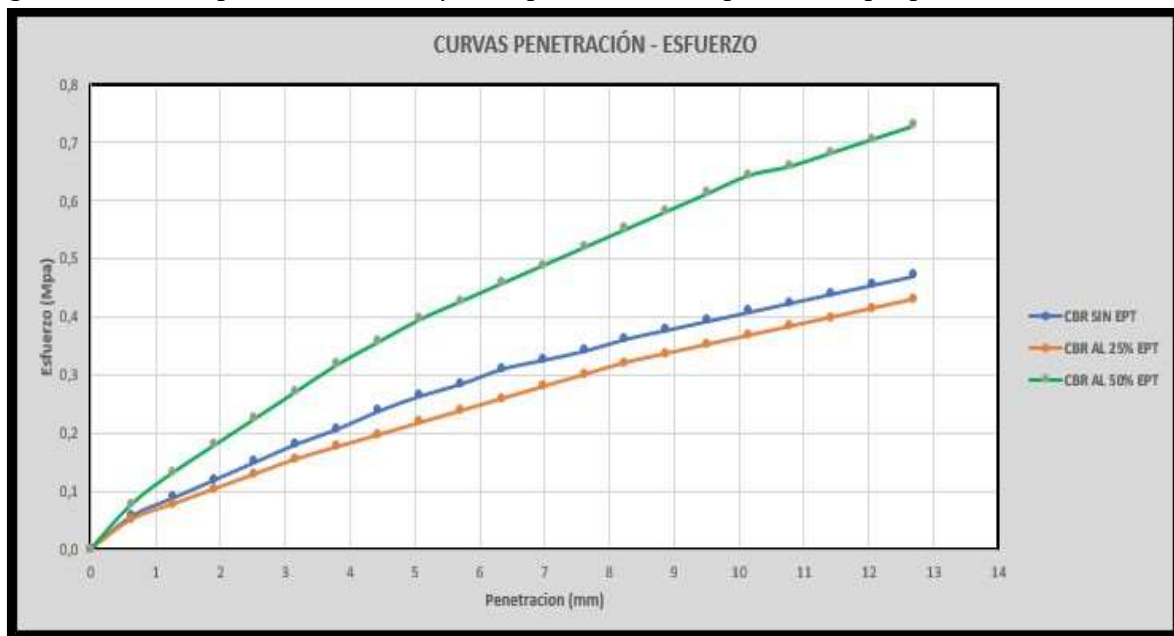


Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Luego de recrear los especímenes tanto del suelo natural como con la adición de EPT y llevarlo a inmersión por 3 días, se ensayaron su capacidad portante por medio del equipo Humboldt 5030.

El equipo nos arrojó datos de la carga ejercida al espécimen y la deformación del suelo, con el fin de realizar las curvas de penetración – esfuerzo.

Figura 55 Curvas penetración vs esfuerzo para los tres especímenes propuestos



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Cabe destacar que las curvas de penetración como para los valores de CBR son sumergidos ya que debido a las condiciones meteorológicas de la región se tiene que trabajar con los valores de CBR en condiciones altas de humedad para simular de manera más a fin las propiedades portantes del suelo.

Tabla 16 Porcentajes de CBR para una penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas

CBR-Sumergido							
Penetración (in)	carga estandar (lb/in ²)	lectura-1	%	lectura-2	%	lectura-3	%
0,1	1000	22	2,2%	19	1,9%	32,60	3,3%
0,2	1500	38	2,5%	31,4734	2,1%	57,33	3,8%
PROMEDIO			2,4%		2,0%		3,5%

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

En la tabla 14 anterior se evidenció el porcentaje de CBR sumergido para los tres ensayos propuestos dando resultados positivos de la investigación.

Tabla 17 % de hinchamiento

HINCHAMIENTO			
Aproximacion	0,0001		
Altura inicial (in)	5	ensayo	
fecha	1	2	3
11/05/21 3:44pm	0	0	0
12/05/21 3:44pm	-	-	-
13/05/21 3:44pm	-	-	-
14/05/21 3:44pm	97	77	94
%hinchamiento	0,194	0,154	0,188

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Por último, se halló el % de hinchamiento por medio de la resta de la expansiones finales y iniciales, teniendo en cuenta la altura inicial del molde dando como resultado que el uso del EPT disminuye el porcentaje de hinchamiento es decir mantiene el suelo más compacto en condiciones saturadas.

8.6. Análisis económico

El análisis constó de una comparación entre los materiales más utilizados en estabilizaciones de subrasante, con ayuda de los estudios de granulometría, se concluyó que el suelo es una arena, por lo cual se postuló cemento como método de mejoramiento. Debido a que es muy eficaz para este tipo de suelo. también el rajón se unió a la comparativa, ya que es usual presenciarlo en varios tipos de estabilizaciones y por último el PET comercial y el reciclado.

Primero se fijaron los precios de los materiales previamente dichos para $1M^3$, si bien es cierto una de las finalidades de la investigación fue utilizar material provenientes de actividades de reciclaje o un material que haya tenido un propósito antes del uso que se le dio, para las cantidades que se requirieron para el proyecto se obtuvieron sin problema pero en realidad puede ser un poco más difícil conseguirlo para proyecto de gran envergadura, dado a que es un material fácil de reciclar su densidad tan baja presenta un problema de peso para los recicladores ya que ocupan mucho espacio para tan poco peso.

Tabla 18 precios de los materiales por m3

descripcion	precio por m3
rajon	75000
cemento	50600
poliestireno expandido	90000
precio de 1m3 de icopor reciclado	27000

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Los precios por metro cubico fueron extraídos de Homecenter y el “icopor” reciclado se tomó el valor de recicladores que decían que el kilo de “icopor” Valia 900\$ y la densidad del PET oscila en los 30k/m3 por lo que rápidamente, se podría decir que 1m3 cuesta 27000\$.

Tabla 19 cantidad de material usado para un m3 de suelo

MATERIAL	CANTIDAD (M3)
Rajon	1
Cemento	0,025
EPT	0,5

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Material como el rajón no necesita de una proporción, se esparce de manera de que se vea lo más regular posible ya que el rajón viene en variedad de tamaños, el cemento se empleó un cálculo el cual arrojó que se necesitan aproximadamente 2 bultos para mejorar 1 metro cubico de suelo, y por último el EPT con una proporción de 50% con base al volumen del suelo.

Tabla 20 precios de los diferentes métodos de mejoramiento

material para 1m3	precio	Diferencia con el rajon
suelo+ rajon	\$ 75.000,00	\$ 75.000,00
suelo+ cemento	\$ 50.600,00	\$ 24.400,00
suelo + EPT	\$ 45.000,00	\$ 30.000,00
suelo + EPT RECICLADO	\$ 13.500,00	\$ 61.500,00

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con base a lo anterior se colocaron los precios de cada una de la mezcla según la proporción previamente hallada y por último se hizo la diferencia de precios con base al rajón que fue el más caro.

8.7. Criterios para la estabilización con PET reciclado

Lo primero que hay que verificar para que la estabilización con este compuesto sea optima, es comprobar que el tipo de suelo sea similar al arrojado por la investigación, dado que el proyecto está enfocado al suelo del área propuesta, por lo que no se asegura que arcillas, limos, etc. Puedan tener impacto positivo en su capacidad portante.

Lo segundo es comprobar que el diámetro del PET sea de 5mm aproximadamente ya que el tener partículas de diferentes tamaños puede alterar la composición de la muestra.

Según la investigación la proporción con mejores resultados es del 50% suelo-PET, entonces, dado que la densidad del “icopor” es muy baja, utilizar el 50% de PET en relación con el peso del suelo da como consecuencia una cantidad de “icopor” demasiada alta e inviable. por lo que se propone utilizar en relación al volumen del material, es decir para un 1m³ de suelo a estabilizar se debe mezclar con 0.5m³ de PET. igual como se tomó el análisis económico.

Realizar una buena mezcla suelo- “icopor”, debe tener en cuenta la estratigrafía del suelo, ya que puede ser que la capa de arena limosa o el suelo que se va a estabilizar sea corta y pueda como consecuencia mezclar dos tipos de suelo con el PET.

Por último, se debe hallar el contenido de humedad optimo del suelo, para su compactación. con el fin de sellar el material para que se pueda proseguir con la capa de pavimento propuesta en el diseño de pavimentos.

9. Diseño de pavimento

Con el fin de dar más soporte a la investigación, se diseñaron 2 alternativas de pavimento rígido, para comparar la efectividad del suelo modificado con PET respecto al suelo original, las metodologías utilizadas para el diseño fueron la invias y PCA, dado que el CBR es una de las variables imprescindibles para establecer los grosores de la base granular como la de la losa de concreto.

9.1. Alternativa PCA con el suelo natural

Los siguientes datos fueron utilizados para el diseño del pavimento rígido con el único cambio en su CBRdiseño.

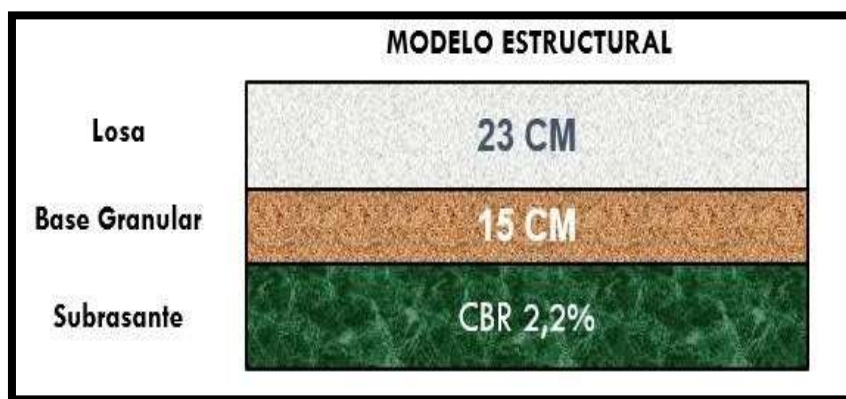
Tabla 21 Datos de entrada para diseño PCA alternativa 1

DATOS	
CBRdiseño%	2,2
losa de crecimiento (r%)	4,6%
periodo de diseño (n)	20
temperatura media	26,1
dias de lluvia en una año	197
% de lluvia	53,97
característica del drenaje	regular
condiciones ambientales y de drenaje (cd)	0,9000
transito promedio diario (TPD)	720
numero de ejes equivalentes (N8,2)	
clasificación de la via	Carreteras Locales
clasificación urbana o rural	Urbana
confiabilidad (R)	65
proyecto de pavimento	Construcción nueva
error normal combinado (So)	0,35
ley normal centrada (Zr)	-0,393
servicialidad inicial (Po)	4,2
tipo de via	Calles comerciales e industriales
servicialidad final (Pf)	2,25
tipo de losa	Juntas con pasadores, losa confinada
coeficiente de transferencia de cargas (J)	2,7
modulo de rotura (Mpa) Concreto	4,3
ΔPSI	1,95
clase de la via	Segundaria
factor de seguridad	1,1
factor carril k2	50
proyeccion de trafico k3	1,3
Via de dos carriles bidireccionales	

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

La metodología es compleja de explicar y el documento se extendería en algo que solo es de apoyo para la investigación, pero de manera somera la metodología consiste básicamente, en que los grosores de la losa y de la base granular no excedan los límites de esfuerzo por fatiga y erosión y tampoco estén muy cerca del límite por temas de integridad del pavimento.

Figura 56 Modelo estructural alternativa 1



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

De igual manera estos esfuerzos pueden disminuir si la subrasante posee un CBR bueno, dado que al tener un CBR excelente repercute en los grosores de la estructura de pavimento que a su vez se ven reflejados en los esfuerzos, es decir, si por ejemplo tengo un CBR muy pequeño tendría que aumentar los grosores para que cumplieran los límites de erosión y fatiga, en caso contrario al tener un CBR mayor los grosores del pavimento disminuyen sin afectar los esfuerzos de erosión. pero si en el factor económico que sería más rentable. Por conclusión viable.

Como se evidencio en la figura 56, utilizando el CBR del suelo natural nos arrojó una losa de 23cm con una base granular de 15cm cabe destacar que los espesores mínimos recomendados para una losa es 18cm y una base granular de 15cm.

9.2. Alternativa PCA con el suelo modificado al 50% de PET

En la alternativa con uso de mezcla suelo-PET al 50%, donde se obtuvo un CBR del 3.3% se realizó el mismo procedimiento de diseño arrojando resultados positivos.

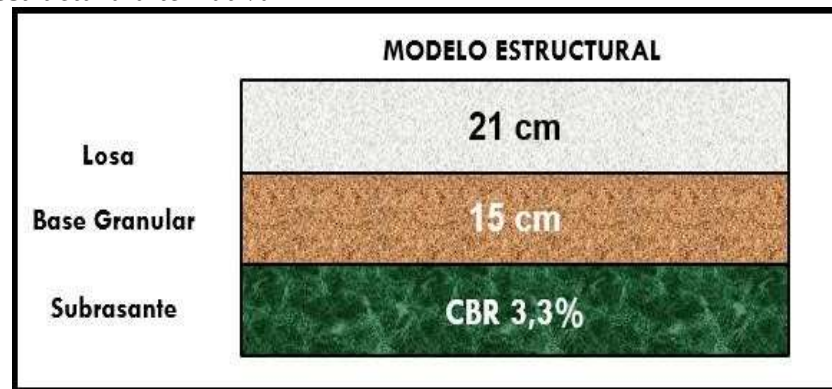
Figura 57 Datos de entrada para diseño alternativa 2

DATOS	
CBRdiseño%	3,3
tasa de crecimiento (r%)	4,6%
periodo de diseño (n)	20
temperatura media	26,1
días de lluvia en una año	197
% de lluvia	53,97
caracteristica del drenaje	regular
condiciones ambientales y de drenaje (cd)	0,9000
transito promedio diario (TPD)	720
numero de ejes equivalentes (N8,2)	
clasificacion de la via	Carreteras Locales
clasificacion urbana o rural	Urbana
confiabilidad (R)	65
proyecto de pavimento	Construcción nueva
error normal combinado (So)	0,35
ley normal centrada (Zr)	-0,393
servicialidad inicial (Po)	4,2
tipo de via	Calles comerciales e industriales
servicialidad final (Pf)	2,25
tipo de losa	Juntas con pasadores, losa confinada
coeficiente de transferencia de cargas (J)	2,7
modulo de rotura (Mpa) Concreto	4,3
ΔPSI	1,95
clase de la via	Secundaria
factor de seguridad	1,1
factor carril k2	50
proyeccion de trafico k3	1,3
Vía de dos carriles bidireccionales	

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El modelo estructural de esta alternativa disminuyo el grosor de la losa en 2cm es decir que el mejoramiento con PET nos ahorró una cantidad de concreto considerable, el grosor de base granular se mantiene en su mínimo.

Figura 58 Modelo estructura alternativa 2



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

9.3. Alternativa INVIAS

la metodología INVIAS es más sencilla y sus resultados fueron los mismos para los dos diferentes de tipos de CBR, esta metodología es más usada para chequear y verificar que los espesores tenga coherencia, pero a recomendación del investigador es preferible utilizar la metodología PCA ya que se tienen en cuenta ciertos factores como la fatiga y erosión.

Tabla 22 Tipos de subrasante

TIPO	CBR [%]
S1*	< 2
S2	2-5
S3	5-10
S4	10-20
S5	>20

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

En la imagen anterior se logra evidenciar que los dos CBR obtenidos en los ensayos de laboratorio están dentro del mismo rango, por consecuencia, no van repercutir mucho en el espesor.

Tabla 23 Categoría de tránsito

CATEGORÍA	TPD	N
T0	0 – 200	$< 10^6$
T1	201 – 500	$1 \times 10^6 - 1.5 \times 10^6$
T2	501 – 1000	$1.5 \times 10^6 - 5 \times 10^6$
T3	1001 – 2500	$5 \times 10^6 - 9 \times 10^6$
T4	2501 – 5000	$9 \times 10^6 - 1.7 \times 10^7$
T5	5001 – 10000	$1.7 \times 10^7 - 2.5 \times 10^7$
T6	> 10000	$2.5 \times 10^7 - 1 \times 10^8$

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Dado a que nuestro transito es un NT2 con un TPD (transito promedio diario) 720 la categoría del tránsito fue de T2.

Tabla 24 Tipo de módulo de rotura

Módulo de rotura [kg/cm ²]	TIPO
38	MR1
40	MR2
42	MR3
45	MR4

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

El módulo de rotura del concreto especificado por la normatividad y usado en los diseños por PCA es 4.3 MPa lo cual elegimos el MR3.

Tabla 25 Espesores de losa de concreto en cm, para Trafico de T2

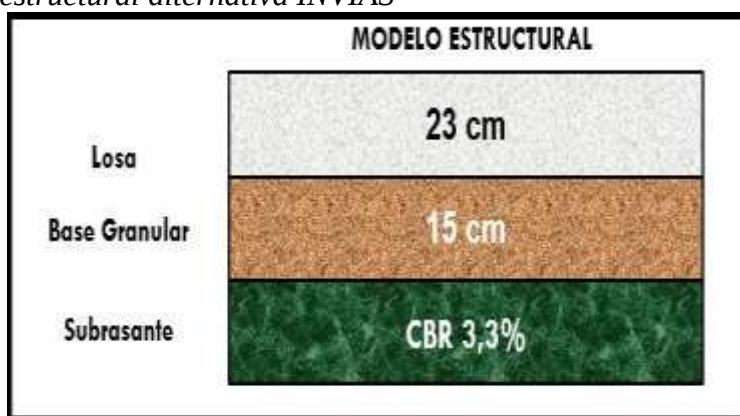
Losa apoyada sobre base granular de al menos 15 cm de espesor																
	S2				S3				S4				S5			
	D, B	D, no B	No D, B	No D, no B	D, B	D, no B	No D, B	No D, no B	D, B	D, no B	No D, B	No D, no B	D, B	D, no B	No D, B	No D, no B
MR1	23	27	25	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
MR2	23	27	25	27	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
MR3	23	26	23	26	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
MR4	22	26	23	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
Losa apoyada sobre base tratada con cementante hidráulico de al menos 15 cm de espesor																
MR1	21	24	23	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
MR2	20	23	23	24	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
MR3	20	23	21	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
MR4	19	22	21	23	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Con todas las variables obtenidas, se usó la tabla de espesores de losa para una base granular de al menos 15cm. se encontró que esta losa tendría un grosor de 23 cm, cabe resaltar que el pavimento rígido a diseñar cuenta con dovela y confinamiento lateral (D, B) respectivamente, ya que el uso de este ítem afecta el grosor, así se tomó para los diseños por PCA igualmente.

Finalmente se consigue el modelo estructural

Figura 59 Modelo estructural alternativa INVIAS



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Así se observa que los diseños tienen sinergia entre ellos y hay una coherencia, por lo que se puede decir, que fue un diseño acertado.

10. Presupuesto

Finalmente se planteó el costo total aproximado que tendría si realizáramos la calzada de dos carriles bidireccionales en la calle 8. La calle tiene una longitud de 285 m con un ancho de 7m.

Se propusieron 3 alternativas las cuales se evidencian los costos de hacer la vía utilizando el suelo natural, con modificación PET reciclado y con un mejoramiento de suelo cemento.

En la siguiente grafica se evidencia de manera resumida el costo de construcción de la calle 8, en sus diferentes tipos de mejoramiento, los costos finales vienen de APU (Análisis de precios unitarios) que se realizaron tomando como guía los costos establecidos por el INVIAS. excepto el precio actual de bulto de cemento y el “icopor reciclado” que fueron implementados del análisis de costo previo.

Figura 60 Presupuesto de las 3 alternativas



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

Como se evidencio en la figura 60,F hay una diferencia considerable, entre el mejoramiento con cemento y sin mejoramiento respecto al PET en cifras específicas, utilizando el suelo PET hay un ahorro del \$166,296,369 respecto al suelo cemento y de \$16,711,512 respecto al suelo natural, esto para un tramo de vía de 285 metros.

10.1. Modelo de la vía

Finalmente se modeló lo que podría ser el resultado de la vía terminada, la imagen de la izquierda representa como sería la unión de la calle 8 con el anillo vial y la de la derecha es una representación de la vía más a fondo.

Figura 61 Modelado de calle 8



Nota: Adaptado por (William Herrera,2021)

11. Conclusiones

- Al utilizar diferentes proporciones de 25% y 50% en volumen de perlas de EPS, los resultados indican la disminución tanto en peso húmedo como la densidad seca del orden de 10% y 13% menos en promedio respecto a una mezcla que no contiene perlas de EPS.
- Como consecuencia son mezclas más ligeras comparándola con un mejoramiento con rajón.
- Según los resultados del ensayo de CBR, el “icopor” o poliestireno expandido resulta favorable como aditivo para la mejora la subrasante de la zona, puesto que aumenta la resistencia a la deformación de éste en 1.5% en condición sobre saturada. En condiciones normales puede haber un mejoramiento del doble con respecto a suelo natural. De manera que el utilizar EPT en arenas puede llevar el suelo que este por debajo del 5% de CBR a alcanzar lo mínimo requerido para una subrasante.
- Se realizaron todos los ensayos propuestos para el análisis técnico del proyecto, además de definir una tabla de resultados y la veracidad de su cumplimiento para estipular su uso no solamente como mejoramiento sino como material para subbase y base granular con respecto a la norma INVIAS, incumpliendo con algunos requisitos (CBR, Límite Líquido,).
- por lo que esta mezcla no se podría utilizar para esos propósitos.
- El uso poliestireno expandido reciclado como aditivo para mejorar la subrasante, no solo cumple con los estándares económicos estimados, sino que también contribuye al medio ambiente, por lo que puede proteger los recursos naturales y reducir el impacto del uso de materiales derivados del plástico.
- Sin duda, agregar poliestireno reciclado (si solo se usa este poliestireno reciclado) puede reducir significativamente el costo (\$ 61.500 por M3), por lo que este es un factor positivo para la viabilidad económica del proyecto de la carretera.

- El uso del PET reciclado como mejoramiento trae consigo resultados positivos en lo económico específicamente del 5% respecto a un suelo sin modificar y un 32% respecto a una estabilización con cemento.

12. Referencias

- Árboricultura y Medioambiente. (16 de 05 de 2021). árboles, jardines, medio ambiente y sociedad.
<http://www.arbolesymedioambiente.es/corcho.html>
- Barrero Sanchez, D. A. & Cardona, C. M. & Soto Marroquin, J. D. (2018). modulo de afirmados. Ibague.
- Das, B. M. (2013). Fundamentos de Ingenieria Geotecnica (Cuarta edición ed.). Cengage Learning.
- Diario el Tiempo. (2019). Colombia viene creciendo en reciclaje.
<https://www.eltiempo.com/vida/medio-ambiente/que-porcentaje-de-residuos-y-materiales-recicla-colombia-363052>
- Google Maps. (13 de 5 de 2021). Ubicación geográfica del estudio.
<https://www.google.com/maps/@4.1313508,-73.6076726,17.29z?hl=es>
- Horvath., J. (1995). Geofoam geosynthetic.
https://www.researchgate.net/publication/333076994_Geofoam_Geosynthetic
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2020). Precipitaciones y climatología. Ideam.
- Instituto Nacional de vías. (2013). CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestra inalterada. En INVIAS, Normas de ensayo de materiales. Invias
- Instituto Nacional de vias. (2014). Afirmado, Bases y Subbases. Invias
- Márquez Quintos, E. (2016). Aligeramiento de un suelo compactado con perlas de poliestireno expandido. [Trabajo de grado, Universidad Autónoma de México]. Repositorio.
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/6250/1/Tesis.pdf>
- Monsalve Escobar, L. M. & Giraldo Vásquez, L. C. & Maya Gaviria, J. (2012). diseño de pavimento flexible y rígido. Armenia. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.sistemamid.com%2Fpanel%2Fuploads%2Fbiblioteca%2F2014-04-29_03-02-0798398.pdf&cldn=4922188&chunk=true
- Organización De Las Naciones Unidas, ONU. (11 de 10 de 2020). Objetivos De Desarrollo Sostenible.
<https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-12responsible-consumption-and-production.html>

- Ortega Ordoñez, C. & Almeida Avila, C. (2014). Uso de bloques de poliestireno expandido en terraplenes. [Trabajo de grado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2972/1/T-UCE-0011-131.pdf>
- Ramirez Jimenes, L. M. (2011). Pavimentos con polímeros reciclados. [Trabajo de grado, Escuela de Ingeniería de Antioquia]. Repositorio. https://www.academia.edu/37335810/Pavimentos_con_Pol%C3%ADmeros_Reciclados_Lina_Marcela_Ram%C3%ADrez_Jim%C3%A9nez
- Romo, A. O. (2009). Micro-and macro-mechanical study of compressive behavior of expanded polystyrene geofam. Geosynthetics international. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/gein.2009.16.5.327>
- Rueda, S. I. (2017). Cálculo del índice de condición del pavimento articulado en un tramo de vía urbana del municipio de La Calera Cundinamarca. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10654/16519>.
- Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la investigación. 10ª ed. Mc Grawhill.
- Servicio Geológico colombiano, S. (16 de 5 de 2021). Atlas geológico colombiano 2015. http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Atlas_Geologico_colombiano_2015/
- Servicio Geológico colombiano, S. G. (4 de 09 de 2020). Geoportal. SGC. <https://www2.sgc.gov.co/sgc/mapas/Paginas/geoportal.aspx#>
- Textos Científicos. (7 de 11 de 2020). Poliestireno expandido. <http://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno-expandido>
- Wikipedia. (13 de 5 de 2021). Información general del departamento del Meta Colombia) [https://es.wikipedia.org/wiki/Meta_\(Colombia\)#/media/Archivo:Meta_in_Colombia_\(mainland\).svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Meta_(Colombia)#/media/Archivo:Meta_in_Colombia_(mainland).svg)