



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL.

“Análisis de las propiedades mecánicas del Suelo arcilloso utilizando  
Fibra de caucho y polímeros de nailon, Villa Hermosa - Chiclayo,  
2021

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Ramirez Ojeda, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-2066-7956)

**ASESOR:**

Dr. Fernández Díaz, Carlos Mario (ORCID: 0000-0001-6774-8839)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA — PERÚ

2021

## **Dedicatoria**

Esta tesis se la dedico a mi familia por su apoyo incondicional, a mi esposa y mis hijas por ser mi fuente de inspiración para dar lo mejor de mí frente a cualquier adversidad. Finalmente, dedico este trabajo a todas las personas que me apoyaron para poder culminar la tesis.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a mis profesores, personas de gran sabiduría y experiencia quienes se esforzaron por apoyarme a llegar al momento en que me encuentro, gracias por sus enseñanzas.

Este proceso no ha sido nada fácil, pero gracias a sus conocimientos compartidos lograron formar en mí a una persona con deseos de superación, poniendo siempre en alto el nombre de la Universidad Cesar Vallejo.

## Índice de contenido

Tablas .....	V
Figuras .....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA.....	20
3.2 Tipo y diseño de investigación.....	20
3.3 Variables y operacionalización .....	20
3.4 Población, muestra y muestreo .....	20
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad 21	
3.6 Procesamiento y Análisis de Datos .....	22
3.7 Aspectos éticos .....	23
IV. RESULTADOS: .....	24
4.1 Características del suelo: .....	24
4.1.1 Granulometría: .....	24
4.1.2 Clasificación del suelo:.....	24
4.1.3 Límites de Atterberg:.....	25
4.2 Propiedades físicas de los polímeros de nailon y de las fibras de caucho 25	
4.2.1 Propiedades físicas del polímero de nailon:.....	25
4.2.2 Propiedades físicas del caucho:.....	27
4.3 Ensayos de Proctor modificado y CBR.....	29
4.3.1 Suelo natural: .....	30

4.3.2	Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 1.25% de polímeros de nailon.....	31
4.3.3	Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 2.5% de polímeros de nailon.....	33
4.3.4	Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 5% de polímeros de nailon.	36
4.3.5	Resumen de resultados: .....	38
V.	DISCUSIONES .....	40
VI.	CONCLUSIONES.....	43
VII.	RECOMENDACIONES .....	45
	REFERENCIAS .....	46

## Tablas

Tabla 1. Propiedades de la fibra de Nailon.....	19
Tabla 2. Muestra de la investigación. ....	20
Tabla 3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	22
Tabla 4. Resumen de análisis granulométrico por calicata. ....	24
Tabla 5. Clasificación del suelo según SUCS y AASHTO.....	24
Tabla 6. Límites de Atterberg. ....	25
Tabla 7. Granulometría de los polímeros de nailon.....	25
Tabla 8. Peso unitario suelto de polímeros de nailon.....	26
Tabla 9. Peso unitario compactado de polímeros de nailon.....	27
Tabla 10. Granulometría de fibras de caucho: .....	27
Tabla 11. Peso unitario suelto de las fibras de caucho. ....	28
Tabla 12. Peso unitario compactado de las fibras de caucho. ....	29
Tabla 13. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (Suelo natural).....	30
Tabla 14. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1).....	31
Tabla 15. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2).....	32
Tabla 16. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3).....	32
Tabla 17. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1).....	33
Tabla 18. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2).....	34
Tabla 19. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3).....	34
Tabla 20. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1).....	36
Tabla 21. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2).....	36
Tabla 22. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3).....	37
Tabla 23. Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO.....	38
Tabla 24. Propiedades físicas del polímero de nailon. ....	39
Tabla 25. Propiedades físicas de fibras de caucho. ....	40
Tabla 26. Dosificación PROCTOR. ....	38
Tabla 27. Dosificación CBR.....	38

## Figuras

Figura 1. Aditivos para la estabilización de suelos. ....	8
Figura 2. Clasificación de Suelos Según partículas. ....	9
Figura 3. Curva granulométrica. ....	10
Figura 4. Límites de Atterberg. ....	10
Figura 5. Tipo de suelo según clasificación SUCS. ....	12
Figura 6. Clasificación ASSTHO. ....	13
Figura 7. Curva de Compactación del Proctor Modificado. ....	14
Figura 8. Clasificación de suelos según el CBR obtenido. ....	15
Figura 9. Curva granulométrica de polímeros de nailon. ....	26
Figura 10. Curva granulométrica de fibras de caucho. ....	28
Figura 11: Resultados de CBR de suelo natural. ....	30
Figura 12: Curva de compactación, muestra natural (C-1). ....	31
Figura 13: Resultados de CBR de suelo experimental 1. ....	33
Figura 14: Resultados de CBR de suelo experimental 2. ....	35
Figura 15: Resultados de CBR de suelo experimental 3. ....	37

## Resumen

La presente investigación surgió con la necesidad mejorar el suelo arcilloso, a través de la estabilización del suelo adicionándole fibras de caucho y polímeros de nailon. Como se sabe, ambos materiales utilizados se encuentran en muchos lugares como agentes contaminantes ya que tiene un largo su proceso de degradación y descomposición. Para ello, se planteo como objetivo general Analizar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso adicionando fibra de caucho y polímeros de nailon en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo, 2021.

Para llevar a cabo esta investigación, fue necesario realizar ensayos en el laboratorio de suelo (Granulometría, contenido de humedad, Proctor, CBR, etc) adicionándoles 5% de fibras de caucho y polímeros de nailon en porcentajes de 1.25, 2.5 y 5, y esto para cada ensayo.

En los resultados obtenidos se puede verificar que al adicionarle fibra de caucho y polímeros de nailon influye en la mejora de las propiedades del suelo arcilloso del P.J Villa Hermosa, ya que después de realizar los ensayos, el caso experimental 3 (5% de fibras de caucho + 5 % de polímeros de nailon) se tiene un CBR de 7.88% en comparación del suelo natural que fue de 5.26%, aumentando en si un 49%. Por tanto, se comprobó que la utilización de fibras de caucho y nailon es beneficioso para la estabilización del suelo.

**Palabras clave:** Estabilización, fibra de caucho, polímero de nailon.

## **Abstract**

The present research arose with the need to improve the clay soil, through the stabilization of the soil by adding rubber fibers and nylon polymers. As is known, both materials used are found in many places as pollutants since they have a long process of degradation and decomposition. For this, the general objective was to analyze the mechanical properties of clay soil by adding rubber fiber and nylon polymers in the P.J Villa Hermosa in the city of Chiclayo, 2021.

To carry out this research, it was necessary to carry out tests in the soil laboratory (granulometry, moisture content, Proctor, CBR, etc.) adding 5% of rubber fibers and nylon polymers in percentages of 1.25, 2.5 and 5, and this for each trial.

In the results obtained, it can be verified that by adding rubber fiber and nylon polymers it influences the improvement of the properties of the clay soil of the PJ Villa Hermosa, since after carrying out the tests, the experimental case 3 (5% of rubber + 5% nylon polymers), there is a CBR of 7.88% compared to natural soil, which was 5.26%, increasing by 49%. Therefore, the use of rubber and nylon fibers was found to be beneficial for soil stabilization.

**Keywords:** Stabilization, rubber fiber, nylon polymer.

## I. INTRODUCCIÓN

Chijioke, et al. (2019) en su publicación “Tendencias emergentes en la estabilización expansiva del suelo: Una revisión” indica que, en las estructuras de ingeniería civil, se utilizan varios tipos de suelos; sin embargo, algunos depósitos de suelo en su forma natural son inadecuados para fines de construcción sin tratamiento (pág. 23). Para Piedra, et al, (2021) estos suelos necesitan ser excavados y luego reemplazados, o sus propiedades deben ser modificadas (pág. 34).

En los últimos años, en el diseño como en la construcción de carreteras, se han realizado practicas destinadas a la estabilización del suelo, el cual ha logrado dar solución a su comportamiento y pueda cumplir las solicitudes requeridas (Alarcón, Jimenez y Benitez, 2020, p. 36).

Para lograr estabilizar y optimizar un suelo que no cumple las solicitudes requeridas para cada tipo de estructura (entre ellas la presencia de agua, la resistencia del suelo, la inestabilidad del suelo), se ha buscado soluciones para que las estructuras que se construyan sobre ellos no se puedan dañar, debilitar o deformar y pueda cumplir la función por la que fue construida y el tiempo de vida en el cual fue diseñado. (Rivera, et al., 2020, p. 25)

Gómez (2019) En los terrenos arcillosos existe gran probabilidad de hallar inconvenientes concernientes con variaciones volumétricas ante pérdida o ganancia de agua, lo que en la experiencia conlleva a problemas al momento de estabilizar estos tipos de suelos (p. 36). Cobeñas (2018) Por otra parte, nos dice que, en nuestro país la mayor cantidad de suelos está constituida por suelos blandos el cual, al realizar los ensayos, obtenemos bajas resistencia del suelo, esto, como consecuencia de la meteorización de las rocas reflejándolo en su granos finos. (p.19).

Según Santiago (2017) Dado estos múltiples escenarios existen numerosas metodologías para estabilizar el suelo. De las numerosas investigaciones, se han utilizado diferentes materiales como por ejemplo la cal, el cual fue muy utilizado por los años 200. Posteriormente, se experimentaron utilizando residuos de las cenizas, polímeros, plásticos, etc. De la misma manera, se han realizado combinaciones de materiales como solución de la estabilización de los suelos. (Pozo, 2019, sp.)

Moale y Rivera (2019) En el Perú no se ha realizado estudios que permitan estabilizar suelos finos, solamente se toman propiedades químicas de otros materiales que vienen del extranjero la cual hace muy costoso el uso (p. 17). Además, Carrillo (2016) nos dice que en nuestro país mayormente los suelos son inestables conformado por tipos de suelo que son de baja resistencia como los suelos arcillosos (p. 33). Esto conlleva un problema latente en las vías y su construcción ya que son sustituidas por enrocados, materiales de tipo granulares, entre otros tipos de rellenos de mayor resistencia y consecuentemente mayor costo (Arando y Gamarra, 2019, p. 77).

En la ciudad de Chiclayo, especialmente en el P.J Villa Hermosa las vías, en su mayoría, se encuentran en zonas donde existen suelos finos (arcillas) y este tipo de material es deficiente. Además, para Coello y Salinas (2020) las vías no pavimentadas presentan un elevado costo al momento de estabilizar este tipo de suelo, ya que las pavimentaciones dependen de la calidad de la cimentación a nivel de terreno de fundación (p.36). Esto ha causado problemas del deterioro de la mayoría de las vías de la ciudad de Chiclayo. Esto llega a empeorar por las intensas lluvias ya que estas provocan estancamiento de aguas y filtración compuesta por las arcillas y produce asentamientos lo que hace intransitable la zona afectando las actividades económicas la población (Cuya, 2017, p. 27).

La finalidad de llevar a cabo el proyecto; iniciándose con una problemática, plasmándose de la manera siguiente: ¿La utilización de la fibra de caucho y polímeros de nailon permitirá mejorar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso del suelo en el PJ Villa Hermosa de la ciudad de Chiclayo?

La investigación presentada tiene una **justificación técnica** debido que a través de la obtención de los resultados correspondientes de la investigación se podrá plantear una alternativa de mejoramiento del suelo con fibra de caucho y polímeros de nailon, de esa manera tendrá una mejor transitabilidad y también para que las empresas constructoras, municipios y otras entidades correspondientes a la construcción puedan influir como un método innovador para el mejoramiento de las vías que se encuentran en mal estado. La **justificación teórica** se basa que la investigación presenta como marco teórico, la adición de fibra de caucho y polímeros de nailon en la estabilización de suelos, con la finalidad de analizar los efectos que provoca la mencionada estabilización por ende sostiene sus bases teóricas en las Normas Técnicas Peruanas, Norma CE.010, Norma CE.020, Normas ASTM, CAPECO, Manual de Carreteras, Manual de Ensayo de Materiales. Con respecto a la **justificación social** del proyecto, se realiza estudios que ayudará para establecer propuesta para estabilizar los suelos en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo, el cual contribuye a las unidades ejecutoras de proyectos en la ciudad de Chiclayo acceder a un referente innovador para mejorar la transitabilidad de los habitantes. Por otro lado, en la **justificación metodológica** de la investigación hacemos referencia a los tipos de suelo, los materiales que se emplearan con el fin de estimar y considerar los resultados de la utilización de la fibra de caucho y polímeros de nailon, considerando las peculiaridades químicas, físicas y mecánicas.

Por ello, de lo antes descrito y el problema de investigación planteado, se manifiesta la Hipótesis: Al utilizar fibra de caucho y polímeros de nailon,

mejorara las propiedades mecánicas del suelo arcilloso en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo, 2021.

Por lo que el objetivo general lo siguiente: Analizar las propiedades mecánicas del suelo arcilloso adicionando fibra de caucho y polímeros de nailon en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo, 2021. Cuyo objetivo específico es: Clasificar el suelo mediante SUCS y AASHTO del suelo en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo. Evaluar las propiedades físicas de la fibra de caucho y polímeros de nailon para la estabilización del suelo en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo, 2021. Evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo Proctor adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%. Evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo CBR adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Para la presente investigación, es necesario citar antecedentes y teorías que se relacionen al tema en estudio que estén relacionados a los objetivos planteados. Por ello, en el contexto internacional se tienen los siguientes antecedentes:

Álvarez (2020) en su investigación titulada “Utilización de granulo de caucho pulverizado proveniente de llantas usadas como solución para reforzar los suelos blandos de subrasante en la sabana de Bogotá”, la cual es de tipo aplicada, teniendo como muestra 70 cilindros con Subbase (clase 3), los ensayos realizados para poder llevar a cabo esta investigación son: el análisis granulométrico, límite líquido, plástico e índice de plasticidad, desgaste de abrasión y CBR. Además, los ensayos se realizaron adicionando 4% y 5% de polvo de caucho, teniendo un aumento en el resultado del ensayo de Proctor Modificado de 12.65%, mientras que con un 5% se tiene un aumento de 13.12%, adicionado a

esto el suelo fue clasificado como CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad). Es así que se concluye que el caucho es beneficioso en un porcentaje de 5% para la mejora en el comportamiento del suelo (p. 65)

Por otro lado, Mohsen, et al. (2018) en su investigación titulada “Reutilización de fibras textiles de neumáticos de desecho como refuerzo del suelo, 2019” siendo de tipo aplicada, todas las mezclas se analizan bajo compactación, cizallamiento directo, resistencia a la compresión no confinada (UCS), el ensayo de CBR y Pruebas de resistencia a la tracción dividida (STS) al agregarle el 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4% de fibras textiles de residuos de neumáticos en dos tipos de arcillas y suelos arenosos. Los resultados del ensayo del cizallamiento muestran que al adicionarle el 2% de adición de CBR en arcilla muestra un pequeño mejoramiento en el CBR con la adición de fibras textiles de residuos de neumáticos, después de superar el 3% el aumento de la resistencia del suelo es de 10.4%, siendo esta el porcentaje óptimo (p. 85).

En materia nacional, se tiene los siguientes antecedentes:

Robles (2020) en su investigación titulada “Aplicación de la cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao- 2020” de tipo de investigación experimental, el muestreo es no probabilístico, dos muestras de suelo extraídas a lo largo de la Av. Canta, siendo estas arcillosas de tipo CH según SUCS. En esta investigación se realizaron 01 ensayo al suelo natural y de cada caso experimental (adición del 4% y 6% de cal y caucho). Además de lo antes mencionado, se realizaron los ensayos de CBR. Es así que se tienen los siguientes resultados: Para el primer caso experimental (4% de caucho) se obtuvo un aumento del CBR en 14.5 % y 11.50% al 100% y 95% respectivamente. Para el segundo caso (6% de caucho) se obtuvo un aumento del CBR en 20.4 % y 15% al 100% y 95% respectivamente. De los ensayos se puede discutir que la aplicación del caucho para la estabilización del suelo permite mejorar la subrasante. Finalmente, se concluye al adicionarle el material caucho

para la compactación del suelo de la A. Canta Callao, se obtiene buenos resultados ya que mejora de manera positiva el suelo arcillo (p. 89).

Llerena y Paredes (2019) en su investigación titulada “Reforzamiento de Suelo Arcilloso con Caucho Reciclado para Fines de Cimentación en el Distrito de Yarabamba en la Ciudad de Arequipa”, de tipo experimental, se llevó a cabo con la finalidad de reforzar el suelo arcillo adicionándole caucho reciclado para fines de cimentación. Se realizaron ensayos para el suelo natural, por lo que se obtuvo arcillas de baja plasticidad con un alto contenido de humedad. Ante ello, se adiciono el caucho reciclado como propuesta de estabilizar el suelo. Para ello, se adicionaron porcentajes de caucho, resultado el 3% la dosificación optima. Con ese suelo se hicieron los ensayos respectivos en cuanto a las cimentaciones dando la respuesta esperada. Es por ello por lo que se concluye que el caucho es beneficioso en un porcentaje de 3% para la mejora en el comportamiento del suelo (p. 75).

Díaz y Torres (2019), en su investigación titulada “ Incorporación de Partículas de Caucho de Neumáticos para Mejorar las Propiedades Mecánicas en Suelos Arcillosos” de tipo experimental, tiene como finalidad dar a conocer el mejoramiento de las propiedades para el suelo arcilloso encontrado en el suelo natural al ser incorporadas partículas de caucho de neumático. Se obtiene como resultado de la investigación para un suelo tipo CH según SUCS el siguiente CBR con 0.1' de penetracion: el suelo natural 2.94%; adicionando 1% de caucho, 3.85%; adicionando 3% de caucho, 5.15%; adicionando 5% de caucho 4.97%; adicionando 7% de caucho 4.88% y finalmente adicionando 9% de caucho 2.92%, (p. 75).

Nesterenko (2018) en su investigación titulada “Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú”, de tipo experimental, se ensayaron 05 tipos de áridos provenientes de proyectos ejecutados en el Perú (A, B,

C, D, E), el cual se encontraron suelo con gravas limosas y arcillas rojizas de baja plasticidad. Los ensayos realizados en laboratorio son los siguientes: Límites de Atterberg– ensayo Proctor CBR. Es así que se tienen los siguientes resultados: respecto a los límites de consistencia se tiene que dos muestras reducen en un 16.166% y una muestra (C) reduce en un 18.18%, siendo el porcentaje más alto; respecto a la capacidad portante se tiene que de los 05 ensayos realizados presentan un aumento del más del 20% en el ensayo de CBR. La segunda muestra, fue la que registro mayor incremento con un 146.15% al 95 % y 93.52% al 100% en el CBR. Sin embargo, en las muestras C y D se obtuvo aumento moderados de 29.88 % al 95 % y 25.75% al 100%. Es así como se concluye que al ser los suelos estabilizados con polímeros puede implementarse como una propuesta de solución para suelos que presenten baja capacidad portante y se requieran construir carreteras. (p. 89).

Ahora presentaremos la teoría relacionada la cual dará sustento científico al informe de investigación.

### **Suelo**

Honores y Espinoza (2018), menciona que el suelo está constituido por varias capas de materiales minerales, materia orgánica y en algunos casos agua. Además, los suelos tienen propiedades y características muy variadas para distintas muestras en distintos lugares; entre las cuales destacan los siguientes tipos: arenoso, calizo, arcilloso, húmico, pedregosos y mixtos (p. 56)

Los suelos que cubren la corteza terrestre están compuestos por un conjunto de partículas minerales y son la base sobre la cual el hombre realiza diferentes actividades como la realización de obras de ingeniería: edificios, viviendas, carreteras, etc. (Campos y Vega, 2019, p. 29).

## Estabilización de suelos

Es el proceso a través del cual los suelos naturales son manipulados o conducidos a mejorar las características para que sean aprovechadas en distintos proyectos; es así como se obtienen un suelo firme y estable, idóneo para resistir los efectos que conlleva el peso del tránsito, además del ambiente (clima frío, caluroso) y con ello asegure un mejor comportamiento en la plataforma de fundación. (MTC, 2014)

Por otro lado, según Parra (2018) este proceso a través de la estabilización física, química y mecánica busca subsanar alguna deficiencia de este para aumentar su resistencia inicial del suelo y con ello disminuir ciertos porcentajes de humedad como plasticidad que presenta el suelo. Además, las técnicas son diversas respecto a la estabilización y suelo; las cuales consisten en la incorporación de un suelo a otro o de la adición de agentes estabilizantes, sin embargo, es necesario un proceso de compactación (p. 36).

Según Guzmán y Iñiguez (2016) nos existen diferentes materiales que se pueden utilizar para la estabilización del suelo, el cual se presenta a continuación:

ADITIVO	CARACTERÍSTICAS
<b>Aditivos que retienen humedad</b>	Sales comunes y cloruro de calcio.
<b>Aditivos resistentes a la humedad</b>	Agentes impermeabilizantes resinosos e hidrófugos, materiales bituminosos y asfaltos rebajados.
<b>Mezcla de suelo-cemento</b>	Reacciona con el suelo químicamente permitiendo reacciones puzolánicas.
<b>Agentes dispersantes</b>	Se encuentran el silicato de sodio y polifosfato de sodio que reducen el límite líquido, el índice plástico y la permeabilidad.

*Figura 1. Aditivos para la estabilización de suelos.*

## Granulometría de Suelo Natural

Este ensayo tiene por finalidad conocer la proporción en que participan las partículas del suelo respecto a sus respectivas dimensiones, es así como se tiene dos tipos de ensayos, una destinada a las partículas granulares (gruesas) denominada tamizado y otra para las fracciones finas del suelo denominada ensayo de sedimentación. Conociendo la distribución de partículas por una cantidad de suelo específico podemos determinar si el suelo es bien graduado, uniforme o discontinuo. Por otro lado, se tiene que desde la perspectiva de mecánica de suelos, se afirma que un determinado suelo está bien graduado cuando este tiene una diversidad de partículas (heterogéneas) trayendo consigo que sus propiedades mecánicas sean mucho mejores (Ramos, 2020, p. 32).

Tipo de Material		Tamaño de las partículas
Grava		75 mm – 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm – 0.005 mm
	Arcilla	Menor a 0.005 mm

Figura 2. Clasificación de Suelos Según partículas.

Tras lo mencionado, ASTM D-422 menciona que la el gráfico obtenido del ensayo de granulometría es a través de la curva granulométrica; la cual está compuesta por el eje X donde va los valores del porcentaje que de suelo que pasa y por el eje Y donde están los valores de la abertura de la malla. Además, está se constituye a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso de material retenido en tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \cdot 100$$

$$\%Pasa = 100 - \%Retenido \text{ acumulado}$$



Figura 3. Curva granulométrica.

También es necesario mencionar que este análisis permite establecer el Tamaño máximo y tamaño máximo nominal.

### Límites de Atterberg

Llamado también límite de consistencia, este ensayo tiene como finalidad instaurar los límites entre que se puede encontrar un suelo respecto a la humedad que tiene este. Además, los límites de Atterberg se utilizan para establecer los indicadores del comportamiento mecánico del suelo. Es así como se estableció el Límite Líquido, el cual la muestra ensayada pasa del estado líquido a plástico y semisólido paso al índice de plasticidad. (LC, según ensayo MTCE 112). (MTC, 2014, p. 31).

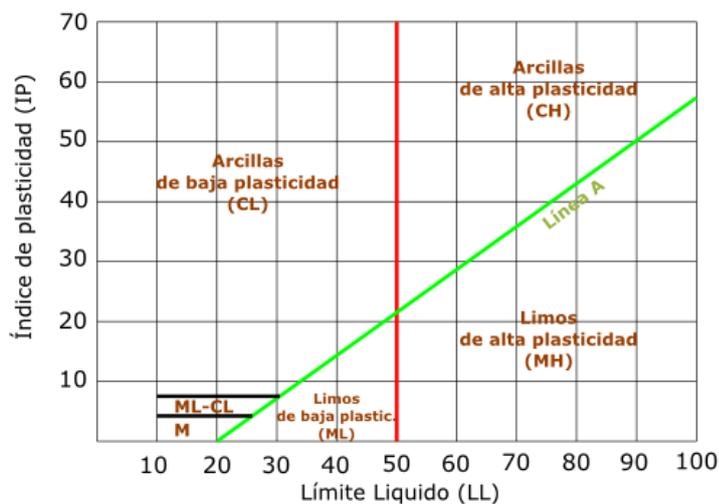


Figura 4. Límites de Atterberg.

## **Índice de Plasticidad**

Este índice se determina con la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, decreta el intervalo de humedades en el que una masa de suelo arcillosa es moldeable. (More y Ydrigo, 2019, p.45)

## **Humedad natural**

Esta es una característica importante de los suelos, consiste en la relación existente entre el peso del agua y el peso seco de la misma muestra de suelo. Es necesario mencionar que la resistencia de los suelos se encuentra coligada de manera directa con el contenido de humedad y densidad que tiene (MTC, 2014, p. 96).

A través del ensayo que propone el MTC EM 108 denominado “determinación de la humedad natural” nos admitirá contrastar con la humedad optima que nos propone el ensayo del MTC EM 132, el cual se determina en el ensayo Proctor. Además, si la humedad natural es mayor que la humedad optima, el proyectista debe aumentar la energía de compactación, reemplazando el material saturado. Sin embargo, si la humedad natural es menor o igual a la humedad optima, el encargado del proyecto tiene como obligación la compactación del suelo.

## **Clasificación de suelos**

La clasificación de suelo se da con base a los ensayos que se la hacen al mismo suelo (granulometría, Límites de Atterberg) para determinar sus características (Cobeñas, 2018, p. 34).

En la presente investigación se hará uso de la clasificación según SUCS y AASHTO, pues son las más comunes y completas que existen.

## Clasificación según SUCS

Para la clasificación de los suelos, se tiene en cuenta nombrar a los suelos a través de símbolos de grupo lo cuales tienen un sufijo y un prefijo (MTC 2014, p.78).

Para esta clasificación, los suelos se nombran usando símbolos de grupo que constan de un prefijo y un sufijo. El prefijo indica el tipo de suelo y el sufijo indican las subdivisiones que matizan sus propiedades y las combinaciones de estos elementos forman los diferentes tipos de suelos. Entre ellos se distinguen 3 grupos (MTC, 2014, p. 79).

- **Suelos de grano grueso (G y S):** Formados por gravas y arenas con menos del 50% del contenido en finos, empleando el tamiz #200.
- **Suelos de grano fino (M y C):** Formado por al menos un 50% de contenido en limos y arcillas.
- **Suelos orgánicos (O, Pt):** Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de fundación.

Divisiones mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo	
Suelos granulares gruesos más del 50% retenido en el tamiz #200 (0.075mm)	Grava > 50% de la fracción gruesa retenida en el tamiz #4 (4.75mm)	Grava limpia menos del 5% pasa el tamiz #200	GW	grava bien gradada, grava fina a gruesa	
		Grava con masa de 12% de finos pasantes del tamiz # 200	GP	grava pobremente gradada	
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz #4	Arena limpia		GM	grava limosa
			Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz #200	GC	grava arcillosa
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz #200		SW	Arena bien gradada, arena fina a gruesa
				SP	Arena pobremente gradada
Suelos de grano fino más del 50% pasa el tamiz #200	limos y arcillas límite líquido < 50	inorgánico	ML	limo	
		orgánico	CL	arcilla	
	limo y arcilla límite líquido ≥ 50	inorgánico		OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
				MH	Limo de alta plasticidad, limo elástico
		orgánico		CH	Arcilla de alta plasticidad
				OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba	

Figura 5. Tipo de suelo según clasificación SUCS.

## Clasificación según AASHTO

La clasificación AASHTO, permite identificar el suelo estudiado a que grupo pertenece A-1 al A-7. Los tres primeros grupos son aquellos el porcentaje que pasa por la malla N<sup>o</sup> 200 es menor o igual al 35%, también son considerados suelos granulares. Los grupos restantes son considerados arcilla y limos y son aquellos que pasan más del 35% la malla N<sup>o</sup> 200. Los únicos ensayos necesarios para encuadrar un suelo dentro de un grupo u otro son el análisis granulométrico y los límites de Atterberg.

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 <sup>A</sup>	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...		...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. <sup>B</sup>
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

<sup>A</sup> La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

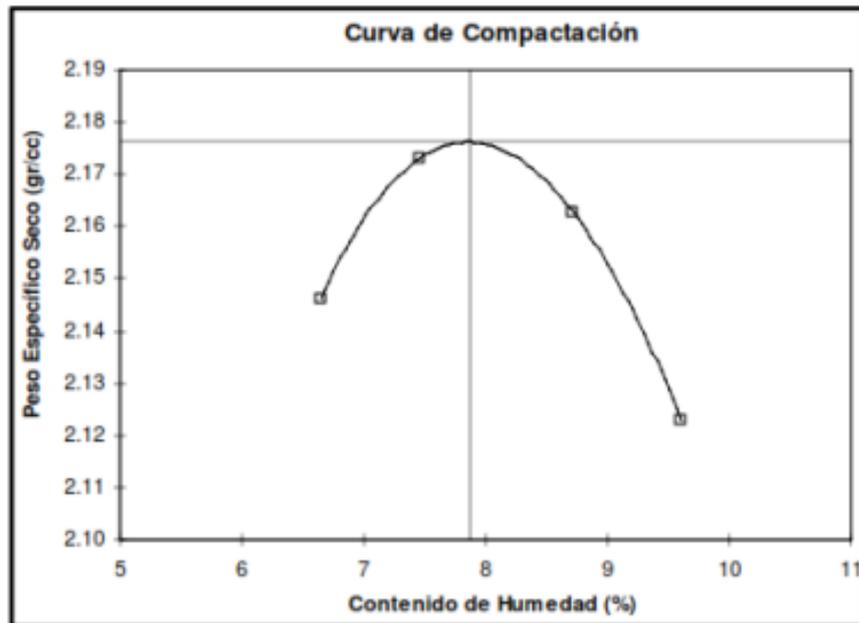
<sup>B</sup> El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Figura 6. Clasificación AASHTO.

## Ensayo de Proctor Modificado

Este es un ensayo que consiste en la compactación de un suelo, el cual tiene como resultado aumentar la densidad del material y con ello disminuye la permeabilidad, reduce la compresibilidad y aumenta la resistencia al corte y estos procesos son mecánicos. Es por ello que el ensayo de Proctor Modificado tiene como objetivo principal hallar la

densidad máxima seca y el contenido de humedad; cabe resaltar que estos datos son fundamentales para aumentar la resistencia y disminuir la compresibilidad (Chirino, 2016, p. 58).



*Figura 7.* Curva de Compactación del Proctor Modificado.

### **Ensayo de Valor Relativo de Soporte de un Suelo (CBR)**

Gutiérrez (2016), indica que el denominado Soporte de California, es un ensayo que determina la calidad de un suelo y la resistencia de este en su estado natural (p. 56).

Es por ello, que en el presente trabajo investigativo se realizarán los ensayos de Soporte de California cuando el suelo se encuentre inicialmente en su estado natural y los siguientes se realizarán cuando el suelo se encuentre con los aditivos de fibras de caucho y polímeros de nailon, para así poder llegar a saber en cuanto aumenta la resistencia.

CBR (%)	Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
			UNIFICADO	AASHTO
0 - 3	Muy pobre	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3 - 7	Pobre a regular	Sub-rasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7 - 20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP, GP	A2, A4, A6, A7
20 - 50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

*Figura 8.* Clasificación de suelos según el CBR obtenido.

## **Caucho**

El caucho es un polímero, el cual es derivado a partir de las secreciones de tipo lechosa, que son producidas por el árbol de caucho. Es importante mencionar que el caucho también puede crearse de modo sintético, a través de un medio industrial. Como se sabe, el caucho es utilizado en su mayoría para la fabricación de llantas, por sus excelentes propiedades de elasticidad y resistencia ante los ácidos y las sustancias alcalinas. Las técnicas de deformación del caucho son: por compresión, por transferencia, por inyección, por deshumidificación y atemperadores de molde. Su proceso de descomposición es lento, y la compactación resulta ser un trabajo arduo pues la elasticidad de este impide este proceso. A pesar de ser un producto muy comercializado es un agente contaminante por ser inflamable. Por ello se busca varias formas de reutilizar el neumático con el fin de respetar al medio ambiente (Laica y Paredes, 2016, p. 59).

## **Caucho Reciclado**

La contaminación es un problema que aqueja día a día, se ha visto que una de las maneras de subsanar este problema de gran magnitud es a través del reciclaje, el caucho ya procesado es un producto que abunda en todo lugar, pues a través de los neumáticos que vemos a diario en los

autos que transitan por las calles. Por consiguiente, los neumáticos en desuso son abundantes, a estos denominaremos caucho reciclado, este se ha convertido en una gran fuente de energía reutilizable, al ser valorizado y usado en múltiples campos aplicativos entre uno de ellos la ingeniería. Por ello, es esencial evitar su desecho y promover una gestión para su reciclaje a través de plantas autorizadas (Agregu, 2019, p. 61).

Tras un análisis del Flujo vehicular en el Perú, se llegó a la conclusión que ha incurrido un incremento del 15.5% de automóviles respecto al último reporte del 2017, se tiene que hay un aumento del 17.3% de vehículos pesados y un 13.1% de vehículos ligeros. (Rimapa, 2021, p. 41).

Para la ingeniería el caucho reciclado ha sido un elemento concurrente para las investigaciones, pues este ha dado solución a diferentes complicaciones como material estabilizante de los suelos y taludes, como agregado para concreto y morteros, es así que sus características son amplias y se deben de explotar (Abanto y Tantalean, 2020, p. 53).

### **Fibra de caucho para la investigación**

Para la presente investigación se hará uso del caucho reciclado, el cual será procesado para obtener fibras delgadas y alargadas, es necesario mencionar que la rugosidad de este le es una característica importante que servirá para la adherencia. Para la investigación se obtuvo el caucho reciclado mediante el método físico ya que se tallo manualmente el caucho y así se obtuvo el material necesario para los diversos ensayos. Lo esencial es poder reutilizar al 100% el material del caucho y así reducir la contaminación que se produce cuando se desecha este material al medio ambiente.

Para la investigación se obtuvo el caucho reciclado mediante el método físico ya que se tallo manualmente el caucho y así se obtuvo el material necesario para los diversos ensayos. Lo esencial es poder reutilizar al 100% el material del caucho y así reducir la contaminación que se produce cuando se desecha este material al medio ambiente.

## **Nailon**

El material nailon, se dice que se encuentra en el grupo poliamidas, el cual está constituido por elementos como oxígeno, hidrogeno, carbono y nitrógeno. Los elementos antes mencionados permiten reconocerlo como un polímero sintético. El nailon, puede alcanzar grandes resistencias con diámetros mínimo. Esto gracias a que se conforman por uniones entre ellas. De la misma manera, el nailon, lo componen sustancias de cadena larga que poseen grupo amida (-CONH-). además, presenta resistencia al calor y absorción a la humedad. Actualmente, existen diversidad de versiones de nailon siendo el más conocido el de 6.6 mm. (Ruiz y Tejada, 2016, p. 26).

## **Propiedades de los hilos de fibra de nailon**

El proceso de fabricación de las fibras de nailon es complejo, estas se someten a extorsión, texturizado e hilado, en ese orden con la única finalidad de tener aproximadamente cuatro veces la amplitud inicial, este proceso trae consigo que el producto logre un aumento de cristalinidad y resistencia a la tracción. Es así, que las fibras de nailon presentan propiedades que se ajustan al proceso de fabricación de cada elaboración, entre las cuales tenemos: (Yzaguirre, 2019, p. 46).

- Una resistencia, dureza, rigidez y tenacidad medias-elevadas.
- Una elevada capacidad de amortiguación mecánica.
- Buena resistencia a la fatiga.

- Excelente resistencia al desgaste.
- Buenas propiedades de deslizamiento.
- En la mayoría de los casos, elevada absorción de humedad.
- En la mayoría de los casos, reducida estabilidad dimensional.

Además, este material presenta alcoholes e hidrocarburos aromáticos en su estructura química, por lo que lo convierte en un material con buena firmeza química.

Una de las desventajas del nailon es que presenta viscosidad de fundido muy bajo, lo que trae como resultado problemas en torno a la mutación industrial, además que la exhibición al exterior ocasiona en su mayoría una permutación de color y la denominada “fragilización”, a menos que exista de por medio una protección.

Otra característica de este material es su resistencia, este material se encuentra dentro de los polímeros cristalinos, para llegar a ello, este busca la organización de sus partículas y se enfría. El punto de fusión del Nailon es de 263°C. Según Ruiz y Tejada (2016), al agregar fibras de vidrio a las fibras de nailon al concreto, ambos materiales se unen de la mejor manera teniendo como resultado un aumento en la rigidez (p. 27).

**Tabla 1.** *Propiedades de la fibra de Nailon.*

<b>Diámetro del filamento</b>	<b>23 micrones</b>
Largo de la fibra	variable
Gravedad específica	1,16
Esfuerzo a tensión	138 psi (896 Mpa)
Dureza	103 Mpa
Punto de derretimiento	435°F 225°C
Conteo de la fibra	34 millones /libra
Elongación máxima	20%
Absorción del agua	3%
Polaridad	Anti-magnética
Orientación de la fibra	Multidimensional

Fuente: Yzaguirre, 2019.

### **Beneficio de las fibras de nailon**

- Mejorar la resistencia de congelación y descongelación.
- Desarrolla la resistencia a la explosión explosiva en caso de deflagración riguroso.
- Aumenta la resistencia a la contracción plástica durante el curado.
- Optimizar la conexión de la mezcla en largas distancias.
- Perfecciona la resistencia al impacto.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.2 Tipo y diseño de investigación.

La presente investigación es de tipo aplicada, porque las teorías mencionadas con anterioridad son hechos dados, además de que los métodos ya existen y se aplican posteriormente para el desarrollo de la investigación (Hernández, 2016). Además, es de diseño experimental, porque la variable independiente es manejable, se desprende la relación entre las variables, se establecerá los procesos que llevarán a la realización del experimento.

#### 3.3 Variables y operacionalización

- Variable Independiente:  
X1: fibras de caucho y Polímero de Nailon.
- Variable Dependiente:  
Y: Estabilización del suelo.

#### 3.4 Población, muestra y muestreo

Para esta investigación se tomará como muestra lo que se especifica en la siguiente tabla:

**Tabla 2.** *Muestra de la investigación.*

Ensayos	Calicata	Especímenes	Total
Clasificación de suelos			
Granulometría - Límites de Atterberg	C-1	1	3
	C-2	1	
	C-3	1	
Ensayo - Suelo Natura			
Proctor Modificado	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
CBR	C-1	3	9

	C-2	3	
	C-3	3	
Ensayo - Suelo Natural adicionando 5% fibra de caucho+ 1.25% de polímeros de Nailon			
Proctor Modificado	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
CBR	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
Ensayo - Suelo Natural adicionando 5% fibra de caucho+ 2.5 % de polímeros de Nailon			
Proctor Modificado	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
CBR	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
Ensayo - Suelo Natural adicionando 5% fibra de caucho+ 5% de polímeros de Nailon			
Proctor Modificado	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
CBR	C-1	3	9
	C-2	3	
	C-3	3	
TOTAL			75

Fuente: elaboración propia.

### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Las técnicas e instrumentos utilizados en esta investigación se presentarán a través de los gráficos y hojas en Excel que demostraran los resultados de los ensayos del laboratorio.

#### Recolección de Datos

La recolección de datos está representada por los resultados a través de la detallada descripción cuantitativa, los gráficos y la comparación de los ensayos donde se hizo uso de los aditivos materiales que en este caso son los polímeros de nailon y fibras de caucho; estos datos para poder analizar las variables independientes lo proporcionan el laboratorio

## Técnicas Instrumentos de Recolección de Datos

Fue necesario realizar los ensayos utilizando un laboratorio de mecánica de suelos y materiales (fibra de caucho y polímeros de nailon), ya que cuenta con los formatos de ensayos y equipos estandarizados, válidos y confiables.

**Tabla 3.** *Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.*

<b>Técnicas</b>		<b>Instrumento</b>
Propiedades físicas y químicas de la resina de plátano.	Formato de ensayos de laboratorio	Clasificación (SUCS) ASTM D – 2487.
Tipo de suelo según clasificación	estandarizados y validados,	Clasificación (AASHTO) ASTM D – 3282.
Densidad seca máxima del suelo	Universidad Nacional de San Martín.	Granulometría ASTM D-422
Capacidad del Suelo (CBR).	Equipos y materiales del laboratorio de mecánica de suelos.	Límite Líquido ASTM D-4318.
Costos (Software S10)		Limite Plástico ASTM D-4318.
		Proctor Modificado ASTM D-1557.
		CBR ASTM D-1883.
	Equipos	Norma Técnica Peruana.

Fuente: elaboración propia.

### 3.6 Procesamiento y Análisis de Datos

Para determinar la atribución de la estabilización del suelo haciendo uso de la fibra de caucho y polímero de nailon se realizó el siguiente procedimiento:

- Ensayo de granulometría del suelo correspondiente a la zona de estudio de la presente investigación.
- Clasificación del suelo, según, SUCS y AASTO.

- Límites de Atterberg.
- Ensayo de Proctor modificado.
- Ensayo de Soporte de California (CBR).
- Comparar los resultados obtenidos.

### **3.7 Aspectos éticos**

Con el fin de mantener una investigación basada en el respeto, el investigador se compromete a no alterar la veracidad de los resultados, respetar la propiedad intelectual y seguir con lo mencionado en las normas vigentes.

#### IV. RESULTADOS:

##### 4.1 Características del suelo:

###### 4.1.1 Granulometría:

**Tabla 4.** Resumen de análisis granulométrico por calicata.

Calicata	Peso muestra (gr)	Grava no.4<Diam<3"	Arena 200<Diam<no.4	Finos Diam<no.200
C-01	488	0%	17.01%	83.99%
C-02	433	0%	17.78%	82.22%
C-03	455	0%	20.88%	79.12%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se puede apreciar la clasificación del suelo por medio del análisis granulométrico reflejándose mayor cantidad de finos. Además, por ser un suelo arcilloso, no presenta grava. De esta manera se da a conocer el suelo predominante en el Pueblo Joven Villa Hermosa

###### 4.1.2 Clasificación del suelo:

**Tabla 5.** Clasificación del suelo según SUCS y AASHTO.

Calicata	SUCS	Descripción	AASHTO	Descripción
C-01	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(9)	MALO
C-02	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-4(9)	REGULAR - MALO
C-03	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(9)	MALO

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5. se puede visualizar la clasificación del suelo según SUCS y AASHTO. El cual presenta un suelo arcilloso de baja plasticidad con arena según la clasificación SUCS. Además, un suelo malo según la clasificación ASSTHO.

### 4.1.3 Límites de Atterberg:

Tabla 6. Límites de Atterberg.

Límites de Atterberg				
Calicata	Prof. (m)	L. Líquido	L. Plástico	I. Plasticidad
C-01	1.70	25%	14%	11%
C-02	1.60	30%	21%	9%
C-03	1.70	25%	13%	12%

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 6 se puede visualizar los límites de Atterberg de las 03 calicatas estudiadas. El cual presenta un mínimo de 25% de L. Líquido; 13 % de L. Plástico. Y 9 % de índice de plasticidad.

## 4.2 Propiedades físicas de los polímeros de nailon y de las fibras de caucho

### 4.2.1 Propiedades físicas del polímero de nailon:

A. Granulometría:

Tabla 7. Granulometría de los polímeros de nailon.

Polímeros de nailon				
Tamiz	Porcentaje que pasa		Parámetros	
3/8"	150.00	100.0	100.0	100.0
Nº 004	144.45	96.3	95.0	100.0
Nº 008	122.25	81.5	80.0	100.0
Nº 016	76.80	51.2	50.0	85.0
Nº 030	45.90	30.6	25.0	60.0
Nº 050	34.20	22.8	10.0	30.0
Nº 100	11.40	7.6	2.0	10.0

Fuente: Elaboración propia.

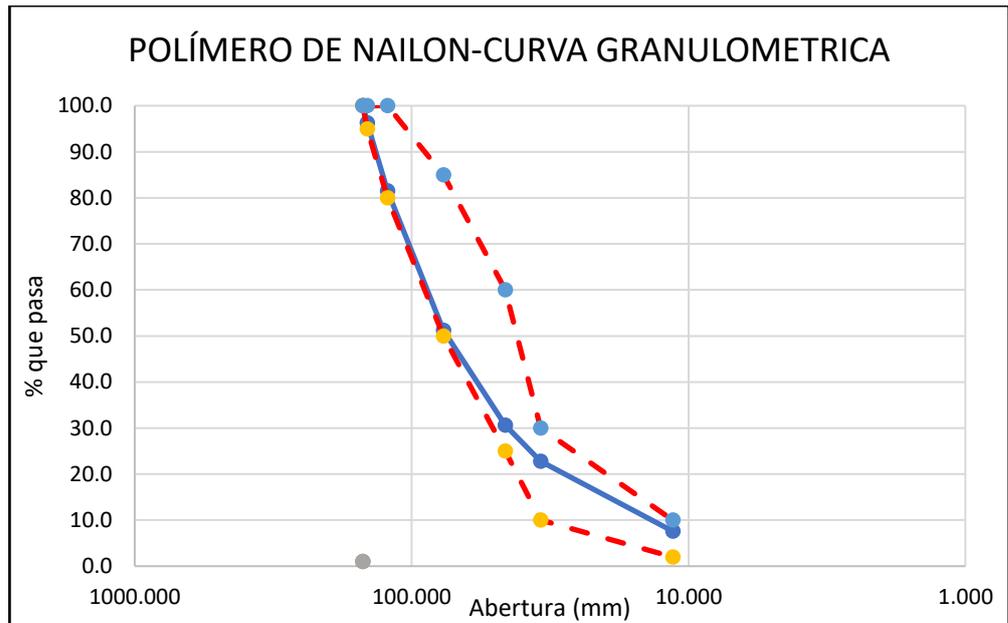


Figura 9. Curva granulométrica de polímeros de nailon.

En la tabla 7 se puede observar el análisis granulométrico del polímero de Nailon, el cual la mayor cantidad de la muestra es retenida en los tamices 3/8, N° 004 y N° 008.

