



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Incorporación de caucho reciclado para la mejora de las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica de la vía Trujillo – Laredo**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Purizaca Nole, Ruben Eliel ([orcid.org/0000-0003-1148-0110](https://orcid.org/0000-0003-1148-0110))

Tolentino Huamanchumo, Nehemias Esau ([orcid.org/0000-0001-8736-2634](https://orcid.org/0000-0001-8736-2634))

**ASESORES:**

Mg. Meza Rivas, Jorge Luis ([orcid.org/0000-0002-4258-4097](https://orcid.org/0000-0002-4258-4097))

Dr. Farfan Cordova, Marlon Gaston ([orcid.org/0000-0001-9295-5557](https://orcid.org/0000-0001-9295-5557))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al cambio Climático

**Trujillo – Perú**

**2022**

## **Dedicatoria**

A Dios, por habernos permitido concluir esta nueva etapa de todos nuestros objetivos propuestos, otorgándonos fuerzas para no doblegarnos ante las adversidades.

Culminamos estas frases, dedicadas a nuestros docentes quienes se tomaron un arduo trabajo para transmitirnos los diversos conocimientos que debe tener consigo un profesional. Hoy partimos, pero llevamos en nuestras mentes momentos compartidos que nos servirán en nuestra vida profesional y personal.

A nuestra familia por ser los artífices y por habernos dado el empuje necesario para culminar este gran objetivo, ya que con su apoyo día con día hemos concluido con un peldaño dentro de lo profesional.

## **Agradecimiento**

A la universidad César Vallejo, quien nos acogió durante 5 años de nuestra formación profesional, brindándonos una enseñanza de calidad.

A nuestros docentes de la facultad de Ingeniería Civil, por las sabias enseñanzas y consejos en el transcurrir de nuestra formación universitaria.

A nuestros docentes asesores,  
Mg. Meza Rivas, Jorge Luis, y al  
Dr. Farfán Córdova Marlon Gastón,  
por su desinteresada  
orientación que nos han permitido  
la culminación satisfactoria  
del presente informe de tesis.

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vii
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Tipo y diseño de la investigación.....	12
3.2. Variables y operacionalización .....	13
3.3. Población, muestra y muestreo .....	13
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos .....	14
3.5. Procedimiento .....	16
3.6. Método de análisis de datos .....	19
3.7. Aspectos éticos.....	19
IV. RESULTADOS .....	20
4.1. Descripción y ubicación de la zona de estudio.....	20
4.2. Propiedades mecánicas del suelo de la zona de estudio: .....	20
4.3. Propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica con polvo de caucho reciclado: .....	27
4.3.1. Trabajo Preliminar .....	27
4.3.2. Diseño de la mezcla asfáltica .....	30
4.3.3. Mezcla asfáltica y sus propiedades .....	31
4.3.4. Resultados obtenidos de la composición asfáltica convencional .....	31
4.3.5. Resultados obtenidos de la composición asfáltica con polvo de caucho reciclado.....	33
4.4. Comparación de las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica convencional y modificada con polvo caucho reciclado:.....	35
4.5. Prueba de hipótesis .....	40
V. DISCUSIONES .....	51
VI. CONCLUSIONES .....	53
VII. RECOMENDACIONES .....	55
VIII. REFERENCIAS .....	56
IX. ANEXOS	

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Diseño de la investigación .....	12
<b>Tabla 2:</b> Resultados de ensayo granulométrico calicata N°1 .....	20
<b>Tabla 3:</b> Resultado de ensayo granulométrico calicata N° 2.....	21
<b>Tabla 4:</b> Resultado de ensayo granulométrico de calicata N° 3 .....	21
<b>Tabla 5:</b> Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 4-A.....	22
<b>Tabla 6:</b> Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 5 .....	23
<b>Tabla 7:</b> Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 4-B.....	23
<b>Tabla 8:</b> Resultados de ensayo granulométrico de calicata N° 7 .....	24
<b>Tabla 9:</b> Resultados de ensayos granulométrico calicata N° 8 .....	25
<b>Tabla 10:</b> Resultados de ensayo granulométrico de calicata N° 9 .....	25
<b>Tabla 11:</b> Resultado de ensayo granulométrico de calicata N° 10 .....	26
<b>Tabla 12.</b> Resultados de ensayo granulométrico a agregado grueso.....	27
<b>Tabla 13:</b> Resumen de resultados de ensayo granulométrico agregado grueso .....	28
<b>Tabla 14:</b> Resultados de ensayo granulométrico agregado fino.....	29
<b>Tabla 15:</b> Resumen de resultados de ensayo granulométrico del agregado fino.....	29
<b>Tabla 16:</b> Composicion química del cemento asfáltico .....	30
<b>Tabla 17:</b> Diseño de mezcla asfáltica con agregados pétreos .....	31
<b>Tabla 18:</b> Diseño de mezcla asfáltica convencional .....	32
<b>Tabla 19:</b> Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 1%.....	33
<b>Tabla 20:</b> Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 1.5%.....	34
<b>Tabla 21:</b> Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 2%.....	34
<b>Tabla 22:</b> Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 2.5%.....	35
<b>Tabla 23.</b> Datos estadísticos descriptivos de la densidad real .....	40
<b>Tabla 24.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas .....	41
<b>Tabla 25.</b> Análisis de Varianza ANOVA .....	41
<b>Tabla 26.</b> Estadísticos descriptivos del % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada VMT .....	41
<b>Tabla 27.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas % de vacíos de aire en la mezcla VMT .....	42
<b>Tabla 28.</b> Análisis de Varianza ANOVA % Vacíos de aire en la mezcla compactada VMT .....	42
<b>Tabla 29.</b> Estadísticos descriptivos del % Vacíos en el Agregado Mineral VMA.....	43
<b>Tabla 30.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas .....	43
<b>Tabla 31.</b> Análisis de Varianza ANOVA % vacíos en agregado mineral VMA.....	43
<b>Tabla 32:</b> Estadísticos descriptivos de la Estabilidad Corregida KN.....	44

<b>Tabla 33.</b> Prueba de homogeneidad de varianzas .....	44
<b>Tabla 34:</b> Análisis de Varianza ANOVA estabilidad corregida KN.....	45
<b>Tabla 35.</b> Comparación múltiple de promedios mediante la prueba de Tukey y Duncan para la Estabilidad Corregida KN.....	45
<b>Tabla 36.</b> Estadísticos descriptivos del Índice de Flujo (mm).....	47
<b>Tabla 37:</b> Prueba de homogeneidad de varianzas .....	47
<b>Tabla 38.</b> Análisis de Varianza ANOVA Índice de flujo (mm) .....	47
<b>Tabla 39.</b> Comparación múltiple de promedios mediante la prueba de Turkey y Duncan para el índice de flujo (mm) .....	48
<b>Tabla 40:</b> Estadísticos descriptivos del % Vacíos Llenos de Asfalto VFA.....	49
<b>Tabla 41.</b> Prueba de homogeneidad de varianza % vacíos llenos de asfalto VFA.....	50
<b>Tabla 42.</b> Análisis de Varianza ANOVA % vacíos llenos de asfalto VFA.....	50

## Índice de figuras

Figura 1: Diagrama de flujo de ensayo granulométrico.....	16
Figura 2:Diagrama de flujo para diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado .....	17
Figura 3:Protocolo de diseño de mezcla asfáltica .....	18
Figura 4:Curva granulométrica calicata N° 1 .....	20
Figura 5. Curva granulométrica de la calicata N° 2 .....	21
Figura 6:Curva granulométrica calicata N° 3 .....	22
Figura 7:Curva granulométrica calicata 4-A.....	22
Figura 8:Curva granulométrica de calicata N° 5 .....	23
Figura 9:Curva de ensayo granulométrico de calicata N° 4-B .....	24
Figura 10:Curva granulométrica de calicata N° 7 .....	24
Figura 11:Curva granulométrica de calicata N° 8 .....	25
Figura 12:Curva granulométrica de calicata N° 9 .....	26
Figura 13:Curva granulométrica de calicata N° 10 .....	26
Figura 14:Curva granulométrica del análisis del agregado grueso .....	28
Figura 15:Curva granulométrica del análisis del agregado fino .....	29
Figura 16. Diagrama de barras para la comparación de densidades en la mezcla asfáltica. ....	35
Figura 17. Diagrama de barras para la comparación de (%VMT) de vacíos en la mezcla asfáltica patrón respecto a la mezcla incorporada con caucho reciclado. ....	36
Figura 18. Comparación de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	37
Figura 19. Comparación de estabilidad en mezcla convencional y modificada con caucho. ....	38
Figura 20. Comparación de índice de flujo (mm) en mezcla convencional y modificada con caucho.....	39
Figura 21. Comparación de vacíos llenos de asfalto (VFA) en mezcla convencional y modificada con caucho. ....	39
Figura 22. Gráfico de medias para los grupos diferentes en la variable Estabilidad Corregida KN. ....	46
Figura 23. Gráfico de medias para los grupos diferentes en la variable Índice de Flujo (mm). ....	49

## Resumen

El departamento de la Libertad, cuenta con grandes depósitos de chatarras que se encargan de almacenar llantas con un ciclo de vida culminadas, generando un impacto ambiental negativo, es por ello que esta investigación tiene como finalidad, mejorar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica incorporando caucho reciclado en el diseño de las mezclas asfálticas en caliente.

Analizadas las tipologías de los materiales pétreos (fino y grueso) y del cemento asfáltico, en el diseño de una mezcla asfáltica convencional ante una con incorporación de polvo de caucho, se estableció como objetivo analizar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica con la incorporación del caucho reciclado mediante el ensayo Marshall, con las normas técnicas ASTM D 1559, MTC y NTP.

Para obtener nuestros datos, realizamos diferentes ensayos a nuestros materiales pétreos, así como también al polvo de caucho reciclado, después de obtener los parámetros óptimos, se procedió a realizar el ensayo Marshall a las diferentes briquetas, donde utilizamos diferentes porcentajes de adición de caucho reciclado de 1%, 1.5%, 2% y 2.5%, y de acuerdo al análisis y ensayos el porcentaje que brindo mejores resultados fue el de 2.5% de caucho, el cual brindo una mejor estabilidad con un 72.3% más óptima a comparación de una mezcla asfáltica convencional, un flujo óptimo mayor de 29.45% mejor a la mezcla asfáltica convencional, reduciendo el porcentaje de vacíos al 4.28% encontrándose dentro de los parámetros de la norma técnica ASTM D1559, y alcanzando una mejor rigidez, en comparación con una mezcla convencional.

Por lo tanto, concluimos que, la incorporación del caucho reciclado perfecciona las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, siendo este el objetivo principal de nuestra investigación.

**Palabras clave:** Caucho reciclado, mezcla asfáltica, carpeta asfáltica



## Abstract

The department of La Libertad has large junkyards that are responsible for storing tires with a completed life cycle, generating a negative environmental impact, which is why this research aims to improve the mechanical properties of the asphalt layer incorporating Recycled rubber in the design of hot mix asphalt.

After analyzing the types of stone materials (thin and thick) and asphalt cement, in the design of a conventional asphalt mixture before one with the incorporation of rubber powder, the objective was to analyze the behavior of the mechanical properties of the asphalt layer with the incorporation of recycled rubber through the Marshall test, with the technical standards ASTM D 1559, MTC and NTP.

To obtain our data, we carried out different tests on our stone materials, as well as on recycled rubber powder. After obtaining the optimal parameters, the Marshall test was carried out on the different briquettes, where we used different percentages of recycled rubber addition. of 1%, 1.5%, 2% and 2.5%, and according to the analysis and tests the percentage that provided the best results was 2.5% rubber, which provided better stability with 72.3% more optimal compared to a conventional asphalt mixture, an optimal flow greater than 29.45% better than the conventional asphalt mixture, reducing the percentage of voids to 4.28%, being within the parameters of the technical standard ASTM D1559, and achieving better rigidity, compared to a conventional mixture.

Therefore, we conclude that the incorporation of recycled rubber improves the mechanical properties of the asphalt layer, this being the main objective of our research.

**Keywords:** Recycled rubber, asphalt mixture, asphalt binder

## I. INTRODUCCIÓN

La necesidad de poseer obras de infraestructura vial en óptimas condiciones cada día es de carácter indispensable para el progreso social y financiero de las zonas rurales y urbanas. Sin embargo, las vías se encuentran expuestas a las condiciones naturales y a las cargas de los vehículos que transitan, esto genera grietas, baches, surcos, ahuellamiento, etc. Estos problemas crean peligro al momento de movilizarse y reducen el rendimiento del servicio, haciendo necesario darle mantenimiento preventivo y rutinario para que se le de protección al pavimento (Hesami et al., 2020).

La capital del Perú al ser la más importante del país cuenta con la mayor cantidad de carreteras que sirven para conectar a la ciudad, es por eso que busca mejorar la calidad de sus carreteras ya que debido al uso de continuo, la sobrecarga y el desgaste de estos, se generan diversos defectos como grietas, piel de cocodrilo, hoyos, exudación, ondulaciones, entre otros; por esta razón, hay diversos estudios con materiales para mejorar el pavimento y así poder contribuir al crecimiento y desarrollo no solo de la ciudad sino del país (Olarte, 2020).

Cabe indicar que, en las zonas urbanas, el número de vehículos va en aumento, aumenta en gran cantidad los residuos generados por las llantas de caucho viejas, lo que provoca el deterioro ambiental (Mbereyaho, Manzi, Kamanzi, Nizeyimana, 2021); además Tasalloti, Chiaro, Murali, Banasiak (2021) estimaron que menos del 10% de neumáticos que llegan al fin de su vida útil son reutilizados en la geotecnia y el 40% son reciclados como combustible. Por otra parte, los neumáticos que cumplan el tiempo de vida de utilidad, pueden reutilizarse para la construcción como material sostenible, asequible y fácilmente disponible con excelentes características técnicas (Tasalloti et al., 2021).

También se sabe que las llantas de caucho desechadas generalmente se queman al aire libre y se vierten en cuerpos de agua. Entonces surge la necesidad de un uso eficaz de la energía ya que el cambio climático nos obliga a reducir la contaminación y aumentar el reciclaje y la reutilización (Vishnu & Singh, 2021). En la India se ha reutilizado neumáticos desechados durante cuatro décadas, aunque se afirma que el 60% de los neumáticos se eliminan mediante vertederos ilegales (Kumar Behera, Giri, & Sekhar das, 2020). Entonces mediante el reciclaje, se

puede economizar en el futuro las necesidades energéticas para la elaboración de material nuevo. El caucho reciclado se utiliza en diversas aplicaciones como arquitectura, bancos de parques, construcción, mobiliario, pavimentos de carreteras, etc (Barnabas & Geethan, 2021).

En el Perú, a diferencia de otros países, no existen normas para la disposición final del caucho, pero en general existen normas para los residuos sólidos. La Agenda Nacional de Acción Ambiental (ANAA) al 2021 abordó el tema de la utilización adecuada de los residuos en general, tomando en consideración, los neumáticos que ya no se utilizan, pero según las especificaciones del ANNA, esta no puntualiza el desorden que genera cada residuo.

Ante esta realidad, surge el problema ¿De qué manera la incorporación de caucho reciclado mejora las propiedades de la carpeta asfáltica de la vía Trujillo – Laredo?

La presente investigación se justifica teóricamente por la incorporación del polvo del caucho reciclado en el diseño de una mezcla asfáltica, además aporta información la cual servirá como antecedente para investigaciones futuras. Esta información está respaldada por diversos ensayos y estudios que permiten comparar los resultados. Así mismo, metodológicamente se estarían realizando pruebas, incorporando este polímero denominado caucho, por lo tanto, cada ensayo realizado, es de gran utilidad, por lo que de esta manera se podrá demostrar cual es la cantidad óptima que deberá añadirse dentro del diseño de las mezclas asfálticas futuras.

Socialmente se justifica ya que las vías en nuestro país se han transformado en importantes medios de conectividad y movilidad, tanto para el comercio como para el turismo. Estas vías al estar en constante uso y al estar expuestas al medio ambiente requieren de mayor resistencia y durabilidad, permitiendo que los vehículos que transiten por dicha vía para que tengan una mejor movilidad y mayor seguridad, del mismo modo esto ayudará a impulsar la economía de la zona beneficiaria; y en el ámbito práctico el proyecto se realiza porque al implementar el diseño de mezclas asfálticas con caucho está proporcionará mejorar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, proporcionando que una vía construida tenga las óptimas condiciones de utilidad.

El presente proyecto tiene como objetivo general: Comprobar que la incorporación de polvo de caucho reciclado (NFU – neumáticos fuera de uso), mejora las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica de la vía Trujillo – Laredo. Del mismo modo este objetivo general permite describir nuestros objetivos específicos que son los siguientes: Realizar un estudio topográfico de la zona de estudio; Determinar las propiedades mecánicas del suelo de la zona de estudio; Determinar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica modificada con polvo caucho reciclado; Comparar las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica convencional con las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica modificada con polvo caucho reciclado.

El presente proyecto de investigación tiene como hipótesis que al incorporar el polvo de caucho reciclado (NFU – neumático fuera de uso) en la vía Trujillo Laredo, es factible optimizar las propiedades mecánicas de la presente vía, intensificando su resistencia a la deformación y aumentando su estabilidad.

## II. MARCO TEÓRICO

Para complementar la investigación referida al uso del polvo de caucho reciclado frente al diseño de mezclas asfálticas, se citará los siguientes antecedentes, proporcionando una base teórica para el desarrollo de nuestra investigación.

Teniendo en el ámbito internacional a Olua y Salamanca (2021) en su artículo de revisión científica donde realizaron un análisis teórico del diseño de las mezclas asfálticas al modificarse con polvo de caucho reciclado en las vías de Colombia, cuyo objetivo principal fue determinar las características más importantes al diseñar las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho, presentando una metodología experimental, dando inicio en el diseño de mezclas asfálticas patrón las cuales no estuvieron mezcladas con polvo de caucho y las otras muestras restantes con adición de polvo de caucho, teniendo en cuenta que los porcentajes adheridos en este procedimiento fueron de 5% y 8% de polvo de caucho a la mezcla, obteniendo un resultado positivo de durabilidad y resistencia a la ruptura. Dicho proyecto concluye, que las mezclas asfálticas modificadas con polvo de caucho reciclado, optimizan de manera positiva las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica, ya que al modificarse estas, buscan optimizar su resistencia, a la deformación, flexión, del mismo modo, brindar el mejoramiento de las propiedades visco elásticas de una carpeta asfáltica.

Cardoza et al., (2019) detallan en su artículo de revisión científica el análisis del uso del grano de caucho reciclado como adherencia en las mezclas asfálticas del pavimento. Contando con un objetivo principal, evidenciar la jerarquía de la aplicación de este proceso innovador, resolviendo los problemas que son frecuentes en el diseño de pavimento flexible. Optaron por una metodología descriptiva donde recabando diferentes investigaciones para dar sostenibilidad a los antecedentes buscados, del mismo modo estos autores concluyeron que el uso del caucho reciclado incrementa la duración del pavimento flexible, de acuerdo a los estudios de investigaciones propiamente anticipadas.

Así mismo, Castañeda y Mantilla (2019) presentan una descripción en su artículo científico titulado "Assessment of Simultaneous Incorporation of Crumb Rubber and Asphaltite in Asphalt Binders", el cual tiene como objetivo evaluar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con adición de polvo de caucho reciclado a distintas temperaturas, hasta lograr una óptima resistencia, así mismo

la metodología utilizada es descriptiva, en la que se realizó la búsqueda de diferentes autores para base de la presente investigación, en la que se describe distintas proporciones de caucho de 8% y 10% de caucho potenciando su resistencia al asfalto, en el mismo estudio los autores concluyen que al añadir el caucho reciclado en distintos porcentajes elevados al 8%, el asfalto brinda una mayor resistencia, mejorando sus características mecánicas dando como resultado que al combinar simultáneamente los materiales que intervienen en el diseño de mezclas asfálticas añadiendo polvo de caucho, en proporciones de 8% de polímero y 10% de asfalto, esta mezcla proporciona positivamente el mejoramiento del asfalto, así mismo mejora la obstinación a la deformación, evitando distintas fallas en la superficie del pavimento.

Correa (2018) en su investigación titulada, la implementación del caucho reciclado en la mezcla asfáltica, tuvo como objetivo principal evidenciar las características mecánicas de la incorporación del polvo de caucho reciclado en el diseño de las mezclas asfálticas para la construcción de un pavimento. En esta investigación utiliza una metodología experimental dividida en cinco secciones; la elaboración de fichas técnicas, la clasificación del pavimento, la elaboración de los diagnósticos, y el cálculo de tránsito promedio diario y la implementación de la mezcla modificada, debiendo tener en cuenta que para el diseño de mezclas asfálticas se tiene que añadir en cantidades altas para obtener una mejor resistencia, presentando una conclusión que, la presencia del polvo de caucho reciclado, logra disminuir los problemas de ahuellamiento en las superficies de rodadura, así mismo se corroboró que las etapas de compactación reducen y presentan un mejoramiento de las propiedades mecánicas a comparación con el diseño de mezclas asfálticas simples.

Así mismo la investigación de Paz et al.(2018) en su artículo científico buscaron implementar un nuevo enfoque de los elementos económicos y sociales, evaluando mezclas asfálticas con la presencia de caucho y sin la presencia de este material. Así mismo en esta investigación, teniendo como objetivo principal indicar si es posible añadir caucho reciclado a las mezclas asfálticas, así mismo en la presente investigación utilizaron una metodología descriptiva, revisando distintas investigaciones, consideraron en su mayor alcance los artículos y revistas científicas, que respalden la presente investigación, en la que distintas

investigaciones presentan diferentes discusiones correspondiente a dosificaciones de caucho para los diseños de mezclas modificadas. La anterior investigación determina que, al incorporar polvo de caucho reciclado en las mezclas asfálticas, es de gran utilidad razón por la cual el diseño de mezclas asfálticas con presencia de polvo de caucho; presentan mejoras y reduce el desgaste y fractura del pavimento, disminuyendo los mantenimientos posteriores de la infraestructura vial. En el ámbito nacional tenemos a Castillo y Chávarri (2020), en su proyecto de investigación diseña una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado. Cuya finalidad fue integrar el caucho reciclado en caliente dentro de una mezcla bituminosa convencional, teniendo como metodología de forma aplicada con enfoque cuantitativo, presentando diferentes dosificaciones a las diferentes muestras y obteniendo óptimos resultados, en la que en dicha investigación concluyen que, las propiedades que otorga al proporcionar el polvo de caucho en el diseño de las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta que esta adherencia mejora significativamente las propiedades de una mezcla asfáltica convencional, mejorando su estabilidad y disminuyendo sus propiedades de vacíos, así como también aumentando la estabilidad y, disminuyendo de manera significativa el nivel de impacto ambiental.

Flores (2018), investiga sobre el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica incorporando caucho. Cuyo objetivo principal fue analizar el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica al incorporar caucho. Utilizó metodología aplicada, de nivel explicativo, con una muestra estratificada de un total de 124 briquetas y concluyó que la deformación de la mezcla asfáltica modificada con 5% de granos de caucho en comparación con la mezcla convencional presentó disminución de 2.6% de estabilidad y un aumento de 13% en el flujo; al incorporar 5% de granos de caucho por vía húmeda a la mezcla asfáltica mejora la resistencia a la inmersión compresión, por que incrementa su capacidad de carga, su esfuerzo máximo.

Tueros (2017) en su investigación de pregrado titulada “Incorporación de polvo de caucho en mezcla asfáltica tradicional para la mejora de las propiedades mecánicas en la metrópoli de Huancayo 2016”, cuyo objetivo principal fue evaluar la contribución de la incorporación del caucho reciclado en el diseño de mezclas

asfálticas convencionales, utilizando una metodología experimental, llegando a determinar diferentes ensayos con la incorporación de caucho en diferentes dosificaciones (%) evaluando la rigidez, abrasión, y durabilidad, dicho estudio concluye de la siguiente manera; el perfeccionamiento de la carpeta asfáltica concerniente al comportamiento de ahuellamiento alcanzando una estabilidad uniforme en un 85%, 87% y 97%, así como también el índice de rigidez y el índice de flujo presentaron un 57% de mejora frente a su ahuellamiento durabilidad alcanzando depresiones en un 66.67%

Villagaray (2017) en su proyecto de investigación de pregrado analiza la aplicación del polvo de caucho reciclado en el diseño de una mezcla asfáltica, cuyo objetivo principal de estudio fue plasmar al caucho como un nuevo componente de mezcla asfáltica bituminosa modificada, cuya metodología de investigación fue experimental, presentando un diseño con tipologías con mayor durabilidad, flexibilidad correspondiente a un asfalto convencional, Villagaray concluye que el caucho reciclado puede usarse con confiabilidad y seguridad incrementando las características de las mezclas bituminosas convencionales, teniendo en cuenta que con este nuevo método de diseño mejora los diferentes valores de rigidez y durabilidad, tenido como resultado una rigidez de 3.54%, de acuerdo a estos resultados esta mezcla presenta resistencia y estabilidad ante las posibles deformaciones.

Del mismo modo Flores (2018) en su proyecto de investigación de pregrado evalúa las propiedades mecánicas del asfalto, incorporando caucho reciclado, cuyo objetivo principal es calificar las propiedades mecánicas de una mezcla bituminosa al añadirle gránulos de caucho, utilizando una metodología experimental, al adherir diferentes muestras de acuerdo a porcentajes definidos, concluyendo que al adherir un porcentaje de 5% y 6% se obtiene una conducta que amplía la tenacidad evitando la deformación, teniendo en cuenta que al incorporar porcentaje de caucho en elevados porcentajes, se puede obtener mejores resultados, obteniendo resultados registrado en la norma técnica del MTC, Manual de carreteras EG (2013).

A las anteriores investigaciones se une Aliaga (2017), el cual evalúa la incorporación del caucho reciclado dentro de una mezcla convencional teniendo



por consiguiente mejorar las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica, este estudio tuvo como objetivo principal, examinar la aplicación del caucho reciclado, determinando si esta mejora las propiedades de una mezcla convencional asfáltica, cuya metodología de estudio fue de manera científica aplicada, experimentada en una muestra de 100 metros de pavimento que se tomaron por criterio, dicha investigación concluye que mediante los estudios Marshall se comprobó que el flujo del polímero añadido con caucho reciclado aumenta una de las propiedades físicas siendo esta la durabilidad y a su vez disminuye las características físicas que es la impermeabilidad.

Burgos y Rodríguez (2022) investigó sobre la influencia del caucho en las propiedades físicas y mecánicas de una mezcla asfáltica en caliente. Tuvo como objetivo determinar la influencia del caucho reciclado en las propiedades físicas y mecánicas en una mezcla asfáltica. La metodología que utilizaron fue aplicada ya que se basa en hallazgos tecnológicos. Concluyen que el óptimo porcentaje de cemento asfáltico para esta investigación es de 6.0% con un porcentaje de caucho al 1.0%, se mejoró la estabilidad de la mezcla modificada con caucho en un 10% con respecto a la mezcla tradicional.

Camacho y Castañeda (2021) en su artículo científico evaluaron la incorporación del caucho, como mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica, presentando un objetivo principal fue, determinar la incorporación del caucho reciclado, proveniente de los NFU, presentado como un elemento nuevo en el diseño de las mezclas asfálticas, el cual proporciona una óptima estabilidad, flexibilidad y duración, dichos autores concluyen que la aplicación de los reciclados tratándose del caucho, este mejora de manera óptima las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica, teniendo en cuenta que es el objetivo principal de esta investigación.

A continuación, se presentan las bases teóricas que consolidan la investigación y se detallan de la siguiente manera:

Caucho, es un polímero que presenta diferentes unidades que pueden ser de distinto aspecto, sintético y natural, caracterizándose por su elasticidad e impermeabilidad (Camacho & Castañeda, 2021).

Neumáticos fuera de uso (NFU); son los objetos que comúnmente se les denomina llantas que ya han alcanzado su vida útil (Camacho & Castañeda, 2021).

Caucho reciclado; este elemento deriva de las llantas que se encuentran fuera de uso o han alcanzado su vida útil para un automóvil, teniendo en cuenta que este puede ser utilizado para la creación de pistas, para la incorporación en los campos de gras sintético, para aumentar las propiedades de mezclas asfálticas. (Camacho & Castañeda, 2021).

Diseño de Mezcla asfáltica convencional en caliente: Esta técnica consiste en combinar material pétreo, seguido del proceso industrial derivado del petróleo, que termina ser un material básico para los diseños de infraestructura vial ya que esta proporciona características termoplásticas, presentando una potencia para tolerar los diferentes compuestos que la naturaleza produzca, así mismo esta mezcla asfáltica, proporciona durabilidad, flexibilidad e impermeabilidad a los diferentes pavimentos que se encuentren en cualquier estado climático (Granados, 2017).

Ensayo Marshall, el ensayo Marshall consiste en conocer las diferentes dosificaciones para aplicar a un pavimento tratándose de mezclas oleosas preparadas a temperaturas elevadas, (MBC). Con este tipo de ensayo se logrará obtener cinco bocetos que representarán la diversificación de resultados en función al cemento (García & Hugo 2020).

Ensayo granulométrico: Son técnicas en las que se somete a los materiales, con el objetivo de comprobar sus características mecánicas, teniendo en cuenta que estos materiales son dispuestos en normas técnicas, luego se realizan un zarandeo por diferentes mallas codificadas, según el tamaño del material, es por ello que la gradación de los materiales pétreos de mayor dimensión y los materiales finos indispensables para el compuesto de una mezcla, este tiene que cumplir con los estándares establecidos en la norma técnica ASTM, NTP, y MTC.

Peso específico: Los diferentes materiales sometidos a pruebas en laboratorio manifiestan su debido peso específico, es decir es el peso de cada unidad de volumen (L) con  $\gamma = w/V$ , teniendo a V como el volumen y a w como el peso del material sometido a ensayo (Mott, 2006).

Resistencia a la desproporción (deformación): Esta resistencia refiere al porte o capacidad que tiene un material para soportar fuerzas y esfuerzos adquiriendo deformaciones o deterioro, pero sin romperse (Arisnabarreta, 2014).

Conducta elástica: De acuerdo a la ley de Hooke, refiere que la deformación elástica de un material es similar al esfuerzo que proporciona la deformación teniendo en cuenta que este no sobrepase su límite. De acuerdo a estos datos el módulo elástico es el esfuerzo entre la deformación reversible y el régimen elástico.

$$E = \frac{\delta}{e}$$

Donde:

E: Modulo de Young

$\delta$ : Tensión ejercida

e: Deformación unitaria

Esta fórmula es característica de cada material y se relaciona con los enlaces de átomos que lo forman (Montañez, 2020).

Propiedades físicas del asfalto; para la construcción de pavimentos se debe tener en consideración lo siguiente:

- Dureza: Es la característica que posee el asfalto ante una exhibición uniforme de desgaste, presentado como vida útil.
- Absorción: Particularidad de un elemento con la capacidad para impregnar aditivos ante cualquier exposición.
- Elasticidad: Propiedad de un elemento con facilidad que éste retorne a su estado original después de recibir algún tipo de fuerza aplicada.
- Envejecimiento: El envejecimiento previene los efectos de oxidación la cual se presenta con sencillez, debido a los diferentes cambios de temperatura del clima presentándose en frágiles revestimientos de mezclas asfálticas.
- Apto a los diferentes cambios climatológicos: Todas las partículas del caucho reciclado se endurecen a raíz de la temperatura elevada, y esta cambia en determinadas mezclas asfálticas que no presentan el mismo nivel de firmeza (Camacho & Castañeda, 2021).

- Impermeabilidad: Se trata de la firmeza que un pavimento asfáltico. Esta característica se encuentra enlazada con la esponjosidad de la compactación de una mezcla. Este nivel que presenta la mezcla se evalúa por el diámetro que presenta los poros independientemente que estos se encuentren conectados o no a la calzada del pavimento (Minaya, 2001).

#### Características mecánicas del asfalto:

- Rigidez, característica del pavimento frente a las diferentes fuerzas manifestadas por los vehículos.
- Durabilidad, esta característica se vincula con los diferentes factores económico y social, ya que de acuerdo a la escala se manifestará el tiempo de duración (Camacho & Castañeda, 2021).
- Estabilidad: Es la firmeza de un material sometido al desplazamiento produciendo deformaciones a las cargas de tráfico. Una carpeta asfáltica es estable si esta mantiene su suavidad y forma cuando se encuentran sometidas a cargas. Así mismo una mezcla asfáltica estable depende de partículas sometidas a fricción. (Granados, 2017).
- Gravedad específica, se le conoce como densidad relativa teniendo como vínculo la consistencia del agua, es decir que, para determinar la gravedad concreta de un elemento este debe dividirse de la siguiente manera, la masa dividido entre su volumen:  $d = m/V$  (García & Hugo, 2020).
- Trabajabilidad: La trabajabilidad de una mezcla asfáltica se relaciona con la facilidad que esta se somete a la compactación, Esta característica es dependiente de una combinación de diferentes factores tales como la viscosidad y la granulometría (Vega, 2016).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

##### 3.1.1 . Tipo de investigación:

Paz (2017) asegura que la investigación aplicada estudia como objetivo primordial al problema que está destinada la acción. Este tipo de investigación puede dar nuevos sucesos si es que la proyección de la investigación está bien dada y lograr la confianza de lo descubierto, esta nueva información recabada puede ser de utilidad y estimable para la teoría. Por lo indicado, esta investigación es aplicada.

##### 3.1.2 . Diseño de la investigación:

En el referido proyecto se utilizará el diseño de investigación cuasi experimental, ya que todos los ensayos realizados son similares, teniendo como referencia una muestra patrón, y otras mezclas que se les añadirá polvo de caucho reciclado en dosificaciones de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% que serán procesados en el laboratorio empleando el esquema de diseño experimental, de la siguiente manera:

**Tabla 1:** *Diseño de la investigación*

Símbolo	Leyenda
	MA <sub>0</sub> : Muestra Patrón
MA <sub>0</sub> ___O <sub>0</sub>	MA <sub>1</sub> : Mezcla asfