

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE SOPORTE DE SUB
RASANTE CON INCORPORACIÓN DEL TEREFTALATO DE
POLIETILENO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO**

PRESENTADO POR:

Bach. EFRAIN PABLO QUISPE RIVERA

Línea de Investigación: Nuevas Tecnologías y Procesos.

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

HUANCAYO – PERÚ

2022

CONTRATAPA

ING. CHRISTIAN MALLAUPOMA REYES
ASESOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a nuestro divino creador, quien me ha otorgado la vida, salud y sabiduría para el logro de mis metas trazadas en esta investigación.

AGRADECIMIENTO

A la universidad Peruana los Andes, que me forjo académicamente y confirió las tecnologías adecuadas.

A los catedráticos, que intervinieron con su conocimiento y experiencia en mi formación.

HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

Dr. RUBEN TAPIA SILGUERA
PRESIDENTE

JURADO

JURADO

JURADO

Mg. LEONEL UNTIVEROS PEÑALOZA
SECRETARIO GENERAL

ÍNDICE

CONTRATAPA.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPITULO I	18
EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.1. Planteamiento del problema	18
1.2. Formulación y sistematización del problema	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos	19
1.3. Justificación	19
1.3.1. Práctica	19
1.3.2. Teórica	20
1.3.3. Metodológica	20
1.4. Delimitaciones	20
1.4.1. Espacial	20
1.4.2. Temporal	20
1.4.3. Económica	21
1.5. Limitaciones.....	21
1.6. Objetivos.....	21
1.6.1. Objetivo general	21
1.6.2. Objetivos específicos.....	21
CAPITULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.1.1. Internacionales	22

2.1.2. Nacionales.....	25
2.2. Marco conceptual	27
2.2.1. Teorías de la investigación.....	27
2.2.1.1 Subrasante	27
2.2.1.2 Estabilización de suelos	30
2.2.1.3 Otros métodos de estabilización.....	39
2.2.1.4 Polímeros reciclados	41
2.2.1.5 Obtención de polímeros reciclados para el trabajo de investigación	
44	
2.3. Marco normativo	45
2.4. Definición de términos	47
2.5. Hipótesis.....	48
2.5.1. Hipótesis general.....	48
2.5.2. Hipótesis específicas.....	48
2.6. Variables.....	48
2.6.1. Definición conceptual de la variable	48
2.6.2. Definición operacional de la variable	48
2.6.3. Operacionalización de la Variable	49
CAPÍTULO III	50
METODOLOGÍA	50
3.1. Método de investigación	50
3.2. Tipo de Investigación.....	50
3.3. Nivel de investigación	50
3.4. Diseño de investigación.....	50
3.5. Población y muestra	51
3.5.1. Población.....	51
3.5.2. Muestra	51
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	51
3.7. Procesamiento de la información.....	52
3.8. Técnicas y análisis de datos	52
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS.....	53
4.1. Presentación de resultados específicos	53

CAPÍTULO V	86
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
5.1. Discusión de resultados específicos.....	86
CONCLUSIONES	89
RECOMENDACIONES	90
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91
ANEXOS	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – Categorías de la subrasante	28
Tabla 2 – Variables de investigación.....	49
Tabla 3 – Operacionalización de las variables.....	49
Tabla 4 – Numero de muestras para las propiedades físicas.	51
Tabla 5 – Numero de muestras para las propiedades mecánicas.	51
Tabla 6 – Resultados de la granulometría.	53
Tabla 7 – Contenido del porcentaje por material.....	54
Tabla 8 – Resumen del contenido de humedad.....	54
Tabla 9 – Características plásticas del suelo.	55
Tabla 10 – Clasificación de suelos.....	56
Tabla 11 – Resultados de proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno.....	56
Tabla 12 – Resultados de CBR sin la adición del tereftalato de polietileno.	59
Tabla 13 – Resultados de proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	62
Tabla 14 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	65
Tabla 15 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	68
Tabla 16 – Resultados de CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	71
Tabla 17 – Resultados de CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	74
Tabla 18 – Resultados de CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.....	77
Tabla 19 – Resumen general del ensayo de proctor modificado.	80
Tabla 20 – Resumen general del ensayo de CBR.	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Diagrama de flujo para la selección del estabilizador de suelo.....	31
Figura 2- Curva de compactación calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	57
Figura 3- Curva de compactación calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	57
Figura 4- Curva de compactación calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	58
Figura 5- Curva de compactación calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	58
Figura 6- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	60
Figura 7- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	60
Figura 8- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	61
Figura 9- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.....	61
Figura 10- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	62
Figura 11- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	63
Figura 12- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	64
Figura 13- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.....	64
Figura 14- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	65
Figura 15- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	66
Figura 16- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.....	67

Figura 17- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	67
Figura 18- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	68
Figura 19- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	69
Figura 20- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	70
Figura 21- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	70
Figura 22- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	72
Figura 23- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	73
Figura 24- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	73
Figura 25- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.	74
Figura 26- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	75
Figura 27- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	75
Figura 28- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	76
Figura 29- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.	76
Figura 30- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	77
Figura 31- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	78
Figura 32- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	78

Figura 33- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.	79
Figura 34- Evolución de los valores de la máxima densidad seca.....	81
Figura 35- Tendencia creciente de los valores de la máxima densidad seca. .	81
Figura 36- Evolución del optimo contenido de humedad.	82
Figura 37- Tendencia decreciente del optimo contenido de humedad.....	82
Figura 38- Evolución de los valores del CBR al 100%.	83
Figura 39- Tendencia creciente de los valores del CBR al 100%.	84
Figura 40- Evolución de los valores de CBR al 95%.	84
Figura 41- Tendencia creciente de los valores de CBR al 95%.	85

RESUMEN

La investigación tuvo como problema general: ¿ Es necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante?, el objetivo general fue: Evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante, y la hipótesis general fue: Si fue necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno, por cuanto mejora la baja capacidad de soporte de la subrasante; a su vez cumple con lo estipulado por el MTC (2008).

El método de investigación fue el científico, el tipo de investigación fue aplicada, el nivel de investigación fue explicativo y el diseño de investigación fue cuasi experimental. La población correspondió al suelo para subrasante con adición de tereftalato de polietileno.

La conclusión general fue: Después de agregar tereftalato de polietileno, se mejorarán las propiedades mecánicas del suelo de la subrasante. De acuerdo con la clasificación de suelos SUCS, se encontró que el suelo era arcilloso con baja plasticidad. Asimismo, se menciona que los suelos naturales de la parte en estudio tienen pobre granulometría, gran cantidad de finos y escasez de grava.

Palabras claves: Tereftalato de polietileno, estabilizador, suelo y subrasante.

ABSTRACT

The research had as a general problem: How does the incorporation of polyethylene terephthalate improve the low bearing capacity of the subgrade? The general objective was: Evaluate the incorporation of polyethylene terephthalate in the improvement of the low bearing capacity of the subgrade. , and the general hypothesis was: The incorporation of polyethylene terephthalate improves the low bearing capacity of the subgrade; in turn, it complies with the provisions of the MTC (2008).

The research method was scientific, the type of research was applied, the research level was explanatory, and the research design was quasi-experimental. The population corresponded to the subgrade soil with the addition of polyethylene terephthalate.

The overall conclusion was: With the addition of polyethylene terephthalate, there will be an improvement in the mechanical properties of the subgrade soil. The soil found is clayey and of low plasticity according to the SUCS soil classification. Likewise, it should be mentioned that the natural soil of the section under study presented a poor granulometry, a large presence of fines and a lack of gravel.

Keywords: Polyethylene terephthalate, stabilizer, soil and subgrade.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la ingeniería vial está evolucionando a gran escala tanto en nivel de investigación como en la aplicación de nuevas tecnologías, debido a ello, se genera el impulso de numerosos proyectos de infraestructura vial, los cuales brindan el paso a la población, permitiendo conectar los diferentes centros rurales y urbanos para que se integren garantizando mejorar la calidad de vida de las personas y el desarrollo de todo un país. Esto se puede estimar en las nuevas construcciones de carreteras, caminos vecinales u trochas y otros proyectos viales.

La infraestructura vial del Perú se ve afectada debido a que la mayoría de pavimentos a medida del tiempo se deterioran por el aumento del tráfico los cuales los hace vulnerables a cargas pesadas y efectos climáticos, etc., por ello esto se considera un gran problema en el ámbito vial, ya que estas deben cumplir con ser eficientes, rentables, confiables, y ecológicamente sostenibles. Sin embargo, muchas de las obras viales que se proyectan en nuestro país están cimentados en suelos de baja capacidad portante, este es uno de los factores que afecta directamente a los pavimentos, es por ello que antes de la ejecución de una obra vial se debe saber si el terreno de fundación cumple con la resistencia adecuada, en el caso que no cumpliera con lo mencionado necesitarán ser mejorados o cambiados. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) hace mención de diferentes métodos para mejorar los terrenos de fundación deficientes de un pavimento, utilizando cal, cemento, escoria, cloruro de sodio, cloruro de magnesio, etc., dependiendo del tipo de suelo e importancia de la vía, cumpliendo los parámetros exigidos por el mismo.

Existen otras materias con las que se puede mejorar un terreno que no están dadas por el MTC o alguna otra Normativa, como por ejemplo los polímeros PET, el cual actualmente es considerado como un residuo sólido que afecta al medio ambiente. En el Perú la cantidad de plástico PET es alrededor de 50 mil toneladas por año, es por ello que a este material se le puede dar uso para mejorar el diseño estructural de un pavimento, siendo una gran alternativa para el ámbito de la construcción y la sostenibilidad del medio ambiente.

Para el entendimiento del tema investigado, la tesis se encuentra dividido mediante capítulos, explicándose cada capítulo de una manera directa y concreta en relación al tema investigado.

En el capítulo I, se describe el planteamiento del problema, formulación y sistematización del problema, la justificación, las delimitaciones, limitaciones y los objetivos de la investigación.

En el capítulo II, se redacta los antecedentes (internacionales y nacionales), el marco conceptual, la definición de términos, el planteamiento de las hipótesis y la identificación de variables de la investigación.

En el capítulo III, se redacta la metodología aplicada, describiéndose el método, tipo, nivel, diseño, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, procesamiento de la información y técnicas de análisis de datos de la investigación.

En el capítulo IV, se plasma los resultados obtenidos sobre el uso del tereftalato de polietileno como estabilizador de suelo.

En el capítulo V, se da la discusión de los resultados obtenidos sobre el diseño del pavimento rígido, y poder formular las respectivas conclusiones y recomendaciones a la investigación desarrollada, y finalmente redactar las referencias bibliográficas utilizadas en el desarrollo de la investigación.

En la parte final de la investigación, se anexan la documentación que sustenta el desarrollo de la investigación.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El actual crecimiento de la población va con un incremento del consumo; generando grandes desperdicios de residuos entre ellos el plástico; pues es justamente este material que, según Arbeláez y Góngora (2019) es el que más se ha producido en los últimos años pues solo en el 2011 la cantidad de plástico producido osciló entre 220 000 y 280 000 toneladas, valores que en la actualidad según Greenpeace (2018) se ha incrementado hasta 8 millones de toneladas. En el Perú, según Zenteno (2018) además de generar grandes cantidades de plásticos estos no tienen un correcto acondicionamiento, debido esencialmente a una falta de política en limpieza y recolección de estos residuos.

Otra problemática, corresponde la inestabilidad del suelo que se presenta en vías no pavimentadas a nivel mundial (Gutiérrez, 2010) pues este tipo de vías al ser la forma menos costosa de inversión para conectar poblados en zonas rurales, es la más construida; no obstante, según Ulate (2017) indica que en los pasados 100 años una gran variedad de tratamientos se han desarrollado sin embargo resultan ser costosos o peligroso al medio ambiente.

En el Perú, los caminos vecinales en su mayoría afirmados constituyen los tramos finales de la red vial, siendo esta la red vial más extensa; no obstante, estos están ubicados en zonas con elevadas pendientes y gran diversidad geográfica los cuales debido a una falta de tratamiento la transitabilidad es complicada pues el tipo de suelo no soporta las inclemencias del clima ni las cargas diarias, debido a una falta de tratamiento del terreno natural que actúa como subrasante.

En este contexto los plásticos (PET), han tomado relevancia, pues de acuerdo a Arbeláez y Góngora (2019) su uso en diversos campos de la

ingeniería ha resultado satisfactorio; además como se ha mencionado su abundante fabricación y mala disposición está perjudicando al medio ambiente por lo que es importante estudiar diversas alternativas de uso.

En base a lo mencionado, la presente investigación pretende utilizar el tereftalato de polietileno (PET) que permita mejorar las propiedades del suelo de la subrasante de baja capacidad de soporte.

1.2. Formulación y sistematización del problema

Ante esta disposición se plantea la siguiente interrogante como problema general:

1.2.1. Problema general

¿Es necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante?

1.2.2. Problemas específicos

a) ¿Cuál será la capacidad de soporte de la subrasante para la incorporación del tereftalato de polietileno?

b) ¿Qué porcentajes del tereftalato de polietileno mejora la capacidad de soporte de la subrasante?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica

Según Bernal (2006). Si se pretende dar solución a problemas reales, existen razones sociales o prácticas; en ese sentido, esta investigación pretende dar una alternativa de uso al tereftalato de polietileno reciclado, que se utiliza principalmente en envases de bebidas, contamina el medio ambiente por su inadecuada disposición; así mismo, está diseñado para abordar el problema de la mala calidad del suelo como lecho de carretera, según lo recomendado por el MTC.

1.3.2. Teórica

El propósito de este estudio es brindar conocimiento sobre el uso del tereftalato de polietileno, no existen muchos usos individuales para este material, principalmente para estabilizar apoyos bajos mediante la adición de tereftalato de polietileno u otros usos similares. A través de esta investigación, los resultados se pueden sistematizar en recomendaciones para abordar dichos suelos, y de esta manera se puede integrar el conocimiento al campo de la ingeniería, ya que se ha demostrado que el uso de dichos materiales incide en la mejora del suelo, principalmente en las propiedades físicas y mecánicas como la capacidad de carga de la subrasante.

La recopilación de los resultados obtenidos en el laboratorio, que posteriormente se procesa, servirá como base de datos para estudios de seguimiento relacionados con la ingeniería vial, así como nuevas tecnologías y procesos, ya que se trata de un estudio innovador.

1.3.3. Metodológica

La investigación hace una justificación metodológica ya que presenta una serie de pasos o procedimientos que enriquecen el levantamiento, y la investigación establece un método para determinar el porcentaje óptimo de tereftalato de polietileno reciclado en suelos de subrasante.

1.4. Delimitaciones

1.4.1. Espacial

El desarrollo de la investigación se dio en la ciudad de Huancayo - Junín.

1.4.2. Temporal

La investigación tuvo una duración de 04 meses, el cual comprendió desde el mes de julio a octubre del año 2021.

1.4.3. Económica

Los costes económicos incurridos en la elaboración de este trabajo de investigación no constituyen una limitación en la parte económica. El investigador de esta tesis corre con los gastos mencionados en su totalidad.

1.5. Limitaciones

Arias (1999), indica que las limitaciones “son obstáculos que eventualmente pudieran presentarse durante el desarrollo de la investigación. La falta de cooperación de los encuestados al suministrar la información es un ejemplo de una limitación u obstáculo confrontado por el investigador”.

UAP (2009), menciona que, “las limitaciones de la investigación se refieren a las restricciones de tiempo, recursos humanos y financieros que tiene el investigador para desarrollar la investigación”.

Principalmente la limitación de la investigación se centró en los escasos trabajos de investigación relacionados a las evaluaciones de la capacidad de soporte de la sub rasante con la incorporación del tereftalato de polietileno en la ciudad de Huancayo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante.

1.6.2. Objetivos específicos

- a) Determinar la capacidad de soporte de la subrasante para la incorporación del tereftalato de polietileno.
- b) Evaluar los porcentajes de incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Arbelález y Góngora (2019) en su investigación “Refuerzo de estructuras terreras utilizando tereftalato de polietileno (PET)”, demostró el proceso para mejorar un suelo de características arcillosas (arcilla de alta plasticidad CH), para lo cual realizó un estudio experimental que consistió en inclusiones aleatorias de PET en el suelo, la forma en que usó el material fue mediante tiras de fibras recicladas de 8 cm de largo, 2 mm de ancho y 0.5 mm de espesor. El trabajo experimental consistió en una muestra alterada, en la que se le ha incorporado PET en 0.3, 0.8, 1, 1.2 % con respecto al peso de las probetas de suelo; en ese sentido elaboró 45 probetas cilíndricas de 4pulgadas de alto y 2pulgadas de diámetro. Como resultado obtuvo que el material de refuerzo con fibras de PET mejora el comportamiento del suelo hasta en un 137.24% con respecto a la resistencia al corte, especialmente en el espécimen con mayor cantidad de PET y mayor compactación.

Arteaga (2018) en su investigación “Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado” comparó el comportamiento de la base granular modificada con cemento, reemplazando el 2, 4 y 6 % de material granular con PET reciclado tipo escama N°4, con la finalidad de establecer si puede ser utilizado como estabilizante. En este sentido para obtener los resultados realizó ensayos en laboratorio que consistió en un análisis granulométrico del suelo, la determinación del equivalente de arena de suelos y agregados finos, la evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos INVE-224, el valor de azul metileno en agregados finos

y llenantes minerales INVE-235-12, contenido de vacíos, contenido de vacíos, ensayo de resistencia a la abrasión y el ensayo de CBR. Como resultado obtuvo que para una mayor cantidad de PET reciclado se requiere mayor cantidad de cemento; asimismo, estableció que el 2 % de PET tiene un buen comportamiento como aditivo en bases granuladas estabilizadas con cemento, por lo que es factible reemplazar el material N° 4. En conclusión, la utilización de PET en la construcción de la base cemento para pavimentos es viable.

Bustos (2016) en su investigación “Análisis del comportamiento de base granular estabilizada con cemento sustituyendo con material no biodegradable tereftalato de polietileno (PET) en la fracción del agregado que pasa el tamiz #4 y se retiene en el #16”, analizó las características físico-mecánicas de una base estabilizada con cemento empleando plástico (PET), por medio de sustituciones progresivas en el material granular en porcentajes de 25, 50, 75 y 100 %, con el fin de determinar si, este material es viable para poder utilizarse en la base estabilizada con cemento; para tal fin realizó un estudio experimental que se basó en un análisis granulométrico del suelo, la determinación del equivalente de arena de suelos y agregados finos, la evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos INVE-224, el valor de azul metileno en agregados finos y llenantes minerales INVE-235-12, contenido de vacíos, contenido de vacíos, ensayo de resistencia a la abrasión y el ensayo de CBR. Como resultado obtuvo que para un 25, 50, 75 y 100 % de PET la resistencia se incrementó en 197, 113, 118 y 123 % respectivamente, indicando así que a medida se incrementa la cantidad de PET y la cantidad de cemento se mantenga constante la resistencia tiende a bajar. Como conclusión el material granular usado para la investigación, cumplió con todos los requerimientos en cuanto a la caracterización y para el diseño de la base estabilizada con cemento, obteniendo

un porcentaje óptimo de 3.25% para un esfuerzo mínimo de 3.5 MPa. Además, que la mezcla del material con PET en todos sus porcentajes de sustitución, logra obtener una resistencia entre 3.5 a 7 MPa.

Díaz et al. (2012), sustentaron su tesis “Reutilización del Desecho de PVC como Agente Estabilizador de Sub-Bases Granulares”. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingenierías. Univ. de la Costa CUC, Barranquilla. En esta tesis se busca desarrollar un proceso metodológico para estabilizar subbases granulares utilizando el PVC reciclado en porcentajes de 2%, 4% y 6%, para mejorar la capacidad portante de las subbases, disminuyendo su permeabilidad y haciéndolo más durable ante la erosión que puedan generar las cargas sobre estas. Analiza en primer lugar las características del material sin la adición del estabilizante y luego con la adición de él y concluyendo que la adición del PVC provoca la pérdida de humedad y densidad, aumentando la resistencia a la penetración a partir del 2% de inclusión de residuos del estabilizante.

Ortiz (2013), sustentó su tesis “Suelos Arcillosos Reforzados con Materiales de Plástico Reciclado (PET)”. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Univ. EIA, Antioquia. Este proyecto de grado de López Ortiz busca el perfeccionamiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos, agregando fibras de 3,0 y 5,0 cm de longitud de PET (polietileno Tereftalato) reciclado. Se prepararon 48 probetas de suelo con 4 porcentajes diferentes de fibra de PET (0,2%, 0,5%, 1,0% y 1,5% del peso del suelo). Mediante ensayos de compresión simple se encontró el cambio generado en el suelo debido a las fibras. Los resultados obtenidos mediante la investigación de López Ortiz demostraron una mejora en los parámetros evaluados en los ensayos, se debe tener en cuenta que porcentaje de fibra puede agregarse y que longitudes son aptas para moldear apropiadamente las probetas.

Finalmente se ha encontrado que los porcentajes ideales se encuentran entre el 0,2 y 2% siendo las longitudes de fibras menores las más idóneas para que se puedan homogeneizar mejor.

Muñoz (2012), sustentó sus tesis “Estudio del Uso del Polietileno Tereftalato (PET) como Material de Restitución en Suelos de Baja Capacidad de Carga”. Tesis de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Univ. Nacional Autónoma de México, México DF. En esta tesis de Liliana Muñoz se estudia el comportamiento mecánico del PET bajo esfuerzos de compresión estáticos mediante pruebas de laboratorio para elegir en primer lugar el que poseyera las mejores características con respecto a relación peso-resistencia, accesibilidad y menor deformación. En una segunda etapa estas botellas fueron rellenas con bolsas de plástico para luego ser evaluadas mediante ensayos que fueron comparados con los envases vacíos y finalmente en la tercera etapa se evaluó el comportamiento de los envases en conjunto con configuraciones distintas evaluando la resistencia que tenían en conjunto e individualmente.

2.1.2. Nacionales

Zenteno (2018) realizó la investigación: “Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles del distrito de Puno”, planteó una alternativa para la reutilización de envases de Tereftalato de Polietileno (PET) como un agente estabilizador en suelos finos, siendo el objetivo evaluar el efecto de estabilización de suelo fino con tereftalato de polietileno en 2, 4, 6, 8 y 10 % en peso con relación al peso seco del suelo en estudio; para el desarrollo primero procedió con la obtención de la muestra (suelo fino) para luego analizarlo, el estudio se basó en un solo tipo de suelo y la medición de propiedades mecánicas mediante los ensayos de Proctor Modificado y California Bearing Ratio; como

resultados obtuvo que, el CBR referido al 100 % de la densidad seca máxima fueron de: 50.65, 20.39, 19.29, 18.38 y 17.36 % respectivamente; con lo que concluye que, al adicionar 2 % de PET se mejora considerablemente la capacidad de soporte al esfuerzo cortante (CBR), siendo apto para sub rasante y sub base a nivel de pavimentos flexibles, todo ello de acuerdo a lo requerido por la norma peruana (EG 2013).

Cuipal (2018) realizó la investigación: “Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018”, para ello realizó ensayos de CBR, expansión y densidad seca máxima considerando dosificaciones de 3, 6 y 9 % de polímero sintético en relación al peso seco de la muestra, siendo la dimensión del PET aquellos que pasan la malla $\frac{1}{2}$ ” hasta el retenido en la malla N° 4; a las conclusiones que llegó fueron que, el máximo CBR se obtuvo con la adición de 3 % de PET mejorando entre 0.3 a 0.6 % en relación a la muestra sin adición del polímero, respecto a la expansión concluye que, con la adición de 6 y 9 % de PET la variación volumétrica se da entre 1 a 2 % respecto al suelo natural y por último, en relación a la densidad máxima seca menciona que, los porcentajes considerados disminuyen entre 0.01 a 0.04 g/cm³ respecto a la densidad del suelo sin tratamiento.

Vargas (2017) en su investigación: “Efecto de la adición de fibra de polímeros reciclados en el valor del CBR de suelos granulares en pavimentos” adicionó fibras de PET con espesor de 1 a 2 mm en diferentes longitudes tales como 2, 3, 4 y 5 cm en dosificaciones de 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.50 y 1.75 %, realizando para cada porcentaje 3 ensayos de CBR y en cada longitud haciendo un total de 72 ensayos, donde incluyó contenido de humedad, granulometría, clasificación de suelos, proctor modificado y CBR; siendo así que, llegó a las siguientes conclusiones: las dosificaciones de 0.50 y 0.75 % con fibras de 40 mm son las que presentaron incremento

del CBR hasta en un 28 %; asimismo, considera para la aplicación de este aditivo en necesario el procesamiento del material de manera industrial a fin de reducir los costos.

Ramos (2014), sustento su tesis “Mejoramiento de Subrasantes de Baja Capacidad Portante mediante el Uso de Polímeros Reciclados en Carreteras, Paucará Huancavelica 2014”. Investigación de Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Univ. Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

En la presente investigación de Ramos se utilizaron las botellas de plástico reciclado PET como aditivo poder mejorar a aquellos suelos de baja capacidad portante de una carretera no pavimentada en Pucará-Paccho Molino en el distrito de Paucará-Acobamba Huancavelica dividiéndose en dos tramos a analizar, uno con suelo arcilloso con grava y arena y el otro suelo arcilloso con arena y muy carente de grava. En esta investigación se realizaron 22 ensayos de CBR para elegir la mejor dosificación para ser comparados con la adición de cal, además de los polímeros junto con la cal. Se concluyó que se recomienda utilizar la cantidad de 1,5% con dimensiones entre 5 y 10 mm, lo cual incrementa en un 26% el CBR y la expansión disminuye en un 1,5%.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Teorías de la investigación

2.2.1.1 Subrasante

Corresponde a la capa superficial de terreno natural, el espesor de análisis para la construcción de carreteras es de hasta 0.45 m mientras que, para rehabilitación los 0.20 m (MTC, 2008).

Tabla 1 – Categorías de la subrasante

Símbolo	Descripción	CBR
S0	Subrasante muy pobre	< 3 %
S1	Subrasante pobre	3 % - 5 %
S2	Subrasante regular	6 % - 10 %
S3	Subrasante buena	11 % - 19 %
S4	Subrasante muy buena	> 20 %

Fuente: MTC (2008)

La subrasante es la capa superficial de terreno natural, es el soporte de la estructura del pavimento. Para el diseño del pavimento se tendrá que sectorizar desde el punto de vista del suelo de fundación y según ello evaluar las propiedades mecánicas, físicas y químicas, en campo y laboratorio.

Para el diseño de pavimentos se consideran cuatro factores importantes: el primero es el tránsito, interesa para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado. El segundo factor es el clima, se tienen que considerar los efectos de las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. El tercer factor son los materiales disponibles, que son determinados para la selección de la estructura del pavimento más adecuada con respecto a la economía y técnica. Y el cuarto factor materia de estudio de la investigación es la subrasante, de la calidad de esta capa depende en gran parte el espesor que debe tener un pavimento, sea esta flexible o rígida como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de

soporte o resistencia a la deformación y los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste. (Montejo Fonseca, 2002)

De los factores mencionados a considerar en el diseño del pavimento, la problemática planteada en la presente investigación radica en la subrasante debido a que presenta un suelo arcilloso y con ello conlleva a una serie de problemas como la expansión y la baja capacidad portante que presenta.

Montejo (2002) afirma que: Usualmente, el ingeniero tiene que lidiar con el suelo que tiene que usar para un trabajo en particular y sus propiedades lo obligan a tomar una de las siguientes decisiones posibles:

- Aceptar el material tal cual, pero con la debida atención a las limitaciones que su calidad provoca en el diseño.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o cuando menos que la calidad obtenida sea la deseada. (p. 75)

Las propiedades importantes para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad, CBR), propiedades hidráulicas (coeficiente de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión). (Menéndez, 2013 b).

2.2.1.2 Estabilización de suelos

Es la mejora de las propiedades físicas y la preferencia por la resistencia mecánica y la persistencia de estas propiedades en el tiempo, cuya estabilidad puede lograrse mediante procesos mecánicos y la síntesis resultante de productos químicos, naturales o sintéticos; A menudo se instalan suelos inadecuados o de mala calidad para que funcionen como capas de subsuelo, cimientos firmes, subbases o cimientos (MTC, 2014).

La estabilización del suelo se define como la mejora de las propiedades físicas del suelo mediante procesos mecánicos y una combinación de productos químicos, naturales o artificiales. Es la estabilización, que generalmente se realiza en suelos con suelo pobre o suelo pobre, en cuyo caso se le conoce como suelo de cemento estabilizado, suelo calcáreo, suelo asfáltico y otros productos. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013 b).

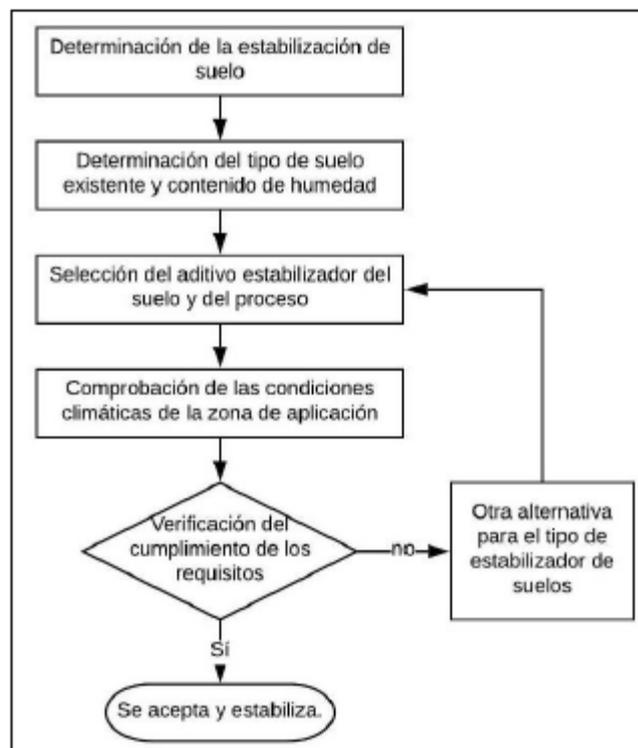
La estabilización del suelo implica hacerlo resistente a la ingeniería mecánica y la persistencia de estas propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde agregar otro suelo hasta incorporar uno o más estabilizadores. Cualquiera que sea el mecanismo de sujeción, va seguido de un proceso de compactado.

A continuación, se detallan algunos de los criterios recomendados por el MTC (2013b) para establecer la estabilidad del suelo:

- Se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con CBR \geq 6%. En caso de ser menor, será materia de un estudio para la estabilización, mejoramiento o reemplazo.

- Cuando la capa de subrasante sea arcillosa o limosa y, al humedecerse, partículas de estos materiales puedan penetrar en las capas granulares del pavimento contaminándolas, deberá proyectarse una capa de material anticontaminante de 10cm. de espesor como mínimo o un geotextil.
- Para establecer un tipo de estabilización de suelos es necesario determinar el tipo de suelo existente. Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son: los limos, las arcillas, o las arenas limosas o arcillosas.

Figura 1- Diagrama de flujo para la selección del estabilizador de suelo.



Fuente: MTC (2014).

Métodos de estabilización según el MTC: A continuación, se describen diferentes tipos de estabilizaciones recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

Cada tipo de estabilización se describe de forma resumida y se profundiza más en la estabilización suelo cal por adaptarse más al tipo de suelo estudiado para poder comparar con la estabilización de la presente investigación.

1.- Estabilización mecánica de suelos: Con la Estabilización Mecánica de Suelos se trata de mejorar el material del sustrato existente, sin modificar su estructura y composición básica. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización, se utiliza el proceso de compactado para reducir el tamaño de los poros en el suelo.

Al compactar el suelo conseguimos: una mayor densidad, por lo que repartiremos mejor las fuerzas que actúan sobre el suelo; mayor estabilidad, porque sin compactación el suelo se asentará de manera desigual, lo que conducirá a la desestabilización de la estructura; Reducir la contracción del suelo, ya que hay vacíos, lo que provoca la contracción y expansión del suelo en suelos arcillosos y, finalmente, esto conducirá a una disminución de la estabilidad. (Ravines 2010)

2.- Estabilización por combinación de suelos: La estabilización por consolidación de suelos tiene en cuenta la incorporación o mezcla de materiales de suelo existentes con materiales prestados, con el objetivo de suplir la escasez de arena o grava. El sustrato analizado en esta investigación contiene partículas más finas y menos arenilla, por lo que se le agrega PET para que pueda realizar una función similar a la arenilla.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se

colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. (MTC 2013 b)

3.- Estabilización por sustitución de los suelos:

Cuando se prevea la construcción de la subrasante mejorada solamente con material adicionado, pueden presentarse dos situaciones, sea que la capa se construya directamente sobre el suelo natural existente o que éste deba ser excavado previamente y reemplazado por el material de adición. En el primer caso, el suelo existente se deberá escarificar, conformar y compactar a la densidad especificada para cuerpos de terraplén, en una profundidad de quince centímetros (15 cm). Una vez se considere que el suelo de soporte esté debidamente preparado, autorizará la colocación de los materiales, en espesores que garanticen la obtención del nivel de subrasante y densidad exigidos, empleando el equipo de compactación adecuado. Dichos materiales se humedecerán o airearán, según sea necesario, para alcanzar la humedad más apropiada de compactación, procediéndose luego a su densificación. En el segundo caso, el mejoramiento con material totalmente adicionado implica la remoción total del suelo natural existente, de acuerdo al espesor de reemplazo. (MTC 2008 a)

El MTC 2013b nos muestra un procedimiento para determinar el espesor de reemplazo en función al valor

de soporte, el espesor de material a reemplazar se aplicará solo en casos de subrasantes pobres, con suelos de plasticidad media, no expansivos y con valores soporte entre $CBR \geq 3\%$ y $CBR < 6\%$.

4.- Suelos estabilizados con cemento: La composición del suelo y el cemento hace que el calcio reaccione con la sílice y la alúmina, dando como resultado silicatos y aluminatos que aumentan gradualmente la fuerza de la mezcla, lo que se conoce como actividad puzolánica (Montejo Fonseca, 2002).

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí.

Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto (MTC 2008 a).

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo Proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen del tipo y cantidad de suelo, cemento y agua; ejecución; edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

Los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$). La resistencia

del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. (Menéndez, 2013b)

5.- Estabilización con cloruro de sodio: La desventaja de este método es que puede ser lavada por el agua, por lo cual presenta poca durabilidad en la capa estabilizada (Montejo Fonseca, 2002).

El principal uso de la sal es como control del polvo en bases y superficies de rodadura para tránsito ligero. También se utiliza en zonas muy secas para evitar la rápida evaporación del agua de compactación. La sal es un estabilizante natural, compuesto aproximadamente por 98% de NaCl y un 2% de arcillas y limos, cuya propiedad fundamental, al ser higroscópico, es absorber la humedad del aire y de los materiales que le rodean, reduciendo el punto de evaporación y mejorando la cohesión del suelo. Su poder coagulante conlleva a un menor esfuerzo mecánico para lograr la densificación deseada, debido al intercambio iónico entre el Sodio y los minerales componentes de la matriz fina de los materiales, produciéndose una acción cementante. (MTC 2008 a).

6.- Estabilización con cloruro de calcio: Este producto funciona de manera similar a la sal regular, pero mejor debido a los efectos oxidantes del cloruro de sodio. En todos los casos, el cloruro de calcio ayuda a la compactación y contribuye a la resistencia del suelo,

evita el derrumbe de las superficies y también es un agente mitigador del polvo.

Las características higroscópicas de este producto ayudan a mantener la humedad en la superficie del camino. Se puede utilizar de dos formas, en granos regulares o Tipo 1 y en hojuelas o pelotillas o Tipo 11. La dosificación es de 1% - 2% de cloruro de calcio en peso respecto del suelo seco. El mezclado, compactación y terminación son similares a los de la estabilización con cloruro de sodio. (MTC 2008 a).

7.- Estabilización con cloruro de magnesio: El cloruro de magnesio (MgCl) es un cloruro cristalino blanco que es más eficaz que el cloruro de calcio para aumentar la tensión superficial, lo que da como resultado un pavimento más rígido. Químicamente, el cloruro de magnesio contiene aproximadamente un 10,5 % de magnesio, un 33,5 % de cloro, un 52 % de agua y un 4 % de impurezas, y es graso al tacto debido a su elevada humedad. Para uso en carretera, tiene las siguientes propiedades útiles: (MTC 2008 a).

- Higroscópica: Posee la capacidad de absorber humedad del ambiente, incluso en zonas sumamente áridas.
- Ligante: Cohesiona las partículas finas, permitiendo consolidar la carpeta de rodado.
- Resistente a la evaporación: Posee una baja tensión de vapor, lo que permite que no se pierda la humedad absorbida.
- Baja temperatura de congelamiento: -32.8 °C.
- Altamente soluble en agua: Permite elaborar una solución en forma rápida y sencilla.

Se aplica una dosis de cloruro de magnesio se aplica, en una proporción de entre 3 y 5% en peso del suelo seco, depende del grado de plasticidad en el material a tratar (a mayor IP, menor cantidad requerida de MgCl).

8.- Estabilización con productos asfálticos: La mezcla de un suelo con un producto asfáltico puede tener como finalidad: (Montejo Fonseca, 2002).

1. Un aumento de su estabilidad por las características aglomerantes del ligante que envuelve las partículas del suelo.

2. Una impermeabilización del suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas. La dosificación necesaria de ligante es función principalmente de la granulometría (superficie específica) del suelo. Los suelos más adecuados son los granulares con pocos finos, de reducida plasticidad, que presentan menos del 20% que pasa la malla N°200, $LL < 30$ e $IP < 10$.

El material asfáltico usualmente empleado son las emulsiones asfálticas y los asfaltos fluidificados de viscosidad media. La elección del ligante asfáltico dependerá de la granulometría del suelo, de su contenido de humedad y de las condiciones climáticas. En el caso de las estabilizaciones con emulsiones asfálticas se emplea un emulsificante, tal como un agente químico utilizado como emulsificante y definido como tenso activo o surfactante aniónico o catiónico, que determinará la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. (MTC 2008 a).

Se recomienda que el material por mejorar presente un equivalente de arena mayor de 40% y el porcentaje de emulsión varíe en un porcentaje de 1.

9.- Estabilización de suelos con cal: El uso de la cal en la estabilización aumenta su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito y también mejora las características plásticas haciéndolos más friables y aumentando el valor de soporte. (ANCADE 2002)

Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables.

Adicionalmente, el soporte estructural de los suelos estabilizados con cal puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos. (MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL, 2006)

En general casi todos los tipos de suelos susceptibles de estabilizar con cal, pero es más práctico la cal cuando el índice de plasticidad es mayor de 15. La cal produce una disminución de la densidad de los suelos, modifica la plasticidad aumenta la capacidad portante y resistencia al corte del material y reduce su hinchamiento.

La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas: (Menéndez, 2013)

- El primer proceso es la alteración de la película de agua que rodea los minerales de arcilla.
- El segundo proceso es de coagulación o floculación de las partículas de suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales

resulta de una concentración de ion de calcio mayor que la realmente necesaria.

- El tercer proceso a través del cual la cal afecta el suelo, es su reacción con los componentes del mismo para formar nuevos productos químicos. Los dos principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice.

Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo-cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo. Este es conocido como acción puzolánica.

2.2.1.3 Otros métodos de estabilización

1.- Estabilización por medios eléctricos: La más conocida es la electroósmosis, que es la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico a una muestra de suelo fino con exceso de humedad, esto produce que el agua se traslade desde el ánodo (electrodo positivo) hasta el cátodo (electrodo negativo); el caudal que fluye a través de la muestra de suelo en las condiciones anteriormente expuestas es proporcional al potencial eléctrico exterior que haya sido aplicado. Con este método se ha observado un aumento de resistencia al corte y a la compresión simple de los suelos finos (arcillosos).

2.- Estabilización de suelos con cal y polímeros: En la tesis de Valle, W. (2010): "Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos". Tesis de maestría, de la Universidad Politécnica de Madrid, España.

Valle, W. señala que las fibras usualmente se utilizan para mejorar la resistencia del suelo, y reducir la

retracción. Se destaca como un método novedoso al mezclar fibras de polipropileno con cal, reduciendo así la cantidad de cal necesaria. Menciona también que las fibras incrementan la resistencia al corte del terreno natural sin tratamiento previo, por lo que la combinación cal y fibras permitirá la reducción de cal necesaria para estabilizar el terreno.

Los materiales utilizados para la estabilización según la tesis planteada son la Cal y las Fibras fibriladas de polipropileno. Con la dosificación de fibras los niveles de cal se podrían reducir al 4%, así limitar la formación de etringita en los suelos con presencia de sulfatos.

Little (citado por Valle 2010) menciona que la etringita se produce cuando existe presencia de los sulfatos y la alúmina, el principal problema de esta patología es la expansión volumétrica hasta en un 250% en presencia de agua.

El incremento del pH producto de la adición de la cal al suelo, hace que el suelo libere sílice y alúmina que, al reaccionar con el azufre de los sulfatos, forman los cristales de etringita. Los prismas hexagonales de etringita, generalmente son muy alargados y tiene puntas piramidales hexagonales.

En la investigación de Valle, se obtiene aumento de la capacidad portante hasta en un 400% con una dosificación del 8% de cal y 0.15% de fibras. Los resultados de los ensayos de límites de atterberg muestran como el suelo del terreno cambia de plástico a no plástico, con valores próximos a cero, el autor hace la aclaración que la reducción del índice de plasticidad no depende de las fibras sino únicamente de la cal.

2.2.1.4 Polímeros reciclados

1.- Botellas descartables de plástico: Es un polímero no renovable, proveniente del petróleo y procesado con el antimonio para obtener el PET (Tereftalato de Polietileno) en pequeñas partículas. El PET es un material duro de degradar, demora alrededor de 700 años en degradarse ya que los microorganismos no tienen mecanismos para atacarlas, no es sino hasta entonces que los enlaces químicos entre los átomos del plástico comienzan a descomponerse. (Crawford et. al2013)

En el Perú según la organización de las Manos productivas- Villa el Salvador se produce como residuos aproximadamente 140,000 kilogramos de botellas de plástico por día, esta cantidad representa más de 4 millones de botellas que se votan a nivel nacional.

2.- Tipos de botellas de plástico y su reciclaje: En la actualidad se producen diversas y en distintas presentaciones los frascos descartables, pero estos se pueden clasificar en 7 grupos según los materiales por los cuales fueron elaborados, para identificar esta clasificación en la parte inferior de cada botella descartable se puede apreciar un número con algunas letras. Dichas letras y números indican qué tipo de botella de plástico es y qué tipo de precauciones se debe de tomar al usar ese tipo de botella en particular. Existen 7 tipos de botellas según los componentes que lo componen y según los usos que se le dan (web: Blog Verde)

a.- PET (tereftalato de polietileno): Las botellas de plástico de PET, que están hechas de tereftalato de polietileno, tienen el número uno en ellas, están hechas

de un plástico fuerte y durable que es bueno por su portabilidad. Las botellas de plástico de PET se usan principalmente para refrescos, bebidas deportivas, agua y jugo.

Sus principales propiedades son: la alta resistencia al desgaste y corrosión, buena resistencia química y térmica.

b.- HDPE (polietileno de alta densidad): Las botellas HDPE son las únicas que tienen el número dos impresos en su parte inferior y están hechas de polietileno de alta densidad. Debido a que son botellas de plástico más densas y gracias a su versatilidad y resistencia química se utiliza sobre todo en envases, en productos de limpieza de hogar o químicos industriales, como por ejemplo botellas de champú, detergente, cloro, etc. Las botellas de HDPE (moldes) comenzaron a reemplazar otros tipos de recipientes como el vidrio y el metal en la década de 1970.

c.- PVC (vinílicos o cloruro de polivinilo): Estas botellas tienen el número tres impresos en la parte inferior, entonces se trata de una botella PVC hecha de policloruro de vinilo. Este tipo de botella de plástico es muy flexible y se usa cuando se sabe que el líquido dentro de ella se expande o contrae, de manera que pueda hacerlo sin romper el plástico. También es muy resistente, por lo que es muy utilizado como envase en limpiadores de ventanas, botellas de detergente, champú, aceites, etc.

d.- LDPE (polietileno de baja densidad): El tipo de botellas de plástico del número cuatro son las botellas de LDPE, hechas de polietileno de baja densidad. Este es un

plástico delgado que por lo regular se usa como una barrera cerosa contra la humedad que puede fabricarse a un precio bajo. Se funde fácilmente, lo que lo hace ideal cuando es necesario usar el sellado por calor. Este plástico fuerte, flexible y transparente.

e.- PP (polipropileno): Presenta el número cinco impresos en la parte inferior, son las botellas PP hecha de polipropileno. El polipropileno tiene un punto de fusión muy elevado, razón por la cual se usa tradicionalmente para artículos que necesitan ser calentados o en los que es necesario verter líquidos calientes, como el café. También es bueno para tinas pequeñas que necesitan calentarse. Su alto punto de fusión permite envases capaces de contener líquidos y alimentos calientes.

f.- PS (poliestireno): Es utilizado en platos y vasos de usar y tirar, hueveras, bandejas desechables utilizadas en alimentación, envases de aspirina, etc. Su bajo punto de fusión hace posible que pueda derretirse en contacto con el calor.

Una vez reciclado, se pueden obtener diversos productos entre ellos, material para edificación, aislantes, etc.

j.- Otros: Si el número siete está impreso en la botella, indica que está hecha de otro material diferente a los anteriores, o hecha de una combinación de dos o más capas de otros plásticos. Por ejemplo, con estos plásticos están hechos algunos materiales a prueba de balas, OVO, gafas de sol, MP3 y PC, etc.

2.2.1.5 Obtención de polímeros reciclados para el trabajo de investigación

1.- Recolección: Se recolecta el plástico ya que hay en un sinfín de PET que nos rodea de formas diferentes, cantidades de plástico que es desechada y se recolecta; después todo el producto reciclado es enviado un almacén donde son envueltas para que se dirijan a las fabricas para ser trituradas o transformadas en granulados.

2.- Clasificación: En cuanto al proceso de reciclaje de plástico, comienza con la clasificación de las diferentes piezas de plástico según su contenido de plástico y color. Hoy en día, existen máquinas diseñadas específicamente para ayudar a clasificar los plásticos según su contenido de plástico.

3.- Trituración: La trituradora realiza su trabajo cortando las piezas en pequeños trozos más manejables. Las botellas y los envases de plástico se aplastan y cortan en pequeñas piezas del tamaño de una hojuela de maíz.

4.- Limpieza: Para la limpieza de las fibras de plástico se lavan con detergentes especiales para poder limpiar en su totalidad y remover toda la contaminación que quede. Al final, son expuestas a un nivel moderado de calor para secarlas.

5.- Obtención del aditivo PET reciclado: Para la obtención del polímero para utilizar como aditivo, se tuvo que cortar de forma rectangular de diferentes dimensiones, para realizar el corte se usó una cizalla para poder obtener los polímeros reciclados en cortes de diferentes dimensiones, de forma cacera. Existe también

maquinas como la Trituradora PET G-34 que sirven para cortar en diferentes dimensiones y así obtener hojuelas de PET.

2.3. Marco normativo

1.- Norma de suelos y cimentaciones - Perú, E-050 2006: La norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2016) nos habla acerca de los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de suelos, además de las técnicas de investigación de campo aplicables a cada tipo de suelo que pueda existir en los terrenos donde se ubicarán las diversas estructuras, separando dichos ensayos que pueden ser aplicados a ciertos tipos de suelos y cuales no son recomendados para otros.

2.- Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos – Perú, 2014: El manual en mención presenta las consideraciones básicas para el diseño de las carreteras y de sus componentes, abarcando todos los estudios necesarios para la correcta elección de las sub rasantes y de ser el caso su estabilización. Algunos de los estudios son el análisis granulométrico, límites de Atterberg, contenido de humedad, gravedad específica, ensayo de Proctor Modificado, Materia orgánica en los suelos y Densidad y Peso Unitario in situ mediante el cono de arena.

3.- Normas astm – Perú: Las normas ASTM son usadas en todo el mundo por ser respetadas y consideradas las menores en la ingeniería. Asimismo, se sabe que más de sesenta países han tomado a las normas ASTM como base para sus reglamentos técnicos y más del cuarenta por ciento de estas es vendida fuera de los Estados Unidos. Estas normas en conjunto son repartidas al mundo por ASTM International, siendo uno de los editores técnicos de normas, documentos técnicos, información y artículos más reconocido del mundo.

Esto conjunto de normas es repartida por la ASTM International, el que es de los más reconocidos editores técnicos de artículos, documentos y normas técnicas e información relacionada más reconocido en el mundo.

En el mismo portal de ASTM [18] se puede encontrar que se trata de una organización ánimo de lucro, la cual realiza la publicación de normas voluntarias por consenso mediante foros, lo cual se aplica para materiales, servicios, sistemas y productos.

4.- Normas técnicas peruanas (NTP) – Perú:

Método de ensayo para el análisis granulométrico, ntp 339.128: 1999:

Esta norma publicada por INACAL [19] establece el método de análisis granulométrico realizado por medio de tamices y por el método de sedimentación de los suelos. HA sido publicada el 11 de Julio del 2014.

Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e

índice de plasticidad de suelo, ntp 339.129: 1999: Esta norma publicada por INACAL [19] establece los métodos de ensayo para mediante diversos ensayos conocer el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de una muestra de suelo. Su fecha de publicación es el 11 de Julio del 2014.

Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo, ntp 339.131: 1999:

Esta norma publicada por INACAL [19] Se encarga de establecer los pasos a seguir para conocer el peso específico relativo de las partículas sólidas de suelo utilizando el picnómetro. Su fecha de publicación es el 11 de Julio del 2014.

Contenido de humedad, ntp 339.127:

Esta norma publicada por INACAL [19] Se encarga de establecer los pasos para realizar el ensayo para cuantificar el contenido de humedad de la muestra de suelo mediante el uso de una balanza y un horno controlado. Su fecha de publicación es el 11 de Julio del 2014.

Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sucs), ntp 339.134:

Se propone el sistema para poder clasificar los suelos entre minerales y orgánicos minerales, esta clasificación se basa en la determinación mediante ensayos de laboratorio de granulometría, límite líquido y finalmente del índice de plasticidad. Su fecha de publicación es el 11 de Julio del 2014.

Ensayo de compactación de proctor modificado, ntp 339.141: El ensayo menciona los procedimientos mediante los cuales se utiliza la compactación en laboratorio para conocer la relación entre el contenido de agua y el peso de los suelos unitario seco, lo cual se compactará dentro de un molde con un diámetro de 101.6 o 152.4 mm mediante un pisón de 44.5 N cayendo desde una altura de 18 pulg. Su fecha de publicación es el 07 de setiembre del 2014.

Razón de soporte california (cbr), ntp 339.145:1999: En este ensayo se determina el CBR de ya sea una base, sub-base o subrasante de pavimentos y de materiales granulares de aquellas muestras que sean compactadas en laboratorio, de esta manera se evalúa la resistencia de los materiales cohesivos cuyo tamaño máximo de partículas sea 19mm, pero sin estar limitado a ello. Su fecha de publicación fue 07 de setiembre de 2014.

2.4. Definición de términos

- 1. Límite líquido del suelo (L.L.):** Es el contenido de humedad que se expresa en porcentaje donde el suelo se halla entre el estado líquido y plástico; se fundamenta de acuerdo al MTC E 110 (MTC, 2016).
- 2. Límite plástico del suelo (L.P.):** Es la humedad más baja con la cual se puede formar barras de suelo de unos 3.2 mm (1/8") de diámetro, sin que esta se desmorone; se fundamenta de acuerdo al MTC E 111 (MTC, 2016).
- 3. Índice de plasticidad (I.P.):** Corresponde a la diferencia del límite líquido y plástico del suelo; se fundamenta de acuerdo al MTC E 111 (MTC, 2016).
- 4. CBR de suelos:** California Bearing Ratio, es el índice de resistencia de los suelos que se denomina como valor de relación de soporte del suelo; se fundamenta de acuerdo al MTC E 132 (MTC, 2016).

5. Desgaste de los Ángeles: Corresponde a una medida de degradación de agregados minerales de gradación normalizadas resultantes de una combinación de acciones, incluyen la abrasión o desgaste, impacto o trituración; se fundamenta de acuerdo al MTC E 207 (MTC, 2016).

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

Si fue necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno, por cuanto mejora la baja capacidad de soporte de la subrasante.

2.5.2. Hipótesis específicas

- a) La subrasante presenta una baja capacidad de soporte.
- b) Los porcentajes de 2, 4 y 6% de incorporación de tereftalato de polietileno mejoran la baja capacidad de soporte de la subrasante.

2.6. Variables

2.6.1. Definición conceptual de la variable

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno (PET). “Polímero termoplástico en su forma final posterior al consumo para lo cual fue diseñado”. (Ley N°30884, 2018).

Variable dependiente (Y): Subrasante. “Capa compactada de material granular natural o procesado, presenta una gradación específica capaz de soportar directamente las cargas y esfuerzos del tránsito”. (MTC, 2014).

2.6.2. Definición operacional de la variable

Para la investigación se ha considerado las siguientes variables:

Variable independiente (X): Tereftalato de polietileno (PET), se utilizó en 2, 4 y 6 % respecto al peso seco del suelo.

Variable dependiente (Y): Subrasante, se medirá las propiedades físicas y mecánicas del suelo de acuerdo a lo estipulado en el Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito.

Tabla 2 – Variables de investigación.

Variable Independiente	Variable Dependiente
Tereftalato de polietileno (PET)	Subrasante

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3. Operacionalización de la Variable

Tabla 3 – Operacionalización de las variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente: Tereftalato de polietileno (PET)	Tereftalato de polietileno (PET)	Cantidad en porcentaje
Variable dependiente: Subrasante	Propiedades físicas	Límite líquido
	Propiedades mecánicas	Límite plástico Índice de plasticidad (CBR)

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

En la investigación utilizo el método científico, esto fundamenta según Del Cid, Sandoval y Sandoval (2007) pues se seguirá una serie de pasos ordenados y sistematizados para generar conocimiento basado en evidencia, siendo estos: observación, planteamiento del problema, planteamiento de hipótesis, experimentación para finalmente obtener conclusiones.

3.2. Tipo de Investigación

La investigación fue del tipo aplicada, pues se aplicó el conocimiento existente para solucionar un problema real; en el caso de la presente investigación establecer las propiedades físicas y mecánicas del suelo con la adición de PET (Del Cid, Sandoval y Sandoval, 2007).

3.3. Nivel de investigación

La investigación fue de nivel explicativo, pues se centró en determinar las relaciones de causa – efecto, en la adición del PET y las propiedades físicas y mecánicas del suelo para subrasante (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

3.4. Diseño de investigación

En base a lo establecido por Hernández et al. (2014), la presente investigación fue experimental del tipo cuasi experimental, pues se manipuló la variable independiente y existió un grupo de control y otro patrón con el que se compararon sus propiedades.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Correspondió al suelo para subrasante con adición de tereftalato de polietileno reciclado.

3.5.2. Muestra

De acuerdo al tipo de muestreo no probabilístico intencional o dirigido, la muestra fue:

Tabla 4 – Numero de muestras para las propiedades físicas.

Ensayo	Patrón	2%	4%	6%	Total
Granulometría	1	1	1	1	4
Limite liquido	3	3	3	3	12
Limite plástico	3	3	3	3	12
Índice de plasticidad	3	3	3	3	12
Total					40

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5 – Numero de muestras para las propiedades mecánicas.

Ensayo	Patrón	2%	4%	6%	Total
CBR	3	3	3	3	12
Proctor modificado	3	3	3	3	12
Total					24

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Observación directa: La observación fue una de las principales técnicas para la recolección de datos, está se aplicó en la fase de planificación mediante visitas previas a campo en especial para la recolección del tereftalato de polietileno PET.

Análisis de documentos: El análisis documentario consistió en la recopilación de bibliografía en digital y físico, con la cual se pudo establecer una metodología para realizar adecuadamente la adición del tereftalato de polietileno PET en el suelo.

Trabajo en campo: El trabajo en campo consistió con el cumplimiento del proyecto en laboratorio, en el que se realizó la manipulación de la variable

independiente para determinar la influencia con la dependiente; esto implicó, la aplicación de fichas de tomas de datos e instrumentos de laboratorio especializados con los que se midió las principales características del suelo con adición del tereftalato de polietileno PET.

Para esto se siguió lo siguiente pasos:

- ✓ Recolección del PET (botellas de plástico usadas).
- ✓ Limpieza y trituración del PET.
- ✓ Selección del PET pasante de la malla $\frac{1}{2}$ " y retenido en la malla N° 4.
- ✓ Análisis granulométrico del suelo que actuará como subrasante.
- ✓ Determinación de los límites de Atterberg del suelo para subrasante.
- ✓ Determinación del CBR del suelo para subrasante.
- ✓ Adición del PET en 2, 4 y 6 % del peso seco del suelo.
- ✓ Medición de las propiedades físicas (límites de Atterberg) y mecánicas del suelo (CBR) con adición del PET.
- ✓ Comparación de los resultados con lo establecido por el MTC referente a aceptación de suelo para subrasante.

3.7. Procesamiento de la información

Para el procesamiento de la información obtenida en campo y en laboratorio fue necesario crear tablas y gráficos en softwares especializados como Microsoft Excel, este software permitieron una adecuada distribución gráfica de los resultados obtenidos y el cálculo de algunos promedios.

3.8. Técnicas y análisis de datos

Las técnicas y análisis de datos, se consideró la técnica establecida para datos cuantitativos, basada en la estadística descriptiva, esto para la descripción, realización de figuras, el análisis, la comparación, el establecimiento de la relación y sobre todo para resumir los datos obtenidos en laboratorio, además de probar la hipótesis de la investigación.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Presentación de resultados específicos

4.1.1. Resultados de la capacidad de soporte de la sub rasante

1.- Análisis granulométrico por tamizado: Este ensayo nos sirve para poder clasificar los suelos, y poder apreciar las distribuciones granulométricas del suelo. En la tabla 6 siguiente se muestra el resumen de los ensayos para las cuatro calicatas.

Tabla 6 – Resultados de la granulometría.

MALLA		%PASANTE			
TAMIZ	MM	C-01	C-02	C-03	C-04
3"	75.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
2"	50.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1 ½"	37.500	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
1"	25.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
¾"	19.000	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
⅜"	9.500	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
N°4	4.750	100.0%	100.0%	99.7%	99.7%
N°10	2.000	96.7%	98.4%	97.6%	97.3%
N°20	0.850	93.1%	95.9%	94.3%	94.1%
N°40	0.425	90.2%	93.1%	92.2%	91.9%
N°60	0.250	88.6%	91.4%	89.9%	89.2%
N°140	0.106	86.2%	89.0%	86.7%	87.0%
N°200	0.075	85.3%	88.2%	85.6%	86.5%
Fondo					

Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar de los resultados mostrados, que el material fino es el 86% en promedio, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso, en la tabla siguiente se muestra el porcentaje de cada material correspondiente a grava, arena y limoarcilla (finos).

Tabla 7 – Contenido del porcentaje por material.

MATERIAL	C-01	C-02	C-03	C-04
% Grava	0.0%	0.0%	0.3%	0.3%
% Arena	14.7%	11.8%	14.1%	13.2%
% Finos	85.3%	88.2%	85.6%	86.5%

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Tabla 7, existe una gran presencia de materiales finos (limos y arcillas). Como se indica en el Manual de Suelos, Geología, Pisos y Pavimentos de MTC, la grava proporciona resistencia al corte, la arena llena los espacios entre la grava y las partículas finas que ayudan a mantener unido el suelo. Es deseable que en la granulometría del suelo exista una mayor proporción de grava seguida de una menor proporción de arena y finos.

2.- Contenido de Humedad: El contenido de humedad nos da una referencia de si está por encima o por debajo del contenido óptimo para la compactación de la subrasante. Los niveles de humedad obtenidos se muestran en la Tabla 8 y las tablas de cálculo adjuntas. El contenido medio de humedad de la subrasante es del 17,25%.

Tabla 8 – Resumen del contenido de humedad.

CALICATA	PROGRESIVA	PROFUNDIDAD	% DE HUMEDAD
01	00+500	1.50	16.5
02	01+000	1.50	18.2
03	01+500	1.50	17.4
04	02+000	1.50	16.9

Fuente: Elaboración propia.

3.- Determinación del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad: Los suelos analizados presentan baja plasticidad, con un índice de plasticidad (IP) promedio de 14%. La Tabla 9 proporciona un resumen de las pruebas de límite líquido, límite plástico e índice plástico. Estos datos son importantes para la

clasificación del suelo y, en el caso de la recuperación del suelo, nos ayudan a tomar decisiones informadas para determinar mejor el tipo de estabilizador a usar.

Tabla 9 – Características plásticas del suelo.

CALICATA	MUESTRA	LIMITE LIQUIDO	LIMITE PLASTICO	INDICE DE PLASTICIDAD
01	M-01	34	21	13
02	M-01	36	20	16
03	M-01	37	22	15
04	M-01	35	23	12

Fuente: Elaboración propia.

En base a los resultados obtenidos sobre el índice de plasticidad (PI) de la subrasante, se puede concluir que el área de investigación tiene un $IP > 10\%$, por lo que debe clasificarse como "arcilla".

4.- Clasificación SUCS y AASHTO: Para la clasificación SUCS se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes de la malla N°4, N°200 y las características plásticas.

Para la clasificación AASHTO se consideró la granulometría, los porcentajes pasantes de la malla No 10, No 40, No 200; las características plásticas y el índice de grupo. Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras es muy importante conocer el índice de grupo (IG), que está en función del límite líquido (LL), índice plástico (IP) y el porcentaje pasante de la malla N°200. En la tabla 10 se muestra en la última columna el IG entre paréntesis, de los resultados mostrados se puede mencionar que el suelo en estudio es "muy pobre" por tener un IG mayor a 9.

La Tabla 10 muestra la designación del grupo y el nombre para la clasificación SUCS y para AASHTO, el clasificador y el número de grupo.

Tabla 10 – Clasificación de suelos.

CALICATA	MUESTRA	SUCS	AASHTO
01	M-01	CL	A-6(11)
02	M-01	CL	A-6(14)
03	M-01	CL	A-6(13)
04	M-01	CL	A-6(10)

Fuente: Elaboración propia.

5.- Ensayo proctor modificado: Se determinó la relación del contenido de humedad y el peso específico seco obteniendo la curva de compactación del suelo, con el objetivo de determinar la densidad seca máxima para un contenido de humedad óptimo.

5.1.- Ensayo proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno: En la tabla 11 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas sin la adición del tereftalato de polietileno.

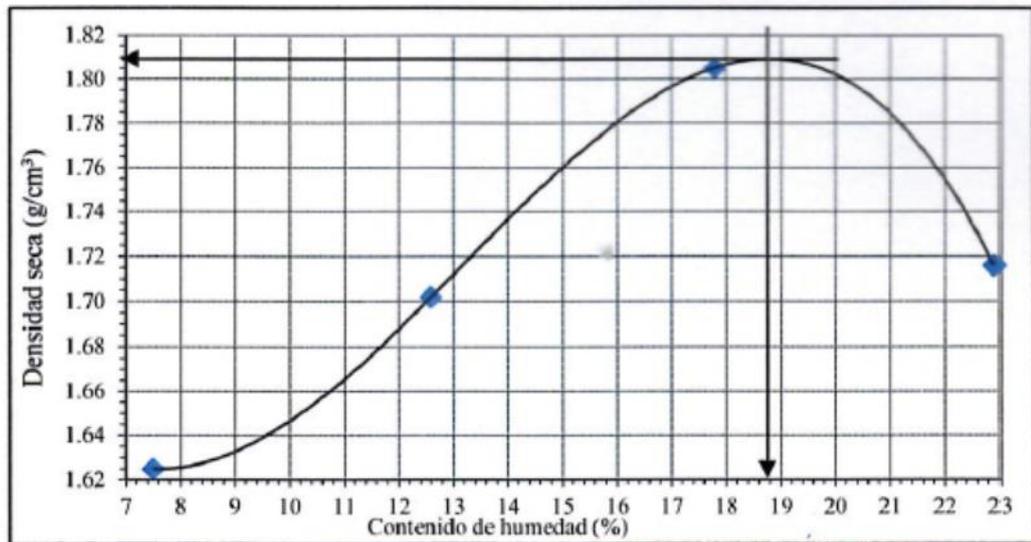
Tabla 11 – Resultados de proctor modificado sin la adición del tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	1.801 gr/cm ³	18.7%
02	M-01	1.786 gr/cm ³	19.5%
03	M-01	1.817 gr/cm ³	18.2%
04	M-01	1.774 gr/cm ³	19.2%

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 2 muestra la relación entre humedad y densidad seca en la prueba Proctor con el material obtenido de la calicata 01 sin la adición de tereftalato de polietileno.

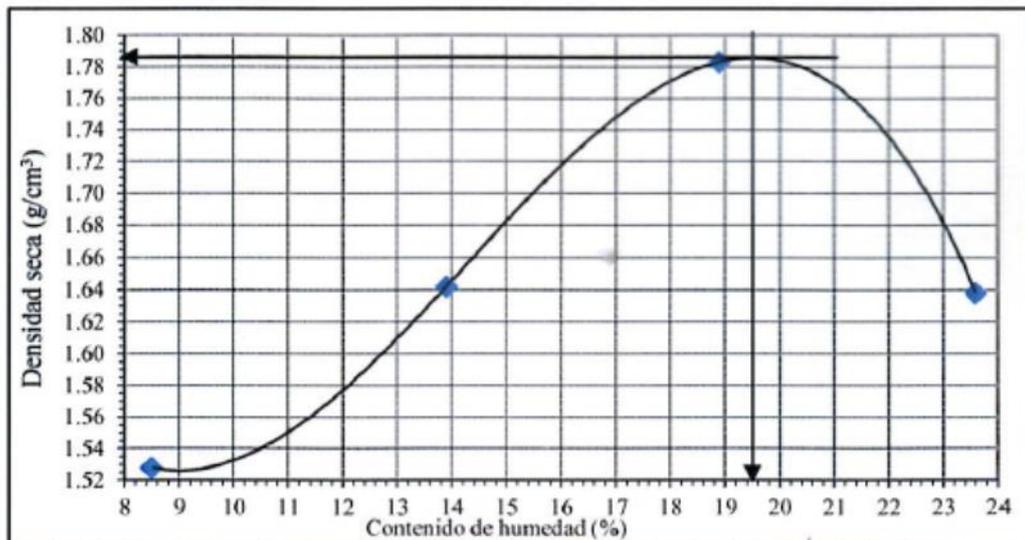
Figura 2- Curva de compactación calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 3 muestra la relación entre humedad y densidad seca en la prueba Proctor con el material obtenido de la calicata 02 sin la adición de tereftalato de polietileno.

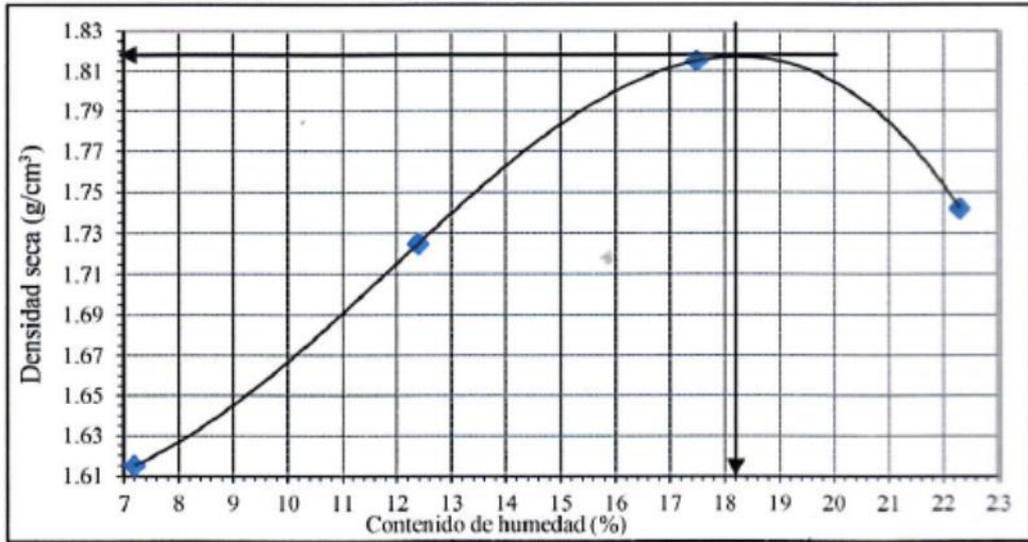
Figura 3- Curva de compactación calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4 muestra la relación entre humedad y densidad seca en la prueba Proctor con el material obtenido de la calicata 03 sin la adición de tereftalato de polietileno.

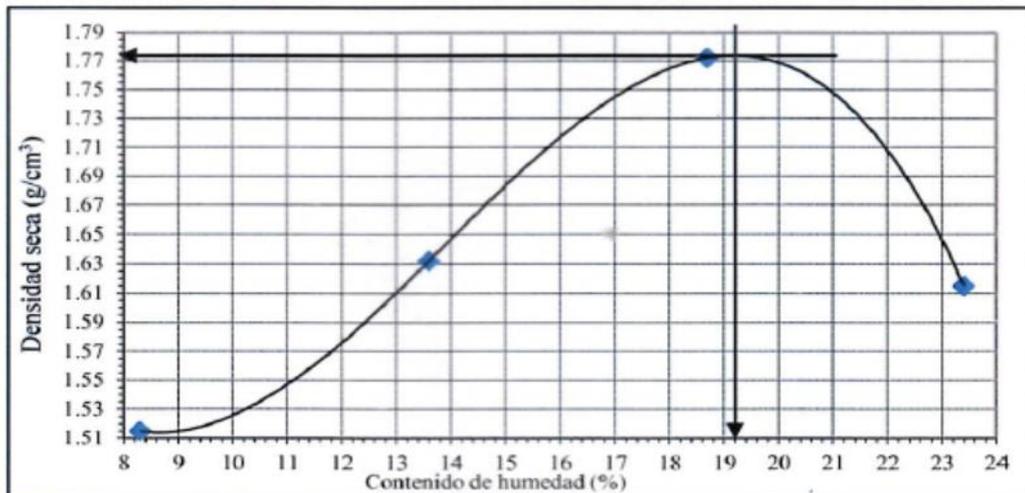
Figura 4- Curva de compactación calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 5 muestra la relación entre humedad y densidad seca en la prueba Proctor con el material obtenido de la calicata 04 sin la adición de tereftalato de polietileno.

Figura 5- Curva de compactación calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

6.- Ensayo CBR: Este ensayo es la más determinante y de suma importancia para la presente investigación. El ensayo de CBR se realizó para cada muestra de las 04 calicatas.

6.1.- Ensayo CBR sin la adición del tereftalato de polietileno: En la tabla 12 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas sin la adición del tereftalato de polietileno.

Tabla 12 – Resultados de CBR sin la adición del tereftalato de polietileno.

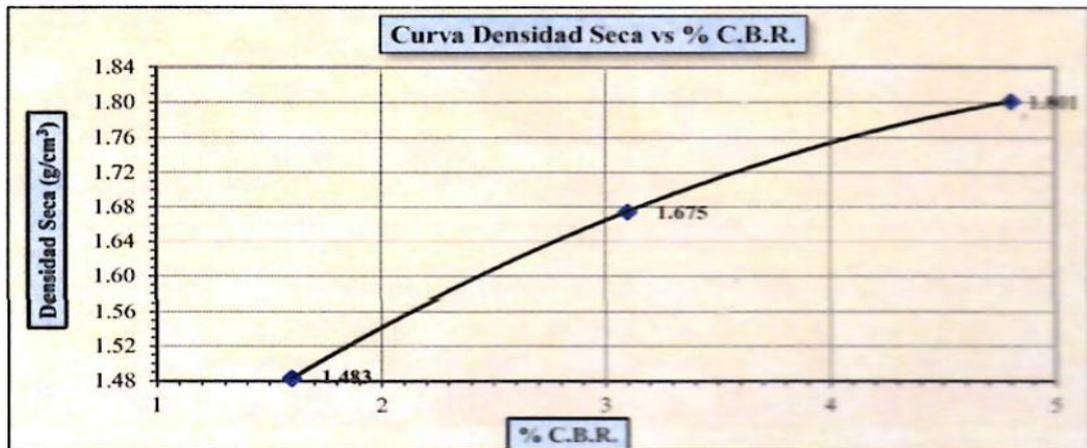
CALICATA	MUESTRA	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4.8%	3.4%
02	M-01	4.6%	3.3%
03	M-01	4.2%	3.1%
04	M-01	4.1%	2.8%

Fuente: Elaboración propia.

Las muestras de la subrasante tienen muchos problemas que resultan en inestabilidad de volumen y baja capacidad de carga, como muestran los resultados de CBR, estos valores están por debajo del 6% y por lo tanto, la subrasante debe estabilizarse usando el método recomendado por MTC o por el método recomendado en estas pruebas. (adición de tereftalato de polietileno).

La Figura 06 muestra la curva de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 01 sin adición de tereftalato de polietileno.

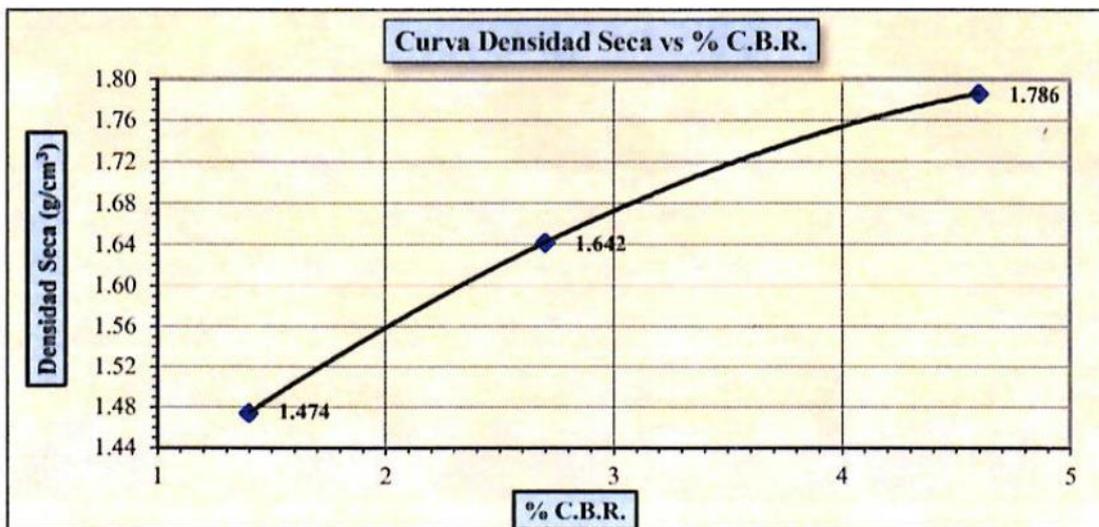
Figura 6- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 07 muestra la curva de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 02 sin adición de tereftalato de polietileno.

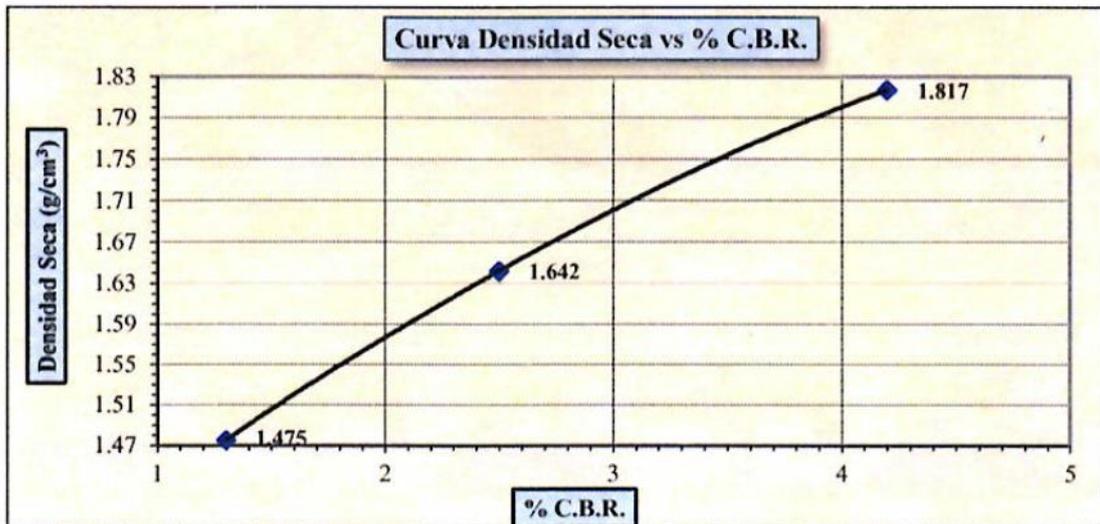
Figura 7- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 08 muestra la curva de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 03 sin adición de tereftalato de polietileno.

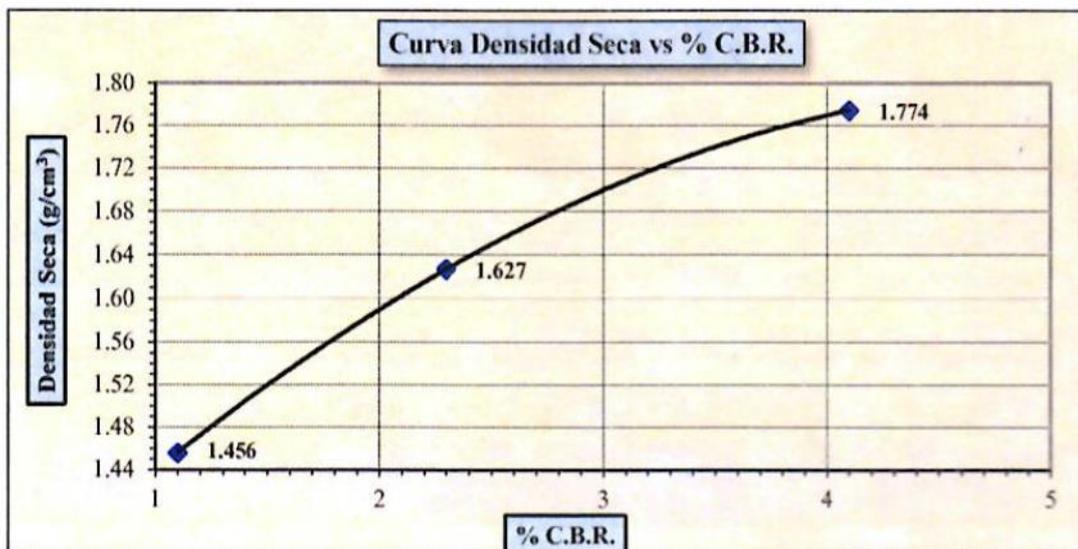
Figura 8- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 09 muestra la curva de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 04 sin adición de tereftalato de polietileno.

Figura 9- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 sin la adición del tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.2. Resultados de los porcentajes de incorporación del tereftalato de polietileno

1.- Ensayo proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno: La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos en los ensayos Proctor modificados para las respectivas muestras de las calicatas preparados con la adición de tereftalato de polietileno al 2%.

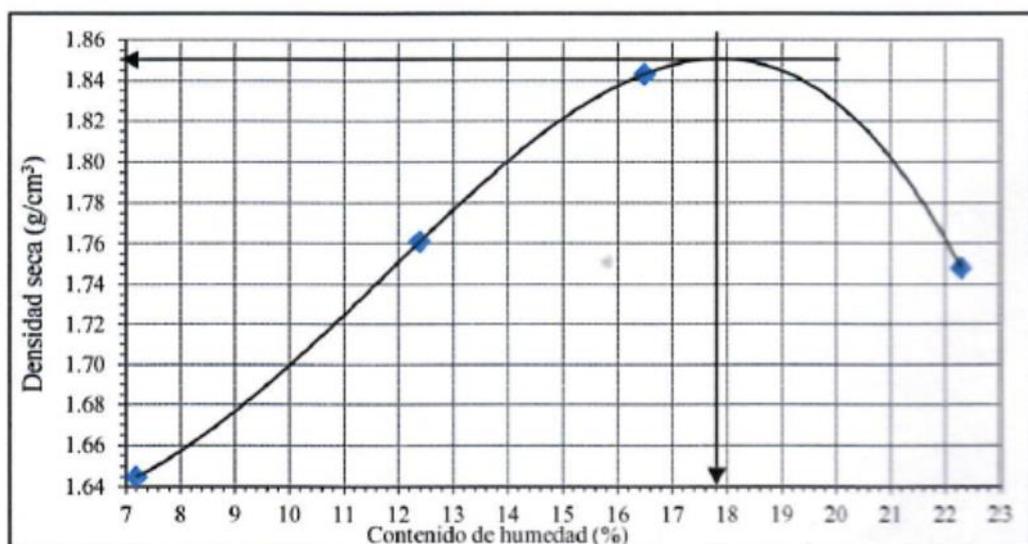
Tabla 13 – Resultados de proctor modificado con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	2%	1.851 gr/cm ³	17.8%
02	M-01	2%	1.804 gr/cm ³	18.9%
03	M-01	2%	1.839 gr/cm ³	17.5%
04	M-01	2%	1.826 gr/cm ³	18.5%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 10 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 01 suplementado con tereftalato de polietileno al 2%.