B. Peso unitario:

Tabla 8. Peso unitario suelto de polímeros de nailon.

Descripción	Unidad	M1	M2
Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	3574	3568
Peso del recipiente	(gr.)	2717	2717
Peso de muestra	(gr.)	857	851
Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	307.17	305.02
Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>306.09</b>	

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9.** *Peso unitario compactado de polímeros de nailon.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	3674	3683
Peso del recipiente	(gr.)	2717	2717
Peso de muestra	(gr.)	957	966
Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	343.01	346.24
Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>344.62</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 8 podemos observar el ensayo del peso unitario suelto realizado al polímero de nailon, el cual da como resultado 306.09kg/m<sup>3</sup>. Además, en la tabla 9, se muestra los resultados obtenidos del ensayo de peso compactado del nailon, el cual nos da 344.62kg/cm<sup>3</sup>.

#### **4.2.2 Propiedades físicas del caucho:**

A. Granulometría:

**Tabla 10.** *Granulometría de fibras de caucho:*

<b>Fibras de caucho</b>				
<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>		<b>Parámetros</b>	
<b>3/8"</b>	150.000	100.0	100.0	100.0
<b>Nº 004</b>	145.800	97.2	95.0	100.0
<b>Nº 008</b>	129.150	86.1	80.0	100.0
<b>Nº 016</b>	95.321	63.5	50.0	85.0
<b>Nº 030</b>	70.800	47.2	25.0	60.0
<b>Nº 050</b>	25.050	16.7	10.0	30.0
<b>Nº 100</b>	4.650	3.1	2.0	10.0

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 10 se puede observar el análisis granulométrico la fibra de caucho utilizado, el cual la mayor cantidad de la muestra es retenida en los tamices 3/8, N° 004 y N° 008.

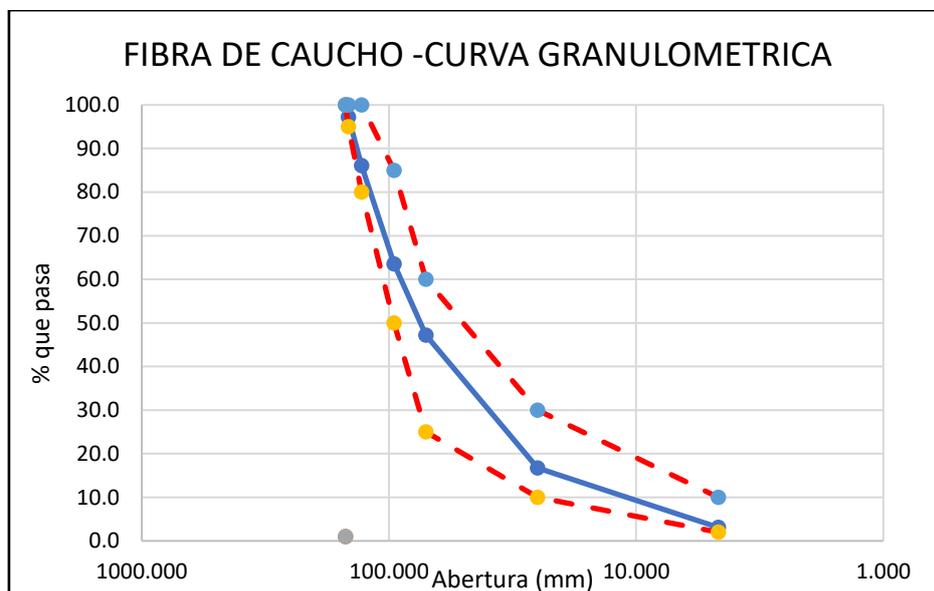


Figura 10. Curva granulométrica de fibras de caucho.

B. Peso unitario:

- Peso unitario suelto:

Tabla 11. Peso unitario suelto de las fibras de caucho.

Descripción	Unidad	M1	M2
Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	3784	3781
Peso del recipiente	(gr.)	2717	2717
Peso de muestra	(gr.)	1067	1064
Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	382.44	381.36
Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>381.90</b>	

Fuente: Elaboración propia.

- Peso unitario compactado:

**Tabla 12.** *Peso unitario compactado de las fibras de caucho.*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>
Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	3984	4056
Peso del recipiente	(gr.)	2717	2717
Peso de muestra	(gr.)	1267	1339
Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.0028	0.0028
Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	454.12	479.93
Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>467.03</b>	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 11 podemos observar el ensayo del peso unitario suelto realizado al polímero de nailon, el cual da como resultado 381.90kg/m<sup>3</sup>. Además, en la tabla 9, se muestra los resultados obtenidos del ensayo de peso compactado del nailon, el cual nos da 467.03kg/cm<sup>3</sup>.

#### **4.3 Ensayos de Proctor modificado y CBR**

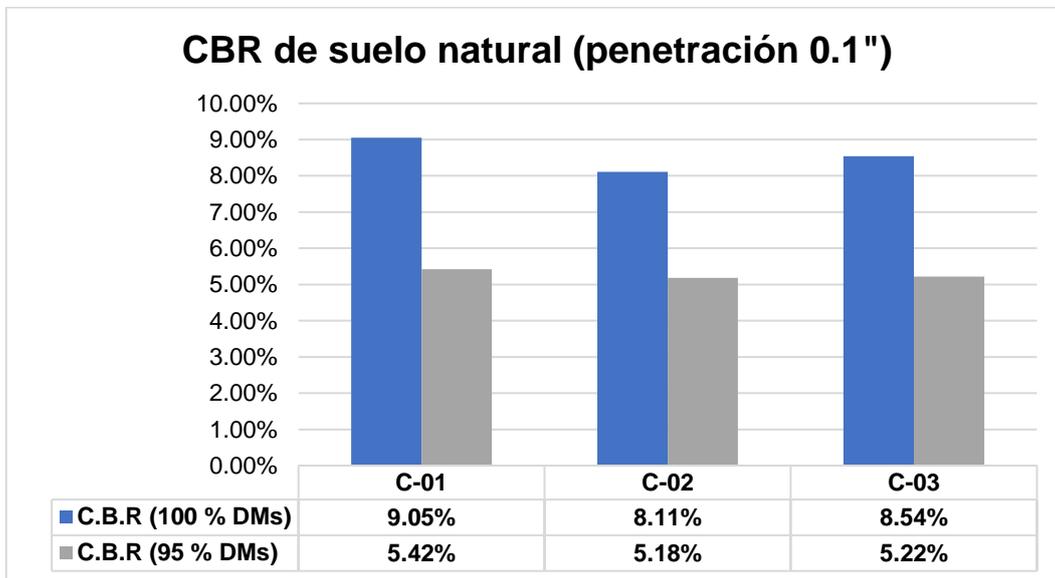
A continuación, se presentarán los resultados de los ensayos de Proctor y CBR que se realizaron a las distintas muestras de suelo, tanto para el suelo natural como para el suelo adicionando distintos porcentajes de polímeros de nailon y fibras de caucho.

### 4.3.1 Suelo natural:

**Tabla 13.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (Suelo natural).

SUELO NATURAL	CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
					C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
					<b>C-01</b>	1.70	1.94	11.30%
<b>C-02</b>	1.60	1.87	10.37%	8.11%	5.18%	11.04%	8.01%	
<b>C-03</b>	1.70	1.91	11.78%	8.54%	5.22%	12.14%	8.10%	

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 11:* Resultados de CBR de suelo natural.

Tras el resumen de resultados mostrados respecto a los ensayos realizados al suelo natural, se obtiene que para un 95% de DMs un índice de CBR máximo de 5.42%, el cual según NTE CE.010 Pavimentos Urbanos, es su suelo que necesita mejoramiento.

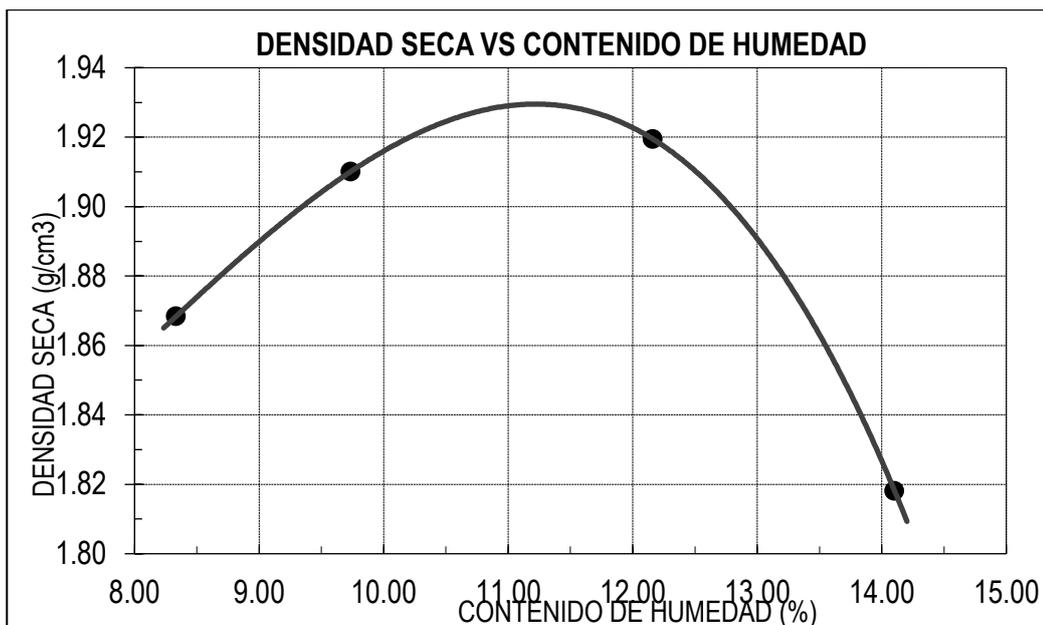


Figura 12: Curva de compactación, muestra natural (C-1).

Tras el resumen de resultados mostrados respecto a los ensayos realizados al suelo natural, se observa la curva de compactación correspondiente a los especímenes 1, 2,3 y 4 de la Calicata 1, de dicha curva se obtuvieron los valores de Máxima Densidad Seca y Optimo Contenido de Humedad, los cuales fueron 1.94 g/cm<sup>3</sup> y 11.30% respectivamente.

#### 4.3.2 Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 1.25% de polímeros de nailon.

Tabla 14. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1)

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 1</b>							
<b>M-1</b>	1.70	1.96	11.90%	9.43%	5.61%	13.51%	8.89%
<b>M-2</b>	1.70	1.94	11.05%	9.06%	5.43%	12.86%	8.52%
<b>M-3</b>	1.70	1.95	9.66%	9.22%	5.51%	13.15%	8.68%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 14 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 1 adicionando 5% de fibra de caucho y 1.25% de polímeros de nailon, el cual podemos identificar que la se da un ligero aumento respecto al suelo natural.

**Tabla 15. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2)**

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 2</b>							
<b>M-1</b>	1.60	1.88	10.61%	8.25%	5.26%	11.27%	8.17%
<b>M-2</b>	1.60	1.87	10.64%	8.13%	5.19%	11.07%	8.03%
<b>M-3</b>	1.60	1.94	14.46%	9.07%	5.71%	12.57%	9.09%

Fuente: Elaboración propia.