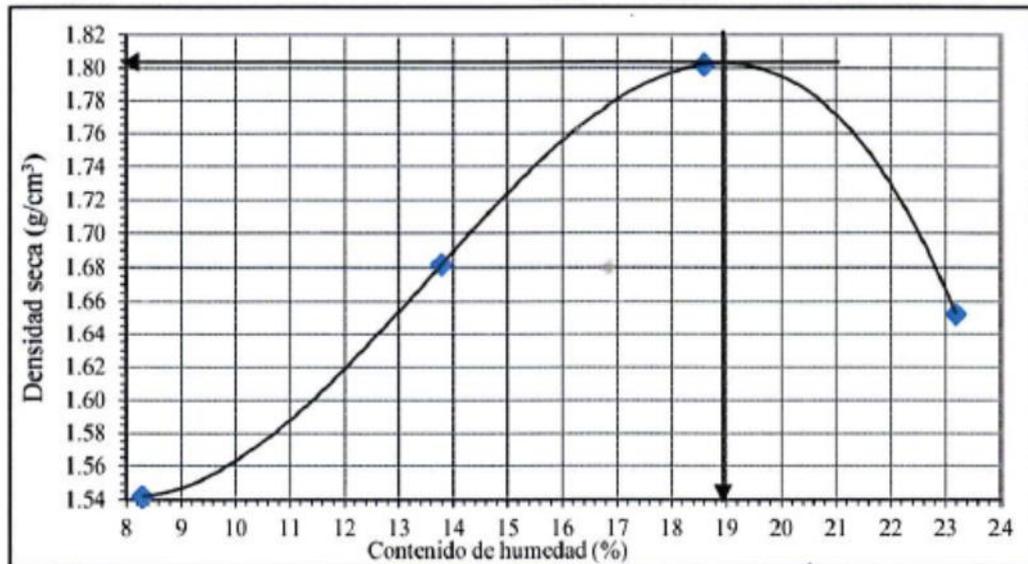
Figura 10- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 11 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 02 suplementado con tereftalato de polietileno al 2%.

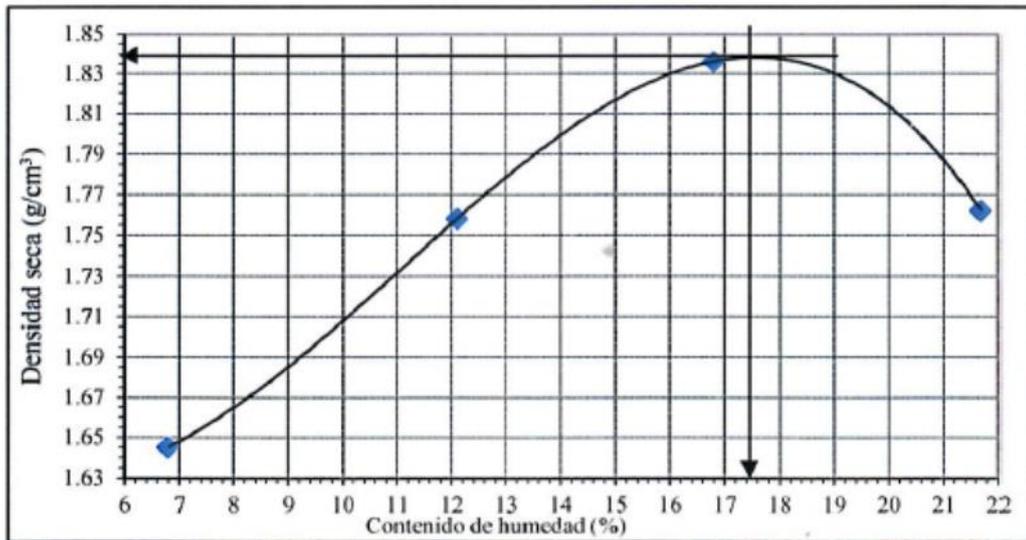
Figura 11- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 12 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 03 suplementado con tereftalato de polietileno al 2%.

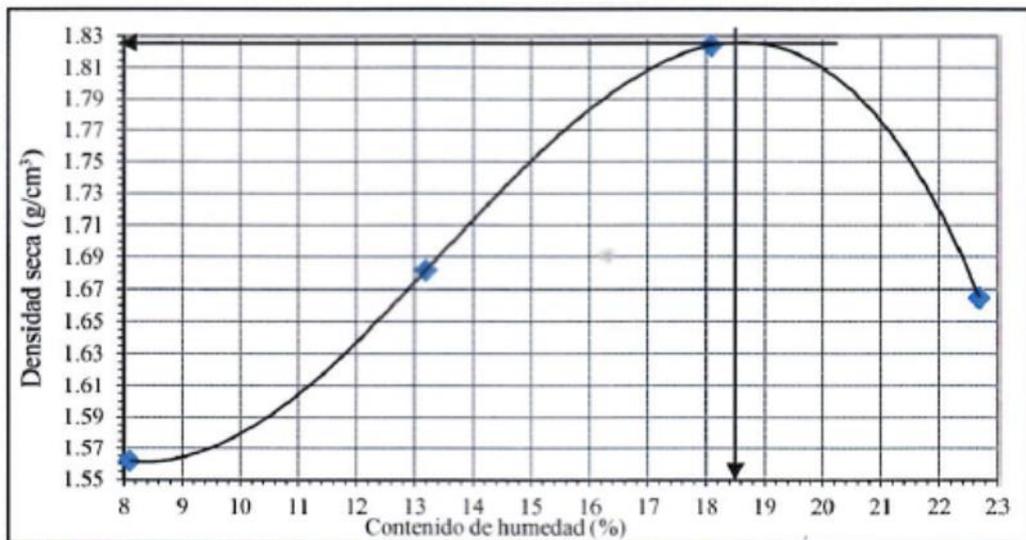
Figura 12- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 13 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca del ensayo Proctor con material obtenido de la calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 13- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

2.- Ensayo proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno: En la tabla 14 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

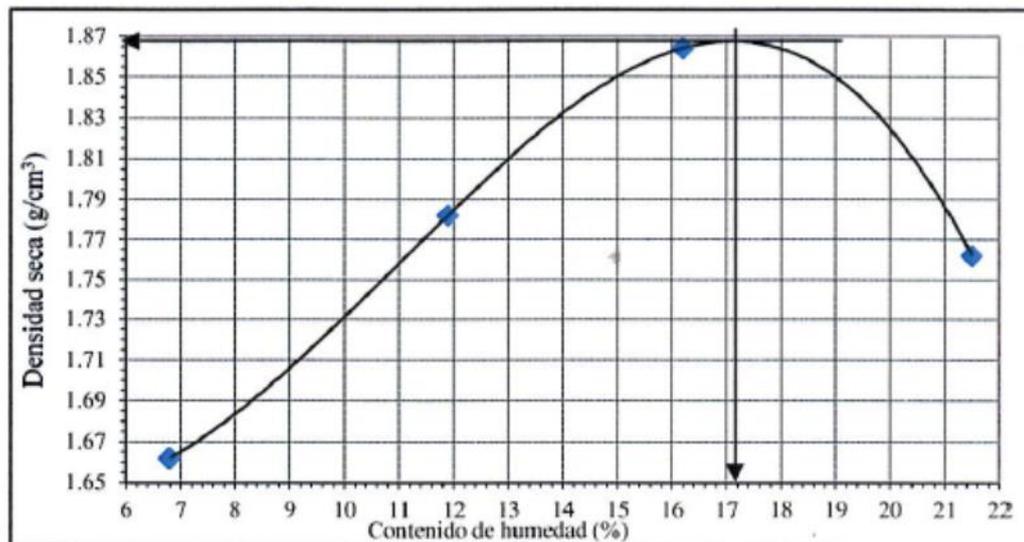
Tabla 14 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	4%	1.867 gr/cm ³	17.1%
02	M-01	4%	1.829 gr/cm ³	18.5%
03	M-01	4%	1.866 gr/cm ³	16.6%
04	M-01	4%	1.845 gr/cm ³	18.0%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 01 suplementado con tereftalato de polietileno al 4%.

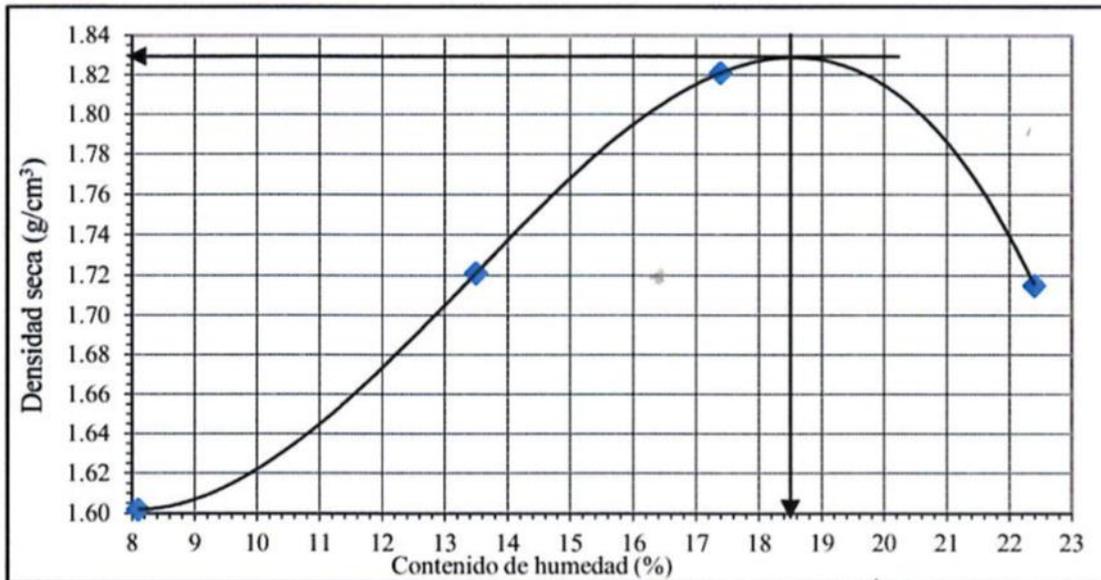
Figura 14- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 15 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 02 suplementado con tereftalato de polietileno al 4%.

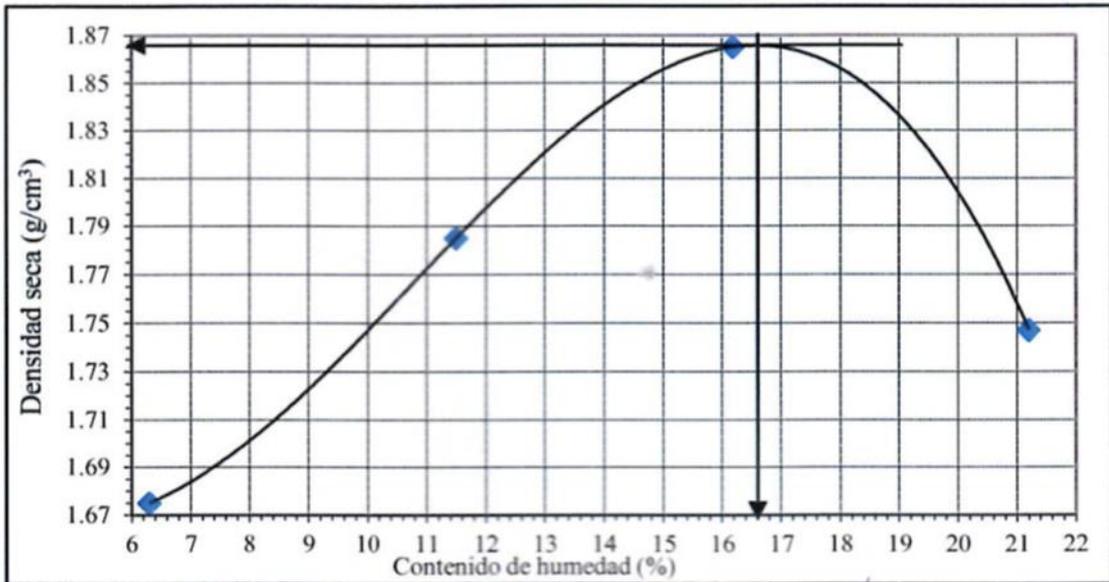
Figura 15- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 16 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 03 suplementado con tereftalato de polietileno al 4%.

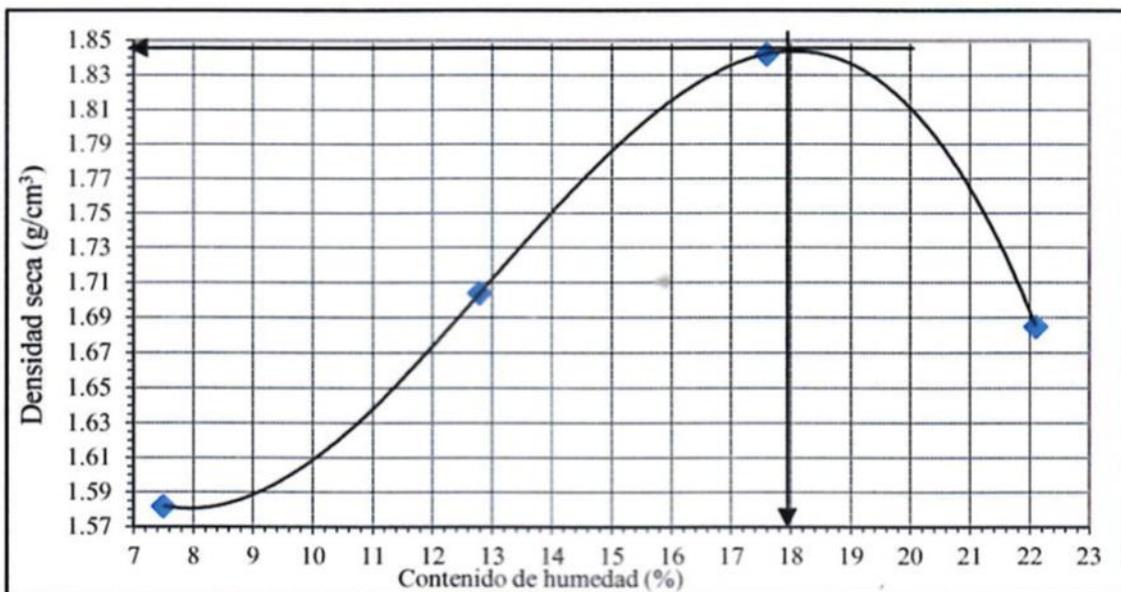
Figura 16- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 17 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 04 suplementado con tereftalato de polietileno al 4%.

Figura 17- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

3.- Ensayo proctor modificado con la adición del 6% de tereftalato de polietileno: En la tabla 15 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de Proctor modificado de las calicatas realizadas con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

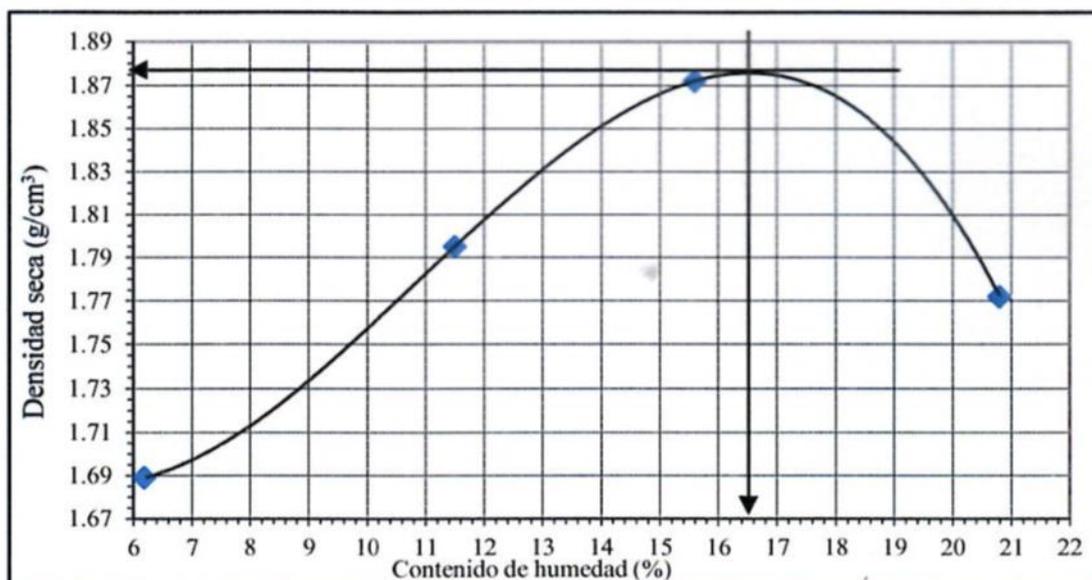
Tabla 15 – Resultados de proctor modificado con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	MAXIMA DENSIDAD SECA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD
01	M-01	6%	1.876 gr/cm ³	16.5%
02	M-01	6%	1.837 gr/cm ³	17.8%
03	M-01	6%	1.871 gr/cm ³	16.5%
04	M-01	6%	1.854 gr/cm ³	17.6%

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 18 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 01 suplementado con tereftalato de polietileno al 6%.

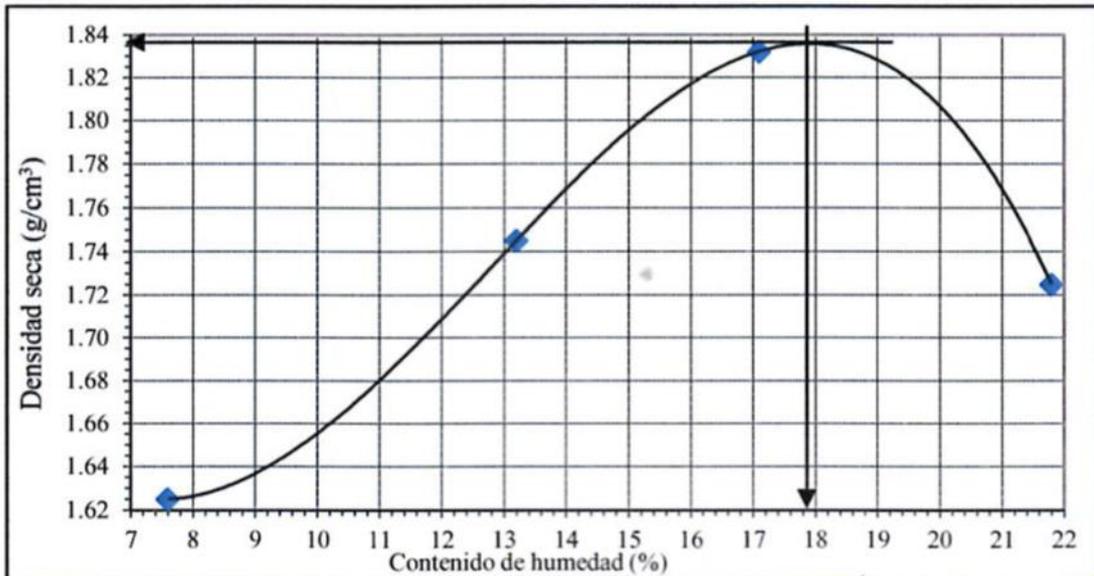
Figura 18- Curva de compactación calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 19 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 02 suplementado con tereftalato de polietileno al 6%.

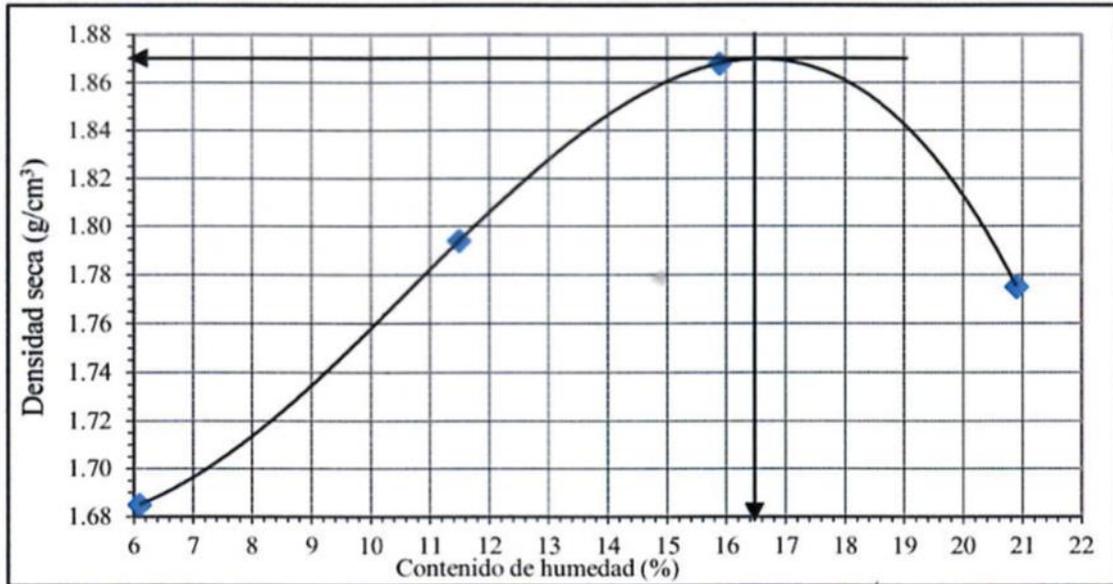
Figura 19- Curva de compactación calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 20 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 03 suplementado con tereftalato de polietileno al 6%.

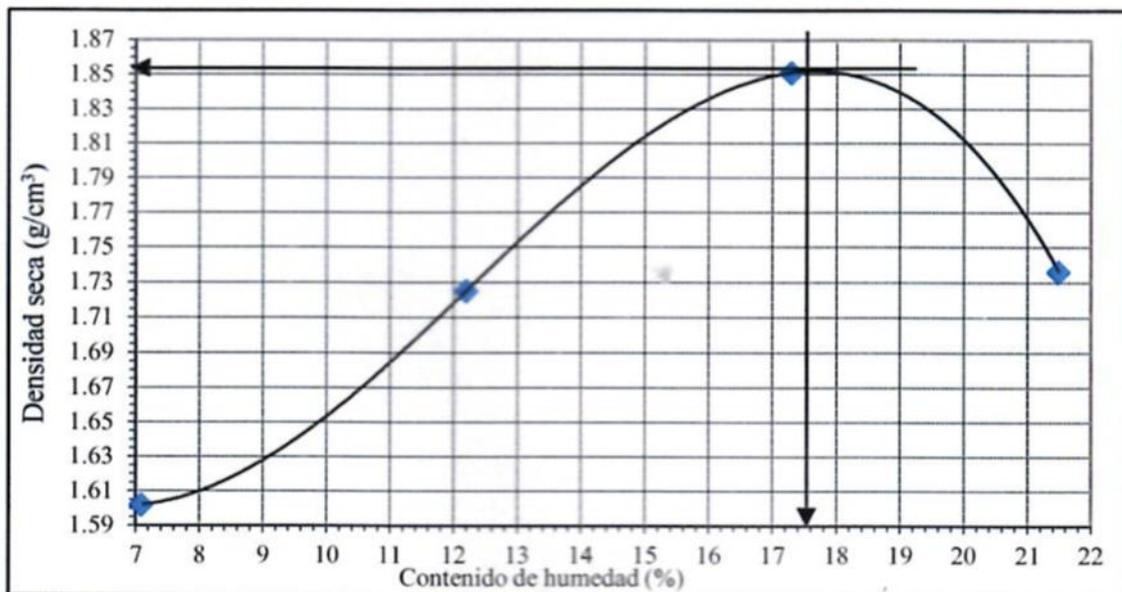
Figura 20- Curva de compactación calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 21 se muestra la relación entre humedad y densidad seca en el ensayo Proctor con el material obtenido de la calicata 04 suplementado con tereftalato de polietileno al 6%.

Figura 21- Curva de compactación calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

4.- Ensayo CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno: Los valores del CBR de los suelos ensayados al presentar un índice muy bajo, menor al 6%, lo cual se debe a la ausencia de gravas, por lo que, en mérito al objetivo de la presente investigación, en los siguientes ensayos se adicionarán partículas de tereftalato de polietileno, con el fin de que pueda cumplir dicho material la función similar de las partículas mayores a 4.75mm (gravas), lo cual le dará mayor fricción y por ende mayor resistencia al corte.

En la tabla 16 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

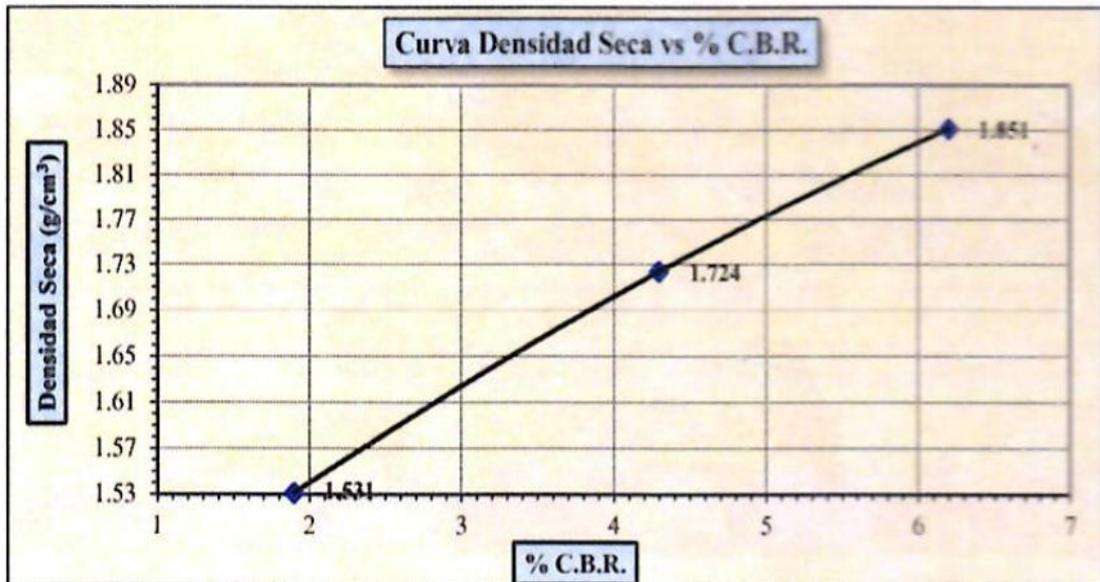
Tabla 16 – Resultados de CBR con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	2%	6.2%	4.7%
02	M-01	2%	6.1%	4.6%
03	M-01	2%	6.5%	4.6%
04	M-01	2%	6.3%	4.9%

Fuente: Elaboración propia.

La figura 22 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 01 con la adición de 2% de tereftalato de polietileno.

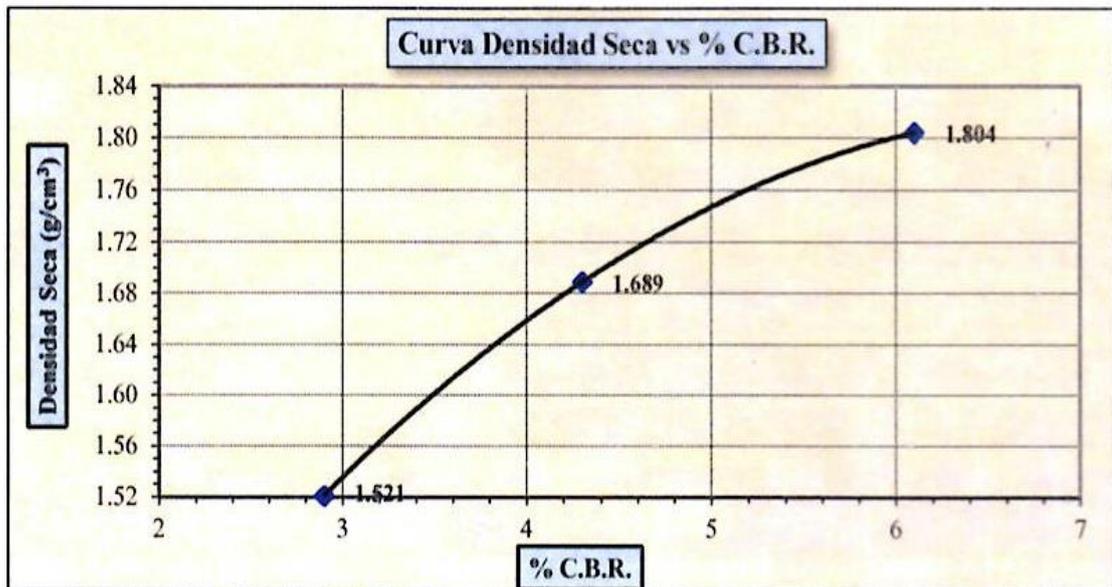
Figura 22- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 23 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 02 con la adición de 2% de tereftalato de polietileno.

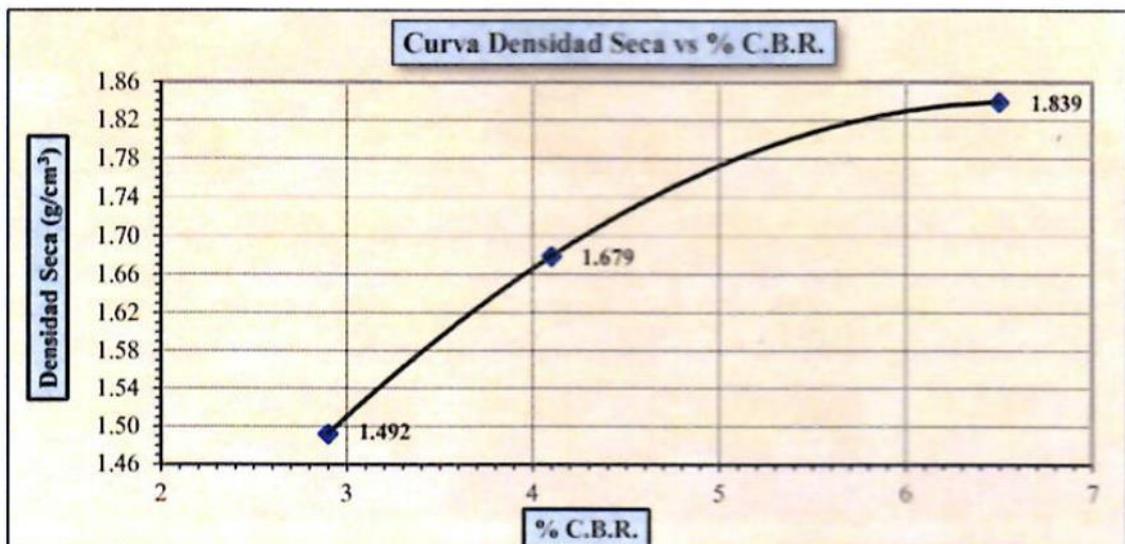
Figura 23- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 24 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 03 con la adición de 2% de tereftalato de polietileno.

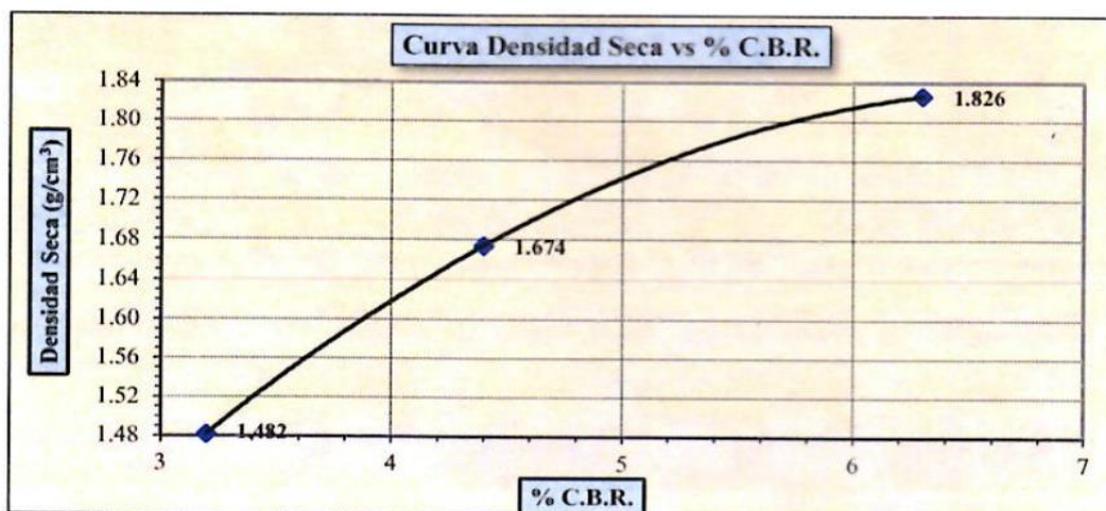
Figura 24- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 25 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 04 con la adición de 2% de tereftalato de polietileno.

Figura 25- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 2% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

5.- Ensayo CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno: En la tabla 17 se muestra los resultados obtenidos de los ensayos de CBR de las calicatas realizadas con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

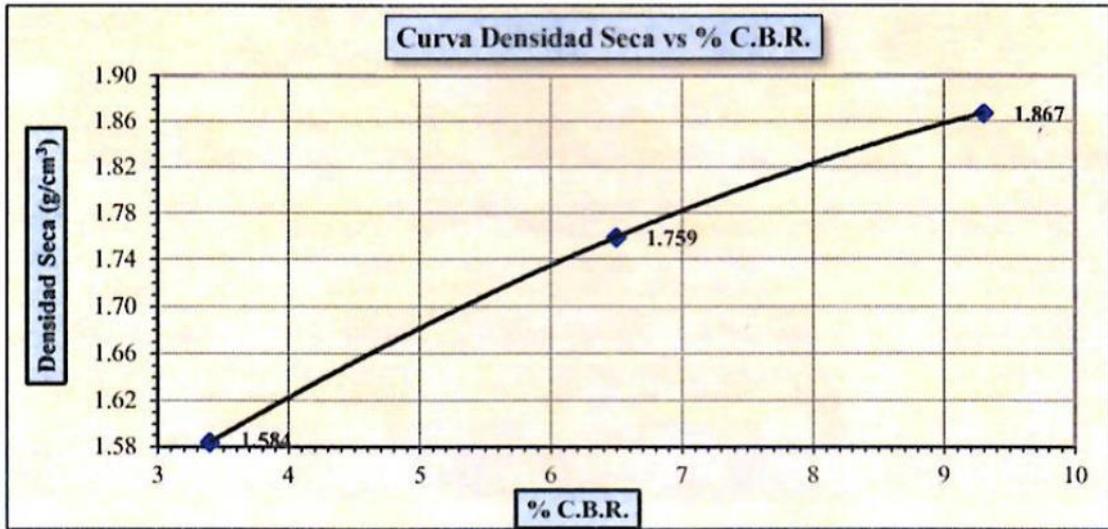
Tabla 17 – Resultados de CBR con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4%	9.3%	6.8%
02	M-01	4%	9.1%	6.6%
03	M-01	4%	9.6%	7.8%
04	M-01	4%	9.2%	7.7%

Fuente: Elaboración propia.

La figura 26 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 01 con la adición de 4% de tereftalato de polietileno.

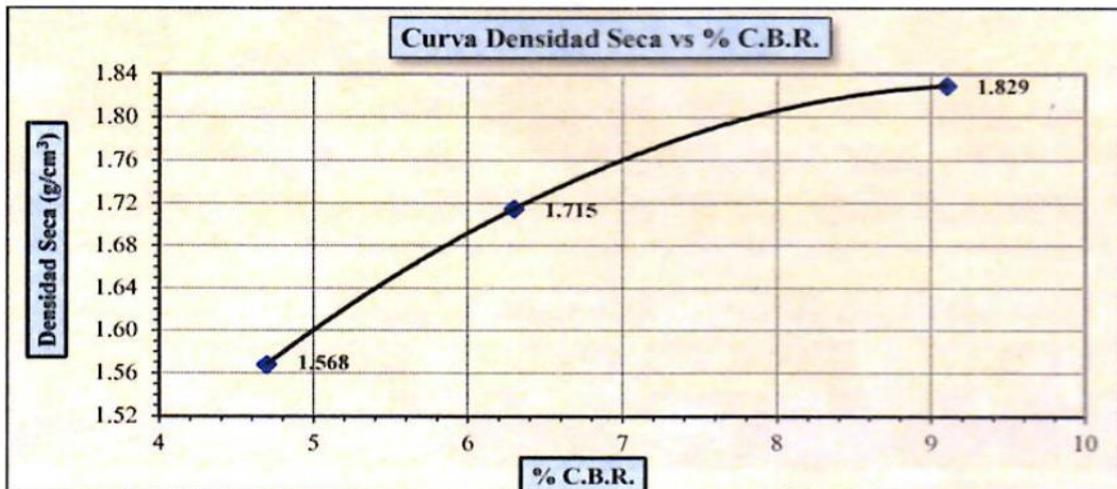
Figura 26- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 27 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 02 con la adición de 4% de tereftalato de polietileno.

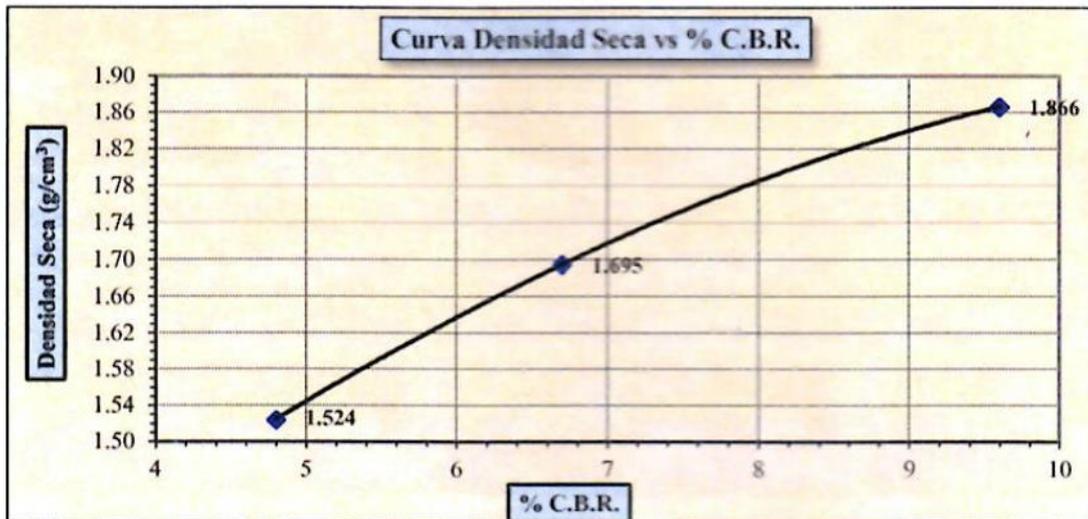
Figura 27- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 28 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 03 con la adición de 4% de tereftalato de polietileno.

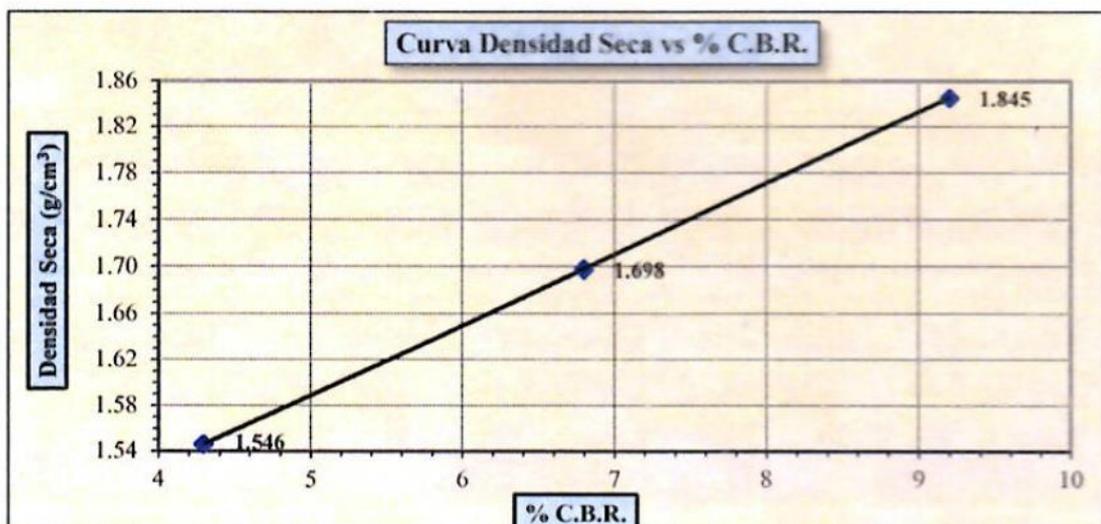
Figura 28- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 29 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 04 con la adición de 4% de tereftalato de polietileno.

Figura 29- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 4% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

6.- Ensayo CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno: La tabla 18 muestra los resultados obtenidos de los

ensayos de CBR de las calicatas realizadas con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

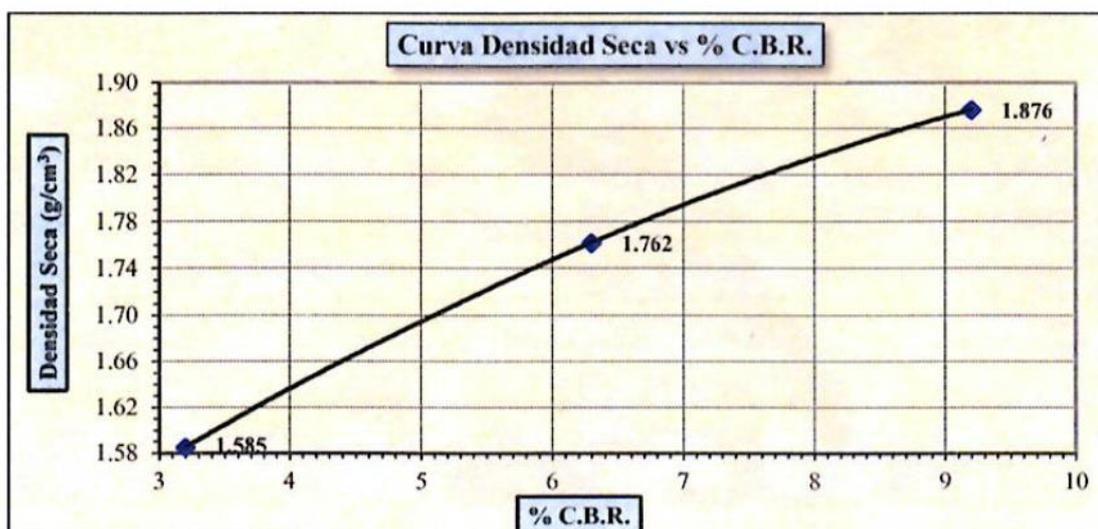
Tabla 18 – Resultados de CBR con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.

CALICATA	MUESTRA	TEREFTALATO DE POLIETILENO	CBR AL 100% DE LA MDS	CBR AL 95% DE LA MDS
01	M-01	4%	9.2%	6.7%
02	M-01	4%	8.9%	6.7%
03	M-01	4%	9.4%	7.7%
04	M-01	4%	9.1%	7.6%

Fuente: Elaboración propia.

La figura 30 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 01 con la adición de 6% de tereftalato de polietileno.

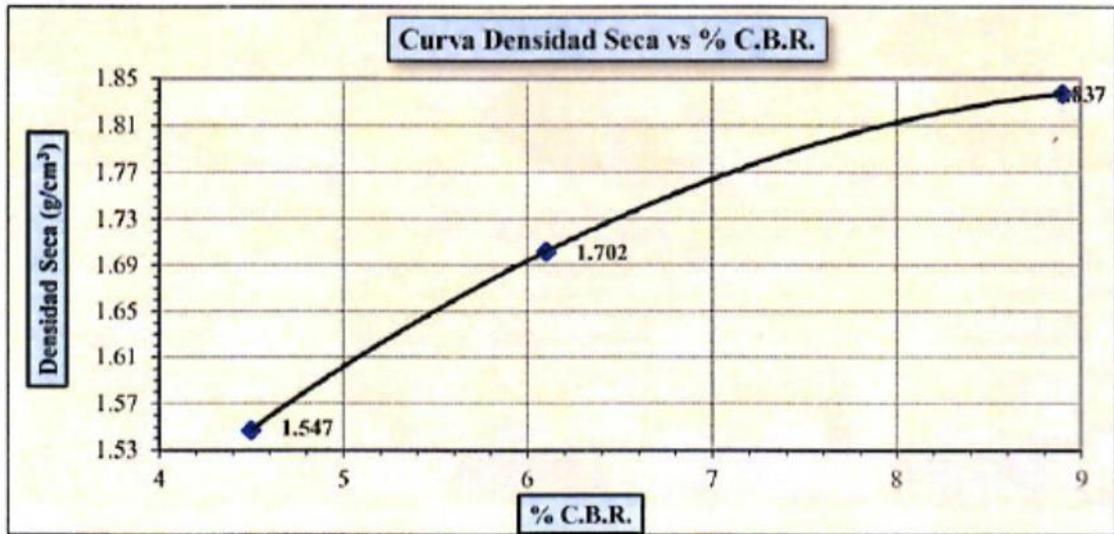
Figura 30- Curva densidad seca vs %CBR calicata 01 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 31 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 02 con la adición de 6% de tereftalato de polietileno.

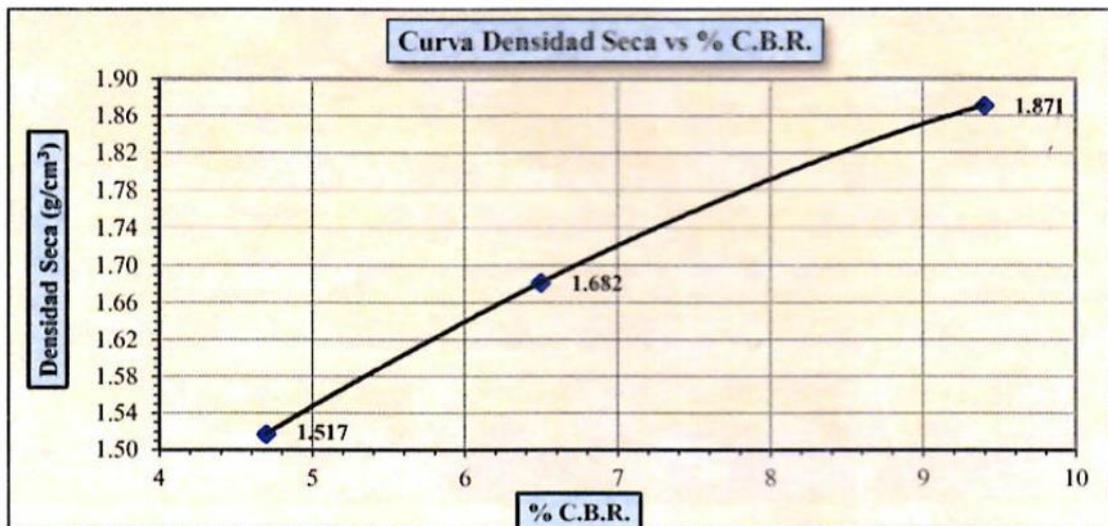
Figura 31- Curva densidad seca vs %CBR calicata 02 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 32 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 03 con la adición de 6% de tereftalato de polietileno.

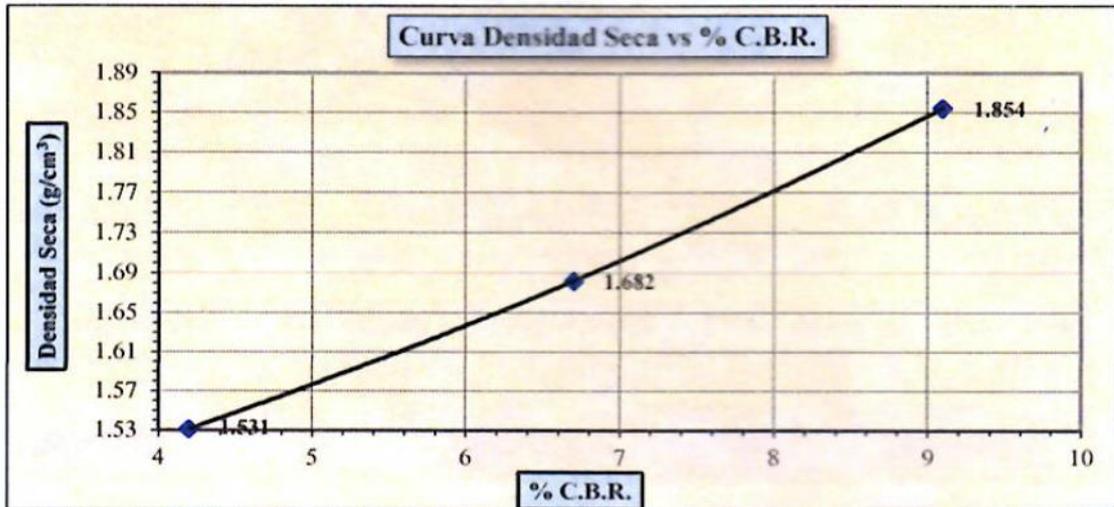
Figura 32- Curva densidad seca vs %CBR calicata 03 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

La figura 33 muestra un gráfico de densidad seca vs % CBR para el material obtenido de la calicata 04 con la adición de 6% de tereftalato de polietileno.

Figura 33- Curva densidad seca vs %CBR calicata 04 con la adición del 6% de tereftalato de polietileno.



Fuente: Elaboración Propia.

4.1.3. Resumen de los resultados obtenidos

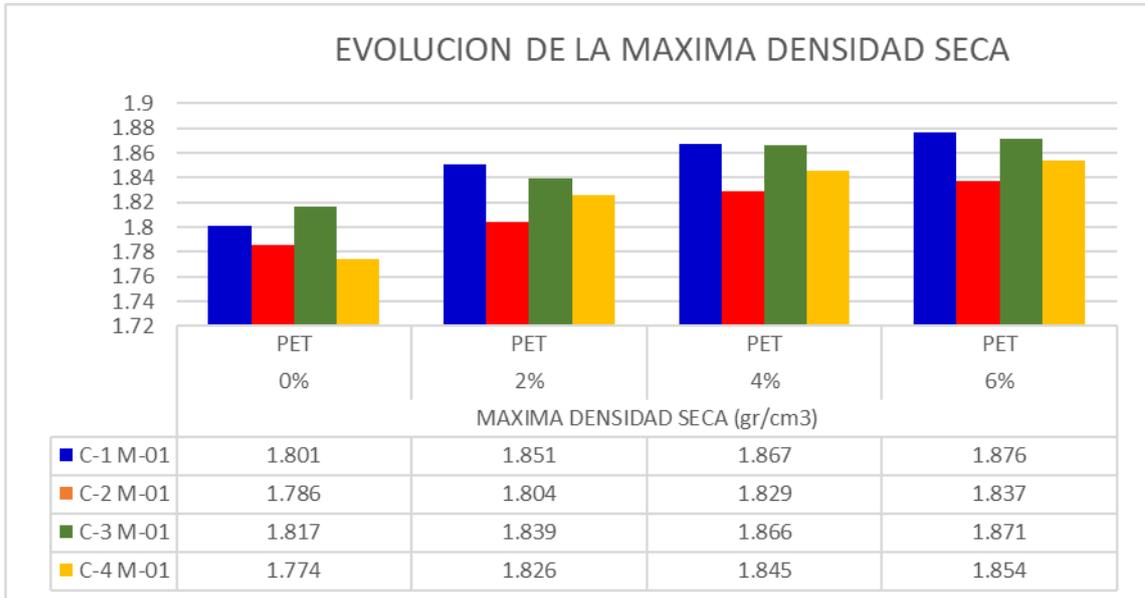
Con la adición de tereftalato de polietileno se logró incrementar la máxima densidad seca en términos de 1.801 gr/cm³ (0%PET) a 1.876 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 1.786 gr/cm³ (0%PET) a 1.837 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 1.817 gr/cm³ (0%PET) a 1.871 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 04 y de 1.774 gr/cm³ (0%PET) a 1.854 gr/cm³ (6%PET) de la muestra de la calicata 04, asimismo se logró la disminución del contenido óptimo de humedad del suelo de 18.7% (0%PET) a 16.5% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 19.5% (0%PET) a 17.8% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 18.2% (0%PET) a 16.5% (6%PET) de la muestra de la calicata 03 y de 19.2% (0%PET) a 17.6% (6%PET) de la muestra de la calicata 04.

Tabla 19 – Resumen general del ensayo de proctor modificado.

CALICATA	MUESTRA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm ³)				OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
		0% PET	2% PET	4% PET	6% PET	0% PET	2% PET	4% PET	6% PET
01	M-01	1.801	1.851	1.867	1.876	18.7	17.8	17.1	16.5
02	M-01	1.786	1.804	1.829	1.837	19.5	18.9	18.5	17.8
03	M-01	1.817	1.839	1.866	1.871	18.2	17.5	16.6	16.5
04	M-01	1.774	1.826	1.845	1.854	19.2	18.5	18.0	17.6

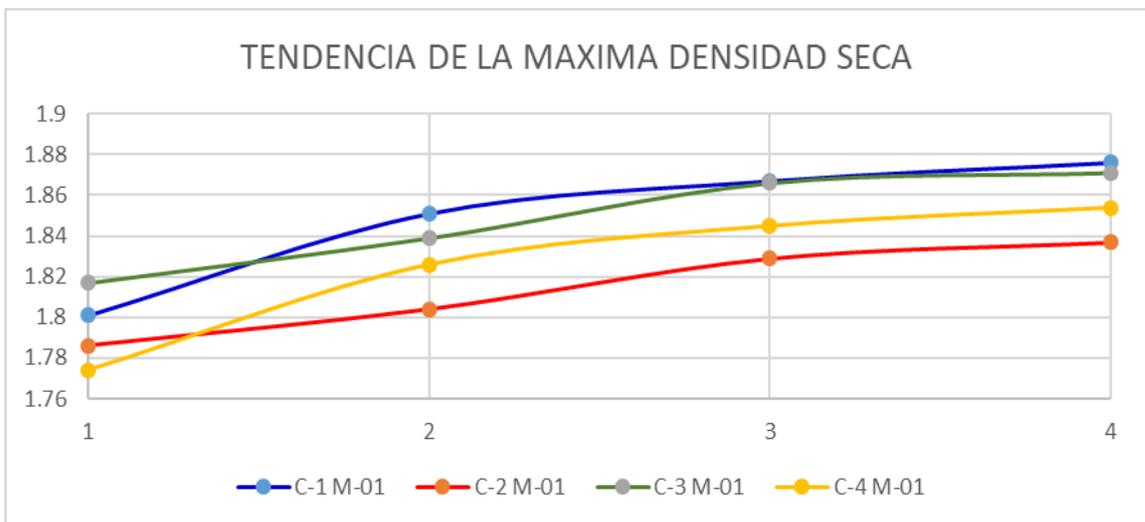
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34- Evolución de los valores de la máxima densidad seca.



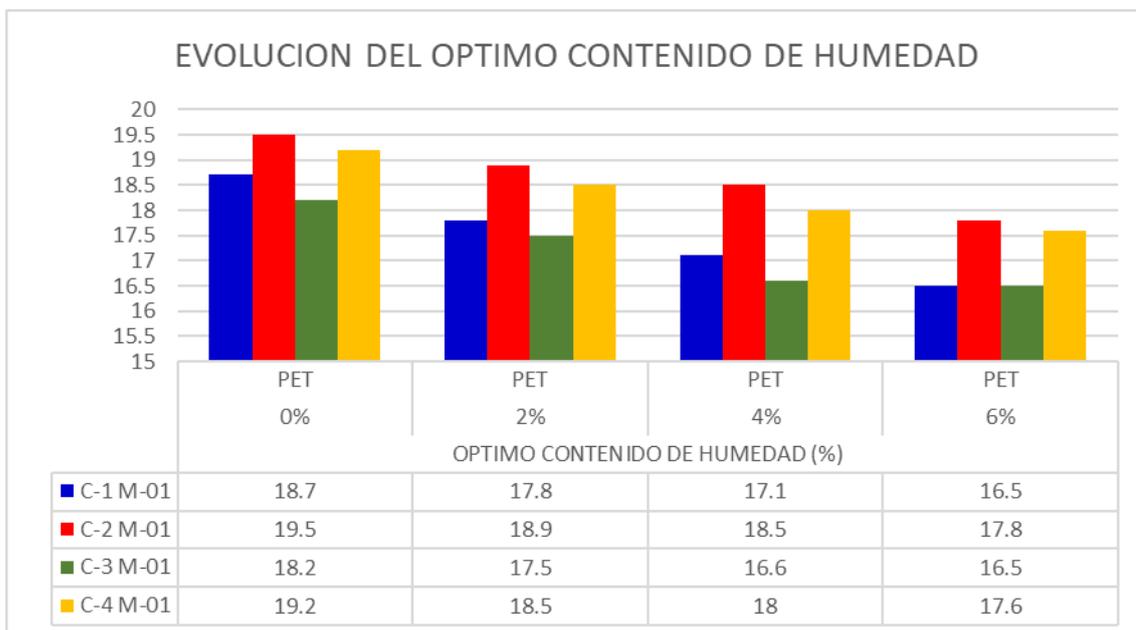
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 35- Tendencia creciente de los valores de la máxima densidad seca.



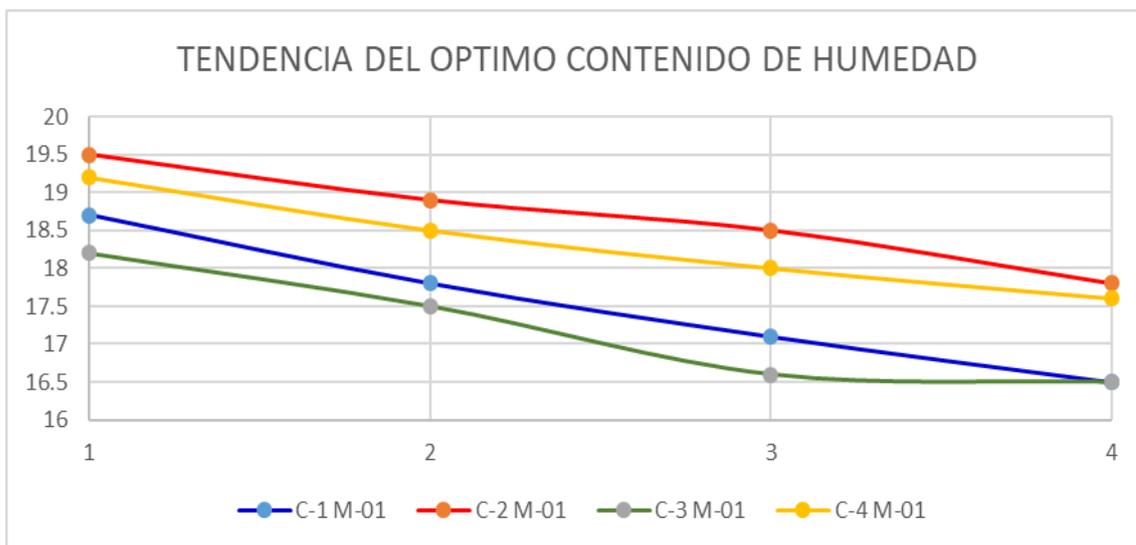
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 36- Evolución del óptimo contenido de humedad.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 37- Tendencia decreciente del óptimo contenido de humedad.



Fuente: Elaboración Propia.

Gracias a la adición de tereftalato de polietileno se puede conseguir un aumento del 100% en la capacidad de carga, pasando del 4,8% (0% PET) al 9,2% (6% PET) de la muestra de la calicata 01, del 4,6% (0% PET) al 18,9% (6% PET) de la calicata 02, 4,2% (0% PET) al 9,4% (6% PET) de la calicata 03 y 4,1% (0% PET) al 9,1% (6% PET)) de la muestra de la calicata 04, de igual manera,

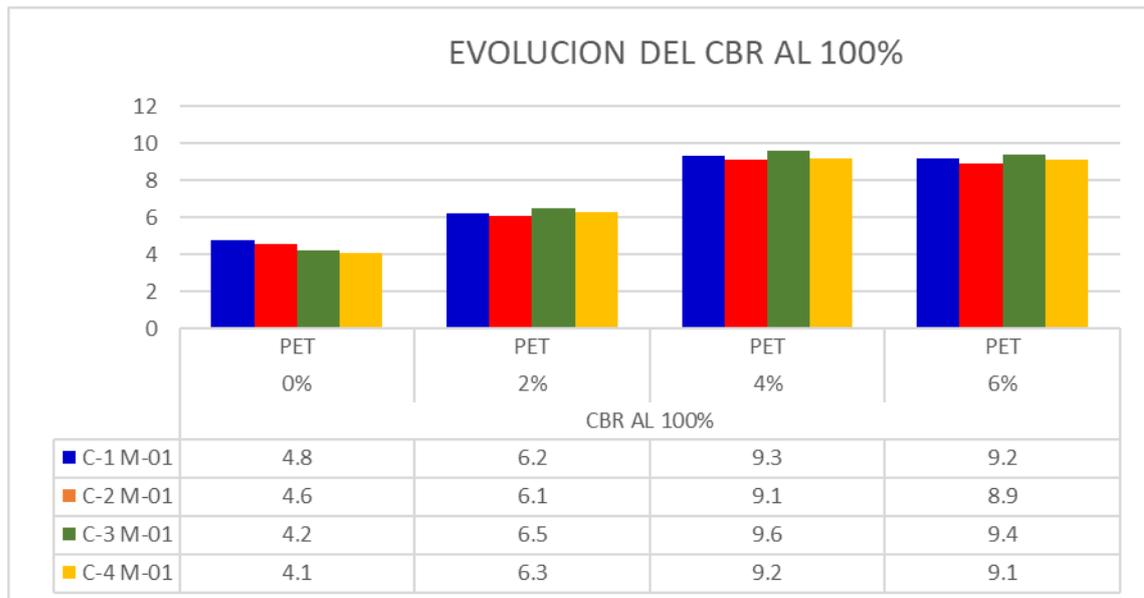
se puede aumentar la capacidad portante al 95% del 3,4% (0% PET) al 6,7% (6% PET) muestras de la calicata 01, del 3,3% (0 % PET) a 6,7% (6% PET) muestras de la calicata 02, de 3,1% (0% PET) a 7,7% (6% PET) muestras de la calicata 03 y 2,8% (0% PET) a 7,7% (6% PET) muestras de la calicata 04.

Tabla 20 – Resumen general del ensayo de CBR.

CALICATA	MUESTRA	CBR AL 100%				CBR AL 95%			
		0% PET	2% PET	4% PET	6% PET	0% PET	2% PET	4% PET	6% PET
01	M-01	4.8	6.2	9.3	9.2	3.4	4.7	6.8	6.7
02	M-01	4.6	6.1	9.1	8.9	3.3	4.6	6.6	6.7
03	M-01	4.2	6.5	9.6	9.4	3.1	4.6	7.8	7.7
04	M-01	4.1	6.3	9.2	9.1	2.8	4.9	7.7	7.7

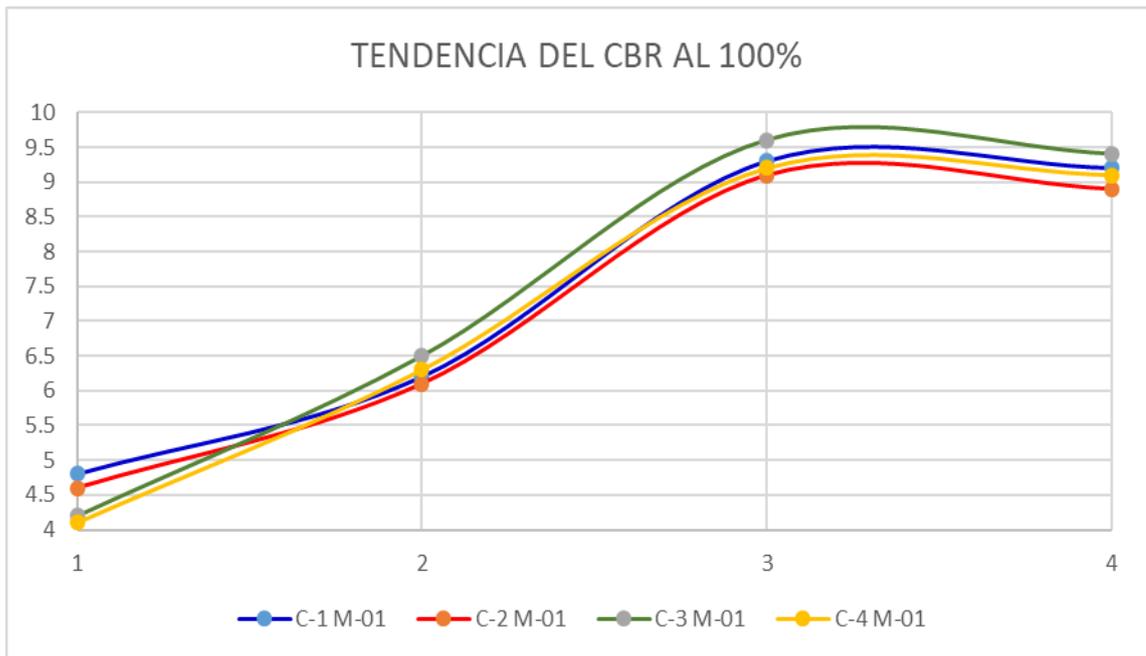
Fuente: Elaboración propia.

Figura 38- Evolución de los valores del CBR al 100%.



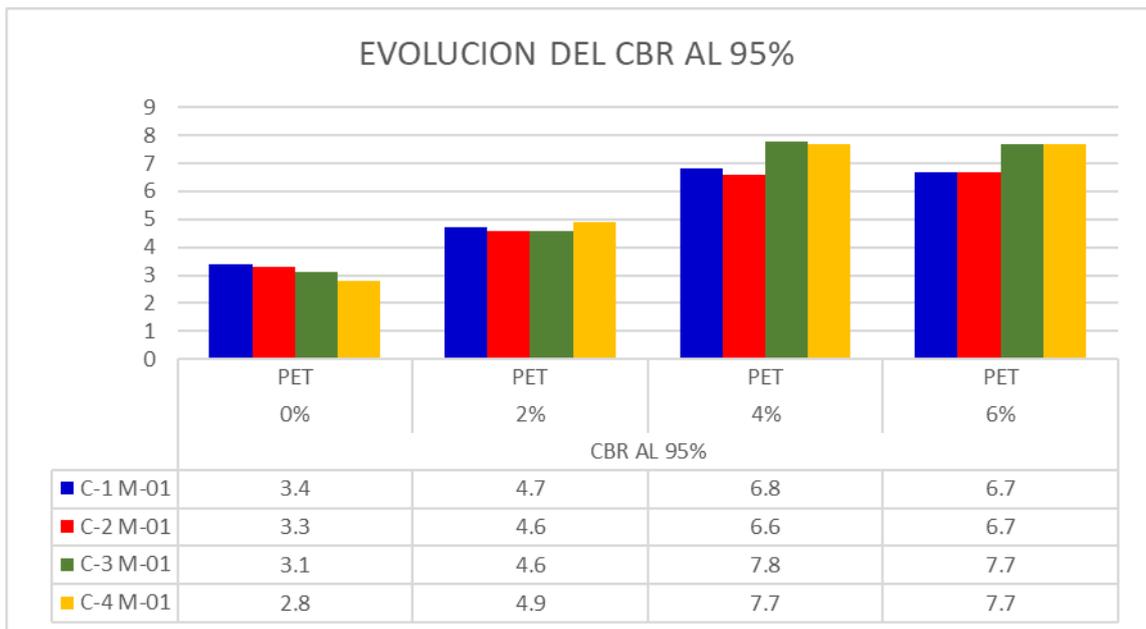
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 39- Tendencia creciente de los valores del CBR al 100%.



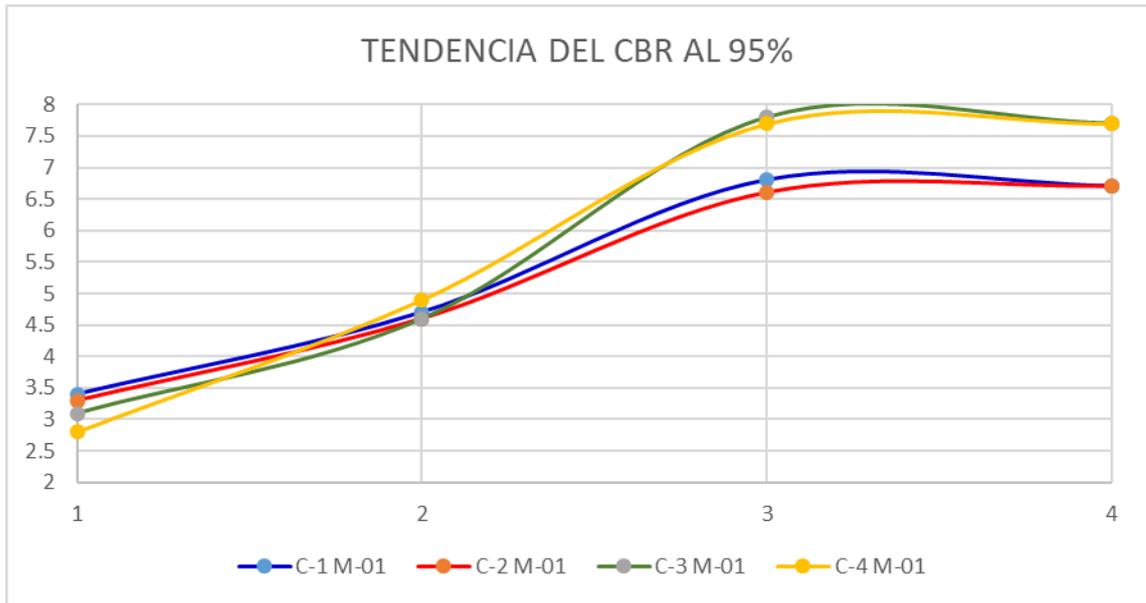
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 40- Evolución de los valores de CBR al 95%.



Fuente: Elaboración Propia.

Figura 41- Tendencia creciente de los valores de CBR al 95%.



Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Discusión de resultados específicos

Tan pronto como se hayan realizado los resultados de las pruebas pertinentes en las muestras recuperadas de las cuatro calicatas, se discutirá cada objetivo específico con el trabajo previo de este trabajo de investigación.

1.- Del estudio de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de sub rasante: De acuerdo con nuestro primer objetivo, que señala; Determinar la capacidad de soporte de la subrasante para la incorporación del tereftalato de polietileno. Para el logro de dicho objetivo se tuvo que ir al lugar de estudio insitu y obtener muestras con el fin de poder realizar los respectivos ensayos de laboratorio según la Norma Técnica Peruana (NTP), para ello se tuvieron que realizar los siguientes ensayos: análisis granulométrico, contenido de humedad, límites de atterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad), la clasificación de suelos SUCS y AASHTO y por último los ensayos de proctor modificado y CBR.

El análisis granulométrico de las cuatro muestras ensayadas (01 por calicata), en promedio el 86% eran partículas finas, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso y la humedad natural que éstas muestras presentaban en promedio es de 17.25%, posteriormente para los límites de Atterberg se logró determinar el límite líquido y plástico de cada muestra, obteniendo de esta forma el índice de plasticidad, cuyo valor se encuentra entre 12% y 16%, por lo que, se considera como un suelo arcilloso. Ya obtenidos los datos de granulometría y límites de atterberg se pudo determinar qué tipo de suelo resulta cada muestra de forma independiente, por lo que, la clasificación SUCS ratifico que las muestras son un suelo del tipo arcilloso de baja plasticidad (CL) y la clasificación AASHTO registró un suelo arcilloso (A-6).

Según el ensayo de compactación (proctor modificado), se obtuvo una máxima densidad seca de 1.801, 1.786, 1.817 y 1.774 gr/cm³, estos valores son de importancia para el ensayo de CBR, tal es así, que a partir de estos valores se lograra determinar el valor de soporte del suelo, las muestras dieron como resultado 4.8%, 4.6%, 4.2% y 4.1% de CBR con una penetración de 0.2 pulgadas a 56 golpes, de acuerdo a estos resultados se determina que la subrasante se encuentra identificada como Pobre, ello de acuerdo a la clasificación de la tabla N° 1 (categorías de subrasante) establecida por el MTC.

2.- De los porcentajes de incorporación del tereftalato de polietileno:

De acuerdo con nuestro segundo objetivo, que señala; Evaluar los porcentajes de incorporación del terftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante. Para el logro de dicho objetivo se tuvo que ir al lugar de estudio insitu y obtener muestras con el fin de poder realizar los respectivos ensayos de laboratorio según la Norma Técnica Peruana (NTP), para ello se tuvieron que realizar los siguientes ensayos: ensayo de compactación (proctor modificado) y finalmente ensayo de CBR con la adición del 2, 4 y 6% de tereftalato de polietileno.

Según el ensayo de compactación (proctor modificado), se obtuvo una máxima densidad seca de 1.801, 1.786, 1.817 y 1.774 gr/cm³, estos valores son de importancia para el ensayo de CBR, tal es así, que a partir de estos valores se lograra determinar el valor de soporte del suelo, las muestras dieron como resultado 4.8%, 4.6%, 4.2% y 4.1% de CBR con una penetración de 0.2 pulgadas a 56 golpes, de acuerdo a estos resultados se determina que la subrasante se encuentra identificada como "Pobre", ello de acuerdo a la clasificación de la tabla N° 1 (categorías de subrasante) establecida por el MTC. Por lo que, en mérito al objetivo de la presente investigación, en los siguientes ensayos se adicionaran partículas de tereftalato de polietileno (2%, 4% y 6% de PET), con el fin de que pueda cumplir dicho material la función similar de las partículas mayores a 4.75mm (gravas), lo cual le dará mayor fricción y por ende mayor resistencia al corte. Lo indicado líneas arriba, se relaciona con la tesis de

Roly Roberth Leiva Gonzales, titulada UTILIZACIÓN DE BOLSAS DE POLIETILENO, PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL DE LA SUBRASANTE EN EL JR. AREQUIPA, PROGRESIVA KM 0+000 – KM 0+100, DISTRITO DE ORCOTUNA, CONCEPCIÓN, en esta investigación se utiliza bolsas plásticas, un material que pertenece al grupo de los polímeros. Leyva emplea las bolsas de polietileno fundida como agente de mejora de un suelo arcilloso de mediana y baja plasticidad con un valor de soporte de 5%, obteniendo como resultado un aumento al 8.31% del valor de soporte con un 6% de bolsas plásticas.

Finalmente, para el cumplimiento de nuestro segundo objetivo se determinó los valores de soporte (CBR) de la subrasante con la adición del tereftalato de polietileno en proporciones de 2%, 4% y 6%, de los ensayos practicados se logró tener un resultado favorable, puesto que el CBR aumento desde un 4% (0%PET) en promedio hasta un 9%(6%PET) en promedio. Estos resultados guardan relación con los resultados obtenidos en la tesis de Ramos Hinojosa Gabriel Paul, titulada MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE, MEDIANTE EL USO DE POLÍMEROS RECICLADOS EN CARRETERAS, PAUCARÁ HUANCVELICA 2014, donde se obtuvo resultados favorables en el valor de soporte del suelo, aumentándolo de 3.77% hasta 4.85% con 1.5% de Polímeros reciclados.

CONCLUSIONES

- A. El análisis granulométrico de las cuatro muestras ensayadas (01 por calicata), en promedio el 86% eran partículas finas, lo cual indica la gran presencia de material limo arcilloso y la humedad natural que éstas muestras presentaban en promedio es de 17.25%, el índice de plasticidad, cuyo valor se encuentra entre 12% y 16%, por lo que, se considera como un suelo arcilloso, la clasificación SUCS ratifico que las muestras son un suelo del tipo arcilloso de baja plasticidad (CL) y la clasificación AASHTO registró un suelo arcilloso (A-6). Según el ensayo de compactación (proctor modificado), se obtuvo una máxima densidad seca de 1.801, 1.786, 1.817 y 1.774 gr/cm³, estos valores son de importancia para el ensayo de CBR, tal es así, que a partir de estos valores se lograra determinar el valor de soporte del suelo, las muestras dieron como resultado 4.8%, 4.6%, 4.2% y 4.1% de CBR con una penetración de 0.2 pulgadas a 56 golpes, de acuerdo a estos resultados se determina que la subrasante se encuentra identificada como Pobre, ello de acuerdo a la clasificación de la tabla N° 1 (categorías de subrasante) establecida por el MTC.
- B. Con la adición de tereftalato de polietileno se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de CBR al 100%, de 4.8% (0%PET) a 9.2% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 4.6% (0%PET) a 18.9% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 4.2% (0%PET) a 9.4% (6%PET) de la muestra de la calicata 04 y de 4.1% (0%PET) a 9.1% (6%PET) de la muestra de la calicata 04, asimismo se logró incrementar porcentualmente la capacidad portante en términos de CBR al 95% de 3.4% (0%PET) a 6.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 01, de 3.3% (0%PET) a 6.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 02, de 3.1% (0%PET) a 7.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 03 y de 2.8% (0%PET) a 7.7% (6%PET) de la muestra de la calicata 04.

RECOMENDACIONES

1. El tereftalato de polietileno debe usarse como estabilizador base en suelos con baja capacidad de carga.
2. Se deben realizar ensayos físico-mecánicos (EMS) del suelo para determinar las propiedades físico-mecánicas del suelo (subsuelo) para seleccionar el tipo de agente como estabilizador recomendación por parte del Ministerio de Transporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arbeláez, J., & Góngora, D. (2019). Refuerzo de estructuras térreas utilizando tereftalato de polietileno (PET). Universidad de Ibagué.
2. Bernal, C. (2006). Metodología de la investigación. Para administración, economía, humanidades y ciencias sociales. (Segunda; L. Gaona, Ed.). México: Pearson Educación.
3. Cuipal, B. (2018). Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018 (Universidad César Vallejo). Retrieved from <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/25124>
4. Del Cid, A., Sandoval, R., & Sandoval, F. (2007). Investigación. Fundamentos y metodología (Primera; H. Rivera, Ed.). México: Pearson Educación.
5. Greenpeace. (2018). Plásticos en los océanos. Dossier de Prensa, p. 7. Retrieved from http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/2016/report/plasticos/plasticos_en_los_oceanos_LR.pdf
6. Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta; J. Mares, Ed.). México: McGRAW-HILL.
7. Ley N°30884. (2018). Ley que regula el plástico de un sólo uso y los recipientes o envases descartables (p. 5). p. 5. Lima - Perú: Congreso de la República del Perú.
8. MTC. (2008). Manual de diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen 24 de tránsito. Retrieved from <http://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2015/08/manualdedisenodecarreterasnopavimentadasdebajovolumendetransito.pdf>
9. MTC. (2013). Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013) (Tomo I). Retrieved from [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual de Carreteras - Especificaciones Tecnicas Generales para Construcción - EG-2013 - \(Versión Revisada - JULIO 2013\).pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20de%20Carreteras%20-%20Especificaciones%20Tecnicas%20Generales%20para%20Construccion%20-%20EG-2013%20-%20(Versi3n%20Revisada%20-%20JULIO%202013).pdf)

10. MTC. (2014). Manual de carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos (Sección suelos y pavimentos) (p. 305). p. 305. Lima - Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
11. MTC. (2016). Manual de ensayo de materiales. Retrieved from [https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual Ensayo de Materiales.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)
12. MTC. (2018). Glosario de términos de uso frecuente en los proyectos de infraestructura vial (pp. 1–27). pp. 1–27. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
13. Vargas, N. (2017). Efecto de la adición de fibra de polímeros reciclados en el valor del CBR de suelos granulares en pavimentos. Universidad Continental.
14. Zenteno, S. (2018). Efecto de la estabilización de suelos finos con tereftalato de polietileno como material de refuerzo en la estructura de pavimentos flexibles del distrito de Puno (Universidad Nacional del Altiplano). Retrieved from 25 http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2383/Oblitas_Huayllapuma_Elizabeth_Quinto_Apaza_Deyse.pdf?sequence=1

ANEXOS

ANEXO 01 – Matriz de Consistencia.

ANEXO 02 – Resultados de Ensayos de Laboratorio.

Anexo 01: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>Problema general ¿Es necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante?</p> <p>Problemas específicos a) ¿Cuál será la capacidad de soporte de la subrasante para la incorporación del tereftalato de polietileno? b) ¿Qué porcentajes del tereftalato de polietileno mejora la capacidad de soporte de la subrasante?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante.</p> <p>Objetivos específicos a) Determinar la capacidad de soporte de la subrasante para la incorporación del tereftalato de polietileno. b) Evaluar los porcentajes de incorporación del tereftalato de polietileno en el mejoramiento de la baja capacidad de soporte de la subrasante.</p>	<p>Justificación metodológica La investigación presenta justificación metodológica, en cuanto propone una serie de pasos o procedimientos que enriquezca la investigación, en tal razón la investigación establece una metodología para determinar el porcentaje óptimo de tereftalato de polietileno reciclado en suelos para subrasante.</p> <p>Justificación social Según Bernal (2006) existe justificación social o práctica, si se pretende resolver un problema real; en tal sentido la presente investigación pretende dar una alternativa de uso al tereftalato de polietileno reciclado, que es usado en la mayoría en envases de bebidas y que por su deficiente disposición contaminan el medio ambiente; asimismo, se pretende dar solución a la deficiente calidad del suelo para actuar como subrasante, esto de acuerdo a las recomendaciones del MTC.</p> <p>Justificación teórica Este estudio de investigación se realiza con la finalidad de aportar conocimientos sobre el uso del tereftalato de polietileno; no se encuentran muchos antecedentes con</p>	<p>Hipótesis General Si fue necesario evaluar la incorporación del tereftalato de polietileno, por cuanto mejora la baja capacidad de soporte de la subrasante.</p> <p>Hipótesis específicos a) La subrasante presenta una baja capacidad de soporte. b) Los porcentajes de 2, 4 y 6% de incorporación de tereftalato de polietileno mejoran la baja capacidad de soporte de la subrasante.</p>	<p>Variable Independiente Tereftalato de polietileno (PET).</p> <p>Variable dependiente: Subrasante.</p>	<p>Método de investigación Método científico.</p> <p>Tipo de estudio El tipo de investigación por la naturaleza del estudio es aplicado</p> <p>Nivel de investigación El estudio por el nivel de explicativo.</p> <p>Diseño metodológico Experimental del tipo cuasi experimental.</p>

		<p>el uso respectivo de este material, el cual sería estabilizar una subrasante de baja capacidad de soporte adicionando el tereftalato de polietileno u otros usos similares. Con este estudio de investigación los resultados podrían sistematizar en una propuesta de solución a ese tipo de suelo, y de esa manera incorporar como conocimiento al mundo de la ingeniería, ya que se está demostrando que el uso de dicho material influye en el mejoramiento de la capacidad de soporte y otras propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.</p> <p>La recopilación de los resultados obtenidos por el laboratorio, posteriormente procesado, servirá como base de datos para investigaciones posteriores relacionadas a la ingeniería de transporte, y nuevas tecnologías y procesos puesto que es una investigación innovadora.</p>			
--	--	---	--	--	--