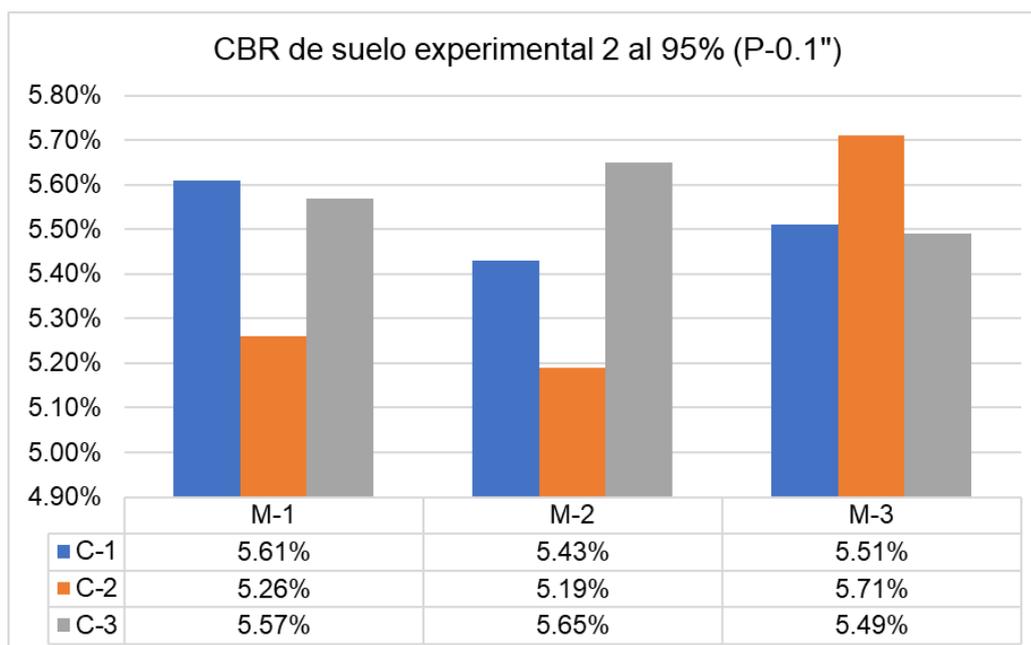
En la tabla 15 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 2 adicionando 5% de fibra de caucho y 1.25% de polímeros de nailon, el cual podemos identificar que igual a la calicata 1, se da un ligero aumento del CBR respecto al suelo natural.

**Tabla 16. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3).**

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 3</b>							
<b>M-1</b>	1.70	1.92	11.65%	8.82%	5.57%	12.18%	8.82%
<b>M-2</b>	1.70	1.93	11.22%	8.97%	5.65%	12.41%	8.98%
<b>M-3</b>	1.70	1.91	11.81%	8.68%	5.49%	11.95%	8.66%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 16 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 3 adicionando 5% de fibra de caucho y 1.25% de polímeros de nailon, el cual se da un ligero aumento respecto al suelo natural.



*Figura 13:* Resultados de CBR de suelo experimental 1.

Tras el resumen de resultados mostrados respecto a los ensayos realizados al suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 1.25% de polímeros de nailon y de las tres muestras por calicata, se obtiene que para un 95% de DMs un índice de CBR máximo de 5.71%.

#### 4.3.3 Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 2.5% de polímeros de nailon.

**Tabla 17.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1).

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 1</b>							
<b>M-1</b>	1.70	1.97	11.34%	9.54%	5.67%	13.70%	9.01%
<b>M-2</b>	1.70	1.98	11.46%	9.69%	5.83%	13.95%	9.15%
<b>M-3</b>	1.70	1.97	8.77%	9.54%	5.79%	13.70%	9.01%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 17 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 1 adicionando 5% de fibra de caucho y 2.5% de polímeros de nailon. De igual manera, se observa un leve aumento del CBR respecto al suelo natural.

**Tabla 18.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2).

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 2</b>							
<b>M-1</b>	1.60	1.94	10.11%	9.11%	5.73%	12.64%	9.14%
<b>M-2</b>	1.60	1.97	10.67%	9.54%	5.97%	13.33%	9.63%
<b>M-3</b>	1.60	1.98	11.01%	9.69%	6.05%	13.56%	9.79%

Fuente: Elaboración propia.

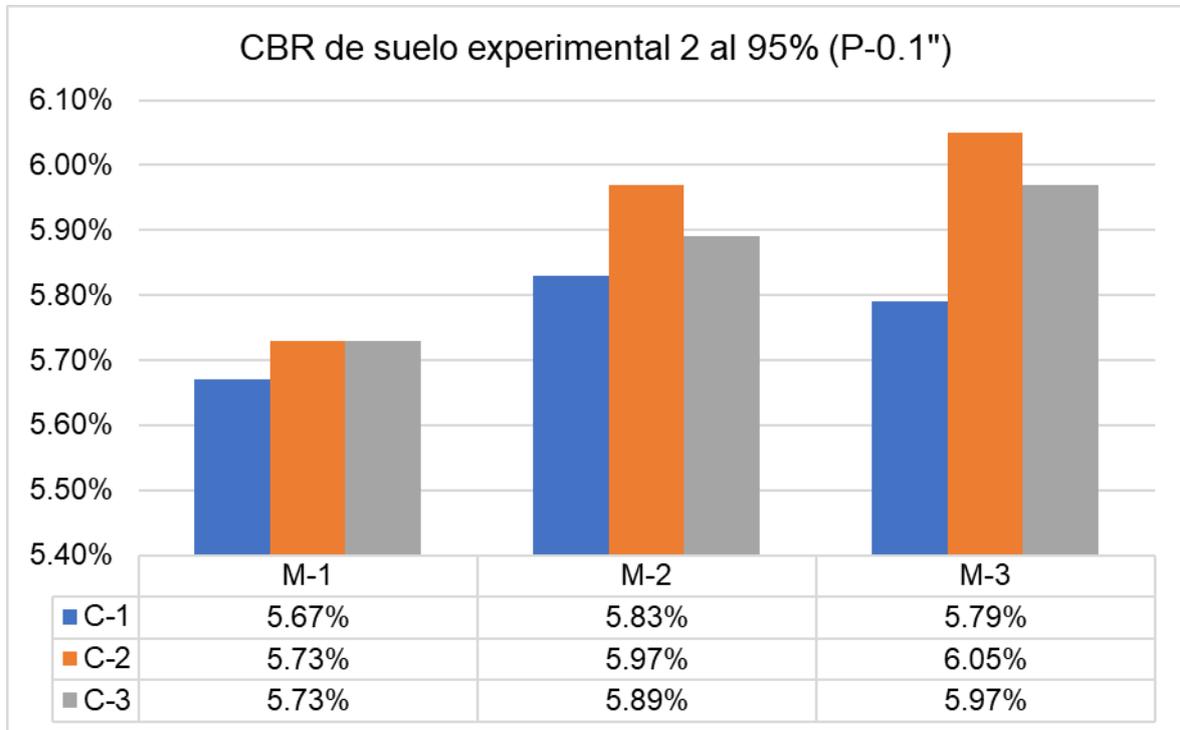
En la tabla 18 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 2 adicionando 5% de fibra de caucho y 2.5% de polímeros de nailon, el cual podemos identificar que al igual que el primer caso experimental, se da un ligero aumento del CBR. Sin embargo, solo en la tercera muestra se obtuvo un CBR mayor a 6%.

**Tabla 19.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3)

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 3</b>							
<b>M-1</b>	1.70	1.94	10.63%	9.11%	5.73%	12.64%	9.14%
<b>M-2</b>	1.70	1.96	10.33%	9.40%	5.89%	13.10%	9.46%
<b>M-3</b>	1.70	1.97	9.67%	9.54%	5.97%	13.33%	9.63%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 19 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 3 adicionando 5% de fibra de caucho y 2.5% de polímeros de nailon, se da un ligero aumento del CBR.



*Figura 14:* Resultados de CBR de suelo experimental 2.

Tras el resumen de resultados mostrados respecto a los ensayos realizados al suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 2.50% de polímeros de nailon y de las tres muestras por calicata, se obtiene que para un 95% de DMs un índice de CBR máximo de 6.05%.

#### 4.3.4 Suelo natural adicionando 5% de fibra de caucho y 5% de polímeros de nailon.

**Tabla 20.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-1)

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 1</b>							
<b>M-1</b>	1.70	2.01	7.89%	10.12%	7.83%	14.70%	9.59%
<b>M-2</b>	1.70	2.02	8.03%	10.26%	7.65%	14.95%	9.73%
<b>M-3</b>	1.70	2.00	9.02%	9.97%	7.88%	14.45%	9.44%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 20 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 1 adicionando 5% de fibra de caucho y 5% de polímeros de nailon, el cual podemos identificar que aumenta en un 7.88% respecto al suelo natural.

**Tabla 21.** Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-2)

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 2</b>							
<b>M-1</b>	1.60	1.99	10.55%	9.83%	6.13%	13.79%	9.95%
<b>M-2</b>	1.60	1.98	9.89%	9.69%	6.05%	13.56%	9.79%
<b>M-3</b>	1.60	2.01	10.09%	10.12%	6.29%	14.25%	10.27%

Fuente: Elaboración propia.

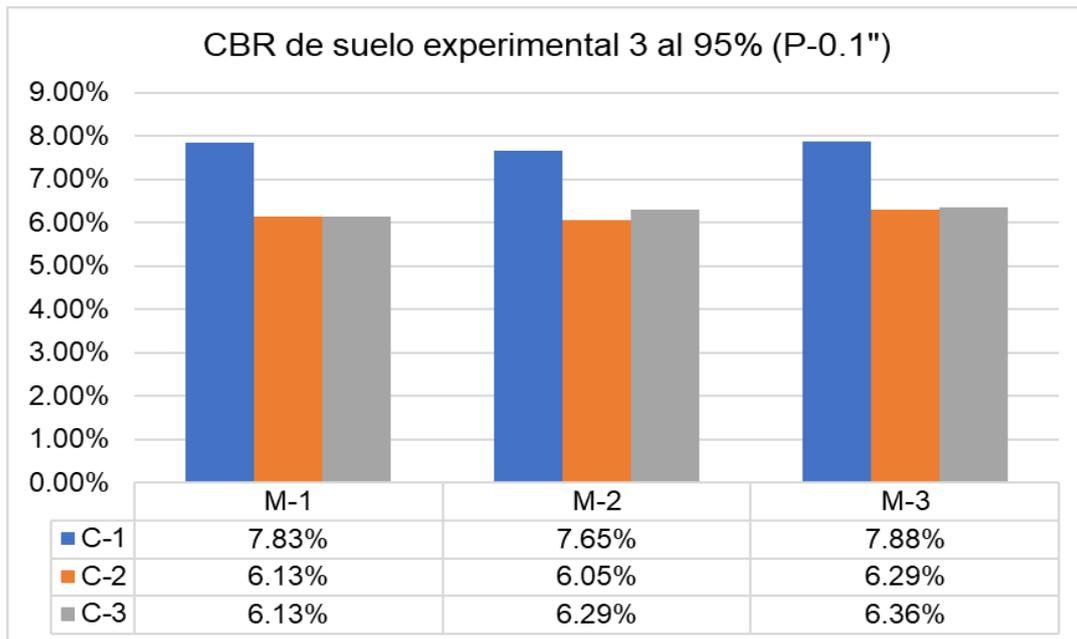
En la tabla 21 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 2 adicionando 5% de fibra de caucho y 5% de polímeros de nailon, el cual podemos identificar que supera el 6% de CBR.

**Tabla 22. Resultados de ensayos, Proctor - CBR (C-3)**

CALICATA	PROF. (m)	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
				C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
<b>CALICATA N° 3</b>							
<b>M-1</b>	1.70	1.99	11.09%	9.83%	6.13%	13.79%	9.95%
<b>M-2</b>	1.70	2.01	11.21%	10.12%	6.29%	14.25%	10.27%
<b>M-3</b>	1.70	2.02	10.60%	10.26%	6.36%	14.48%	10.43%

Fuente: Elaboración propia.

De la misma manera, en la tabla 21 se puede observar los resultados obtenidos de las 03 muestras de la calicata 3 adicionando 5% de fibra de caucho y 5% de polímeros de nailon, el cual el CBR supera el 6% AL 95%



*Figura 15: Resultados de CBR de suelo experimental 3.*

Tras el resumen de resultados mostrados respecto a los ensayos realizados al suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 5% de polímeros de nailon y de las tres muestras por calicata, se obtiene que para un 95% de DMs un índice de CBR máximo de 7.88%.

#### 4.3.5 Resumen de resultados por objetivos:

A. Objetivo 1: Clasificación de suelos según SUCS Y AASHTO

**Tabla 23.** Clasificación de suelos según SUCS y AASHTO.

Calicata	Peso muestra (gr)	Grava no.4<Diam<3"	Arena 200<Diam<no.4	Finos Diam<no.200	LÍMITES DE ATTERBERG			CLASIFICACIÓN DE SUELOS			
					L. Líquido	L. Plástico	I. Plasticidad	SUCS		AASHTO	
<b>C-01</b>	488	0%	17.01%	83.99%	25%	14%	11%	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(9)	MALO
<b>C-02</b>	433	0%	17.78%	82.22%	30%	21%	9%	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-4(9)	REGULAR MALO
<b>C-03</b>	455	0%	20.88%	79.12%	25%	13%	12%	CL	Arcilla de baja plasticidad con arena	A-6(9)	MALO

Fuente: Elaboración propia.

B. Objetivo 2. Evaluar las propiedades físicas de la fibra de caucho y polímeros de nailon.

**Tabla 24.** Propiedades físicas del polímero de nailon.

Granulometría					Peso suelto y compactado					
Tamiz	Porcentaje que pasa		Parámetros		Descripción	Unidad	Peso unitario suelto		Peso unitario compactado	
							M1	M2	M1	M2
3/8"	150	100	100	100	Peso de la muestra suelta + recipiente	gr.	3574	3568	3674	3683
Nº 004	144.45	96.3	95	100	Peso del recipiente	gr.	2717	2717	2717	2717
Nº 008	122.25	81.5	80	100	Peso de la muestra	gr.	857	851	957	966
Nº 016	76.8	51.2	50	85	Constante o Volumen	m3	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
Nº 030	45.9	30.6	25	60	Peso unitario húmedo	kg/m3	307.17	305.02	343.01	346.24
Nº 050	34.2	22.8	10	30	Peso unitario húmedo (Promedio)	kg/m3	306.09		344.62	
Nº 100	11.4	7.6	2	10						

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 25. Propiedades físicas de fibras de caucho.**

Granulometría					Peso suelto y compactado					
Tamiz	Porcentaje que pasa		Parámetros		Descripción	Unidad	Peso unitario suelto		Peso unitario compactado	
							M1	M2	M1	M2
3/8"	150	100	100	100	Peso de la muestra suelta + recipiente	gr.	3784	3781	3984	4056
Nº 004	145.8	97.2	95	100	Peso del recipiente	gr.	2727	2717	2717	2717
Nº 008	129.15	86.1	80	100	Peso de la muestra	gr.	1067	1064	1267	1339
Nº 016	95.321	63.5	50	85	Constante o Volumen	m3	0.0028	0.0028	0.0028	0.0028
Nº 030	70.8	47.2	25	60	Peso unitario húmedo	kg/m3	382.44	381.36	454.12	479.93
Nº 050	25.05	16.7	10	30	Peso unitario húmedo (Promedio)	kg/m3	381.9		467.03	
Nº 100	4.65	3.1	2	10						

Fuente: Elaboración propia.

- C. Objetivo 3. Evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo Proctor adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%.

**Tabla 26. Dosificación PROCTOR.**

DOSIFICACIÓN	M.D.S (g/cm <sup>3</sup> )	O.C.H (%)
Suelo natural	1.94	11.15%
Adición 5% fibra de caucho + 1.25% polímero de nailon	1.92	11.44%
Adición 5% fibra de caucho + 2.50% polímero de nailon	1.96	10.44%
Adición 5% fibra de caucho + 5% polímero de nailon	2.00	9.82%

Fuente: Elaboración propia.

- D. Objetivo 4. Evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo CBR adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%.

**Tabla 27. Dosificación CBR.**

DOSIFICACIÓN	Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)	C.B.R (100 % DMs)	C.B.R (95 % DMs)
Suelo natural	8.57%	5.27%	12.01%	8.21%
Adición 5% fibra de caucho + 1.25% polímero de nailon	8.85%	5.49%	12.33%	8.65%

<b>Adición 5% fibra de caucho + 2.50% polímero de nailon</b>	9.46%	5.85%	13.33%	9.33%
<b>Adición 5% fibra de caucho + 5% polímero de nailon</b>	10.02%	6.73%	14.25%	9.94%

Fuente: Elaboración propia.

## V. DISCUSIONES

Se planteo como primer objetivo específico clasificar el suelo mediante SUCS y AASHTO del suelo en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo. En el presente estudio el suelo se clasificó según SUCS como CL, mientras que la clasificación según AASHTO se encontró un suelo Malo (A-6(9)). Es así como se compara con la investigación que presenta Álvarez (2020), donde clasifica su suelo como CL (arcilla inorgánica de baja plasticidad). Mientras que las investigaciones presentadas por Robles (2020) y Diaz (2019) trabajan con un suelo tipo de CH (arcillas inorgánicas de alta plasticidad). Dado a lo presentado, se puede considerar que las investigaciones trabajan con un suelo arcilloso; sin embargo, las investigaciones no optaron por presentar clasificación AASHTO.

Se planteó como segundo objetivo específico evaluar las propiedades físicas de la fibra de caucho y polímeros de nailon, las cuales serán utilizadas en la presente investigación con la finalidad de conocer cómo influye en las propiedades del suelo. Tras lo mencionado se tiene que en la presente investigación se determinó la granulometría, peso unitario suelto y compactado de polímeros de nailon y fibras de caucho, teniendo que ambos materiales se encuentran bien graduados y el peso unitario compactado es de  $344.62 \text{ kg/m}^3$  para el polímero de nailon y  $467.03 \text{ kg/m}^3$  para las fibras de caucho, también se tiene un peso unitario suelto de  $306.09 \text{ kg/m}^3$  y  $381.90 \text{ kg/m}^3$  para el polímero de nailon y fibras de caucho respectivamente. Es así que se compara con la investigación presentada

por Mohsen, donde busca estabilizar el suelo con fibras textiles de nailon y neumáticos de desecho, estos pasaron por un proceso para el estudio y se determinó como principales propiedades físicas que estos se encuentren bien graduados. Mientras que la investigación presentada por Llerena y Paredes, mencionan que es necesario realizar el análisis granulométrico del caucho, donde obtuvo que un 100% pasa por la malla N°4 y un 0.74% pasa por la malla N°200. Dado a esto se confirma la importancia de realizar un estudio de las propiedades del nailon y caucho antes de ser utilizados para la investigación.

Se planteo como tercer objetivo específico evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo Proctor adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%. En la presente investigación se encontró para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 1.25% de polímeros de nailon se obtiene una MDS de  $1.96 \text{ g/cm}^3$ , aumentando un 1.03%; para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 2.50% de polímeros de nailon se obtiene una MDS de  $1.98 \text{ g/cm}^3$ , aumento un 2.06%; para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 5.00% de polímeros de nailon se obtiene una MDS de  $2.02 \text{ g/cm}^3$ , aumentando un 4.12%. En el estudio realizado por Álvarez (2020), se obtuvo que adicionando 4% y 5% de polvo de caucho, dando como resultado que para el 4% aumenta un 5.04%, mientras que el resultado usando un 5% aumenta un 5.22%. Dado esto, se puede confirmar que un 5% de fibras de caucho y 5% de polímeros de nailon es combinación adecuada para obtener un óptimo resultado.

Se planteo como cuarto objetivo específico evaluar el suelo arcilloso mediante el ensayo CBR adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%. En la presente investigación se encontró para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 1.25% de polímeros de nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 5.71%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 2.50% de polímeros de nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 6.05%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 5.00% de polímeros de nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 7.88%; concluyendo que el porcentaje óptimo para una mejor estabilización es de 5% de fibras de caucho y 5% de polímeros de nailon. Por su parte, los resultados de Díaz (2019) difieren, se encontró que la capacidad de soporte (CBR) a 0.1'' de penetración se obtuvo un CBR de 2.94%, incorporando el 1% de partículas de caucho de 3.85%, incorporando el 3% de partículas de caucho de 5.15%, incorporando 5% de partículas de caucho un CBR de 4.97%, incorporando el 7% de partículas de caucho un CBR de 4.88% e incorporando el 9% de partículas de caucho un CBR de 2.92%. Es así como se confirma que con un porcentaje de 5% de fibras de caucho y polímeros de nailon se obtiene un resultado óptimo.

## VI. CONCLUSIONES

Se concluye que según los resultados obtenidos tras los ensayos realizados (capacidad de soporte, Proctor) tanto al suelo natural como al suelo modificado dan por conclusión que la estabilización con adición de fibras de polímeros de nailon y fibras de caucho si influye en las propiedades mecánicas de un suelo arcilloso.

Se concluye para el objetivo específico 1 que, tras los ensayos de granulometría, límites de Atterberg; realizados el suelo del Pueblo Joven Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo; se encontró mayor cantidad de finos, no presenta grava; clasificando según SUCS a las tres muestras de análisis como CL, mientras que la clasificación según AASHTO se determinó un suelo Malo (A-6(9)), además presenta un mínimo de 25% de L. Líquido; 13 % de L. Plástico. Y 9 % de índice de plasticidad.

Se concluye para el objetivo específico 2 que, tras los ensayos de granulometría y peso unitario realizados a la fibra de caucho y polímeros de nailon para la estabilización del suelo en el P.J Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo; se encontró que el polímero de nailon tiene un peso unitario suelto de  $306.09 \text{ kg/cm}^3$  y un peso unitario compactado de  $344.62 \text{ kg/cm}^3$ , mientras que las fibras de caucho tienen un peso unitario suelto de  $381.90 \text{ kg/cm}^3$  y un peso unitario compactado de  $467.03 \text{ kg/cm}^3$ .

Se concluye para el objetivo específico 3 que, tras los ensayos de Proctor adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%; realizados el suelo del Pueblo Joven Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo; se concluye que la estabilización con adición de polímeros de nailon y fibras de caucho sí influye en la compactación de un suelo arcilloso, ya que se tiene que para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 1.25% de polímeros de nailon se obtiene una Máxima densidad seca de  $1.96 \text{ g/cm}^3$  y óptimo contenido de humedad de 11.90%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 2.50% de polímeros de nailon se obtiene una Máxima densidad seca de  $1.98 \text{ g/cm}^3$  y óptimo contenido de humedad de 11.46%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 5.00% de polímeros nailon se obtiene una Máxima densidad seca de  $2.02 \text{ g/cm}^3$  y óptimo contenido de humedad de 10.60%, concluyendo que el porcentaje óptimo para una mejor estabilización es de 5% de fibras de caucho y 5% de polímeros nailon.

Se concluye para el objetivo específico 4 que, tras los ensayos de Capacidad de Soporte (CBR) al 95% adicionando 5% fibra de caucho y polímeros de nailon al 1.25%, 2.50%, 5.00%; realizados el suelo del Pueblo Joven Villa Hermosa en la ciudad de Chiclayo; se concluye que la estabilización con adición de polímeros de nailon y fibras de caucho sí influye en la capacidad de soporte de un suelo arcilloso, ya que se tiene que para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 1.25% de polímeros de nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 5.71%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 2.50% de polímeros de

nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 6.05%, para un suelo adicionando 5% de fibras de caucho y 5.00% de polímeros de nailon se obtiene un índice de CBR máximo de 7.88%; concluyendo que el porcentaje óptimo para una mejor estabilización es de 5% de fibras de caucho y 5% de polímeros nailon.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- En trabajos futuros, se puede complementar con estudios químicos y otro tipo de ensayos en los que se encuentren los parámetros de resistencia al corte, como el ensayo triaxial, para mejor el análisis de los resultados.
- Los resultados que se obtuvieron son sustento para usar las fibras de caucho y polímeros de nailon y reducir la inadecuada disposición final del caucho. Ya que éstos pueden ser aplicados en soluciones geotécnicas debido a sus propiedades que le proporcionan una aplicación de larga vida que contribuye con mejorar la calidad del suelo.
- La estabilización con fibras de caucho y polímeros de nailon puede verse afectada ante posibles inundaciones o niveles elevados en la capa freática, por ello se recomienda hacer estudios a fin de determinar en qué medida el exceso de agua afecta en la estabilización con la adición de fibras de caucho y polímeros de nailon.

## REFERENCIAS

1. ABANTO, César y TANTALEAN, Euler. Efecto de la incorporación de caucho reciclado en el comportamiento del concreto para un pavimento rígido. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería Civil, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/47510>
2. ABBASPOUR, Mohsen, AFLAKI, Esmail y MOGHADAS NEJAD, Fereidoon. Reuse of waste tire textile fibers as soil reinforcement. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. vol.207, 2018 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: [10.1016/j.jclepro.2018.09.253](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.253)
3. ABUGATTAS, Camila y CARNERO, Gretta. Investigación sobre la realidad del caucho en desuso en Perú comparándolo con otros países. Tesis (Ingeniero civil). Arequipa: Universidad Católica San Pablo, Facultad de ingeniería, 2020. Disponible en: <http://repositorio.ucsp.edu.pe/handle/20.500.12590/16341>
4. AGREGU, José. Influencia de la fibra de caucho en las propiedades mecánicas de la base granular de los pavimentos. Tesis (Ingeniero civil). Huancayo: Universidad Peruana de los Andes, Facultad de ingeniería Civil, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12848/1410>
5. ALARCON, Juan; JIMENEZ, Mario y BENITEZ, Ricardo. Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Rev. ing. constr.* [en línea]. vol.35, n.1, 2020 [consulta: octubre de 2021], pp.5-20. Disponible en: [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-50732020000100005&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732020000100005&lng=en&nrm=iso). ISSN 0718-5073.
6. ÁLVARES, Sergio. Utilización de granulo de caucho pulverizado proveniente de llantas usadas como solución para reforzar los suelos blandos de subrasante en la sabana de Bogotá. Tesis (Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad Antonio Nariño, Facultad de Ingeniería Civil, 2020. Disponible en <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2256>

7. BOWLES, J. Análisis granulométrico de suelos por tamizado. ASTM D-422, AASHTO T88, (Experimento N°5), MTC E.
8. CAMPOS, José y VEGA, Alexander. Estabilización de suelos con concreto asfáltico reciclado en el P.J. dos de mayo -Chimbote. Tesis (Ingeniería civil). Chimbote: Universidad Nacional del Santa, Facultad de ingeniería, 2019. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3687>
9. CARRILLO, Arnaldo. Comportamiento del suelo tropical peruano. *Perfiles de ingeniería*. [en línea]. vol.12, no. 12, 2016 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en [https://doi.org/10.31381/perfiles\\_ingenieria.v12i12.809](https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v12i12.809)
10. CHIRINO, Juan. Efecto de la energía de compactación en la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo granular de la cantera el gavilán, 2015. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte, Facultad de ingeniería, 2016. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11537/10377>
11. COBEÑAS, Josué. Estabilización del suelo en el A.H. Solidex Bajo del C.P. San Jacinto distrito de Nepeña con material plástico reciclado con fines de cimentación de viviendas unifamiliares, Ancash- 2018. Tesis (Ingeniero Civil). Chimbote: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26462>
12. COBEÑAS, Josué. Estabilización del suelo en el A.H. Solidex Bajo del C.P. San Jacinto distrito de Nepeña con material plástico reciclado con fines de cimentación de viviendas unifamiliares, Ancash- 2018. Tesis (Ingeniero civil). Chimbote: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería Civil, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26462>
13. COELLO, Walther y SALINAS, Christian. Mapa geotécnico para el diseño de cimentaciones superficiales para el centro poblado ciudad de dios, distrito de san José, provincia y región de Lambayeque. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad San Martin de Porres, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12727/6893>

14. CUYA, Ángel. Escenarios de riesgo sísmico y lluvias intensas en el área urbana de Chosica. Tesis (Ingeniero Geógrafo). Lima: Universidad Nacional Federico Villarreal, 2017. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12816/3059>
15. DÍAZ, Katherine y TORRES, Rosa. Incorporación de Partículas de Caucho de Neumáticos para Mejorar las Propiedades Mecánicas en Suelos Arcillosos. Tesis (Ingeniería Civil). Jaén: Universidad Nacional de Jaén, 2019. Disponible en <https://1library.co/document/z12kem8y-incorporacion-particulas-caucho-neumaticos-mejorar-propiedades-mecanicas-arcillosos.html>
16. GAMARRA, William y ARANDA, Tiffany. Planteamiento de soluciones de reducción de fallas de plataforma para mantener la estabilidad de la carretera puente Chino-Aguaytía. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2687>
17. GÓMEZ, Carlota. Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas. Tesis (Doctora). Madrid: Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Geológicas, 2019. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/55931/1/T41185.pdf>
18. GUTIÉRREZ, Wilfredo. Mecánica de suelos aplicada a vías de transporte. *Macro* [en línea]. Vol. 1, no. 13, 2018 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: <https://perupublica.cpl.org.pe/gpd-mecanica-de-suelos-aplicada-a-vias-de-transporte.html>
19. GUZMÁN, Sebastian y IÑIGUEZ, Mateo. Metodología Para Elección De Estabilizantes Químicos Para Bloques De Tierra. *Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca* [en línea]. vol.5, no. 9, 2016 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3687> ISSN 1390-7263
20. HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la investigación [en línea]. 6.a ed. Mexico: MCGRAW-HILL, Inc., 2016 [fecha de consulta: 12 de octubre de 2021]. Disponible en: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp->

content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf ISBN: 978-1-4562-2396-0

21. HONORES, Gregory y ESPINOZA, Tatiana. Estabilización de suelos arcillosos con conchas de abanico y cenizas de carbón con fines de pavimentación. Tesis (Ingeniería civil). Chimbote: Universidad Nacional del Santa, Facultad de ingeniería, 2018. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3349>
22. IKEAGWUANI, Chijioke y CHIMOBBI, Donald, 2019. Emerging trends in expansive soil stabilisation: A review. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* [en línea]. Vol. 11, no. 2, pp. 423-440 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674775518301513> ISSN 1674-7755
23. LAICA, Juan y PAREDES, Víctor. Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base. Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base. Tesis (Ingeniero civil). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, Facultad de ingeniería Civil y Mecánica, 2016. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24440>
24. LLERENA, Gabriela y PAREDES, Mishel. Reforzamiento De Suelo Arcilloso Con Caucho Reciclado Para Fines De Cimentación En El Distrito De Yarabamba en la Ciudad de Arequipa. Tesis (Ingeniería Civil). Arequipa: Universidad Católica Santa María, 2019. Disponible en <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9102>
25. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos. Lima, 2014. Disponible en: [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/manuales.html](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html)
26. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). MTC E 112 Determinación de Los Factores de Contracción de Los Suelos. Lima, 2013.

27. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). MTC E 112 EM 108 método e Ensayo para Determinar El Contenido de Humedad de Un Suelo. Lima, 2016.
28. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Perú). MTC E 132 CBR DE SUELOS LABORATORIO. Lima, 2014.
29. MOALE, Alexandra y RIVERA, Ebdy. Estabilización química de suelos arcillosos con cal para su uso como subrasante en vías terrestres de la localidad de Villa Rica. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en <http://hdl.handle.net/10757/648846>
30. MORE, Sandra y YDROGO, Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2019. Tesis (Ingeniero civil). Tarapoto: Universidad Cesar Vallejo, Facultad de ingeniería Civil, 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/46162>
31. NESTERENKO, Daniel. Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú. Tesis (Magister en Ingeniería Vial). Piura: Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería, 2018. Disponible en: <https://pirhua.udpe.edu.pe/handle/11042/3474>
32. PARRA, Manuel. Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante. Tesis (Ingeniería civil). Bogotá: Universidad Católica de Colombia, Facultad de ingeniería, 2018. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10983/22856>
33. PIEDRA, José, VÁSQUEZ, Jorge y ARRIOLA, Guillermo, 2021. Evaluación de la estabilización de un suelo expansivo utilizando ceniza de cáscara de arroz, distrito de Jaén, Cajamarca, Perú. *Artículos Externos* [en línea]. Vol. 8, no. 2 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/ING/article/view/1914> DOI: <https://doi.org/10.26495/icti.v8i2.1914>.
34. POZO, Davis. Influencia del aditivo cloruro de sodio como estabilizante de la subrasante de la carretera tramo cruce el porongo – aeropuerto – Cajamarca.

Tesis (Ingeniería Civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2019. Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/15027/Pozo%20Carbal%20Davis%20Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

35. QUEZADA, Santiago. Estudio comparativo de la estabilización de suelos arcillosos con valvas de moluscos para pavimentación. Tesis (Ingeniería Civil). Piura: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil, 2017. Disponible en [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3207/ICI\\_242.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3207/ICI_242.pdf)
36. RAMOS, Luis. Comparación de la influencia del uso de Ichu (*Stipa Ichu*) con nylon en la resistencia a tracción indirecta y a la flexión del concreto en Arequipa. Tesis (Ingeniero civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Facultad de ingeniería Civil, 2020. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11351>
37. RIMAPA, Jonathan. Estudio del flujo vehicular y propuesta para evitar la congestión vehicular en la av. francisco Bolognesi, entre la av. José leonardo Ortiz y la calle m. Grau, distrito de Chiclayo, departamento de Lambayeque, 2019. Tesis (Ingeniero civil). Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Facultad de ingeniería, 2021. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3812>
38. RIVERA, Jhonathan, et al., Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*. [en línea]. vol.10, 2020 [consulta: octubre de 2021]. Disponible en: [http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf\\_tec/article/view/2530/3417#info](http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/2530/3417#info). DOI: 10.23850/22565035.2530
39. ROBLES, John. Aplicación de la cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao- 2020. Tesis (Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, 2020. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57923>
40. RUIZ, Luis y TEJADA, Carlos. Análisis del concreto con nylon como aditivo para aligerar elementos estructurales. Tesis (Ingeniero civil). Pereira:

Universidad Libre Seccional Pereira, Facultad de ingeniería, 2016. Disponible en:

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/17016/ANALISIS%20DEL%20CONCRETO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

41. YZAGUIRRE, Gavy. Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo el agregado fino 3% y 7% con fibras de nylon. Tesis (Ingeniero civil). Huaraz: Universidad San Pedro, Facultad de ingeniería, 2019.

Disponible en:

[http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/12419/Tesis\\_62986.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.edu.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/12419/Tesis_62986.pdf?sequence=1&isAllowed=y)



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, FERNÁNDEZ DÍAZ CARLOS MARIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO ARCILLOSO UTILIZANDO FIBRA DE CAUCHO Y POLÍMEROS DE NAILON, VILLA HERMOSA - CHICLAYO, 2021", cuyo autor es RAMIREZ OJEDA FERNANDO ANTONIO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de %, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 02 de Febrero del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
FERNÁNDEZ DÍAZ CARLOS MARIO : 09026248 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6774-8839	Firmado electrónicamente por: CMFERNANDEZD el 02-02-2022 15:57:41

Código documento Trilce: INV - 1020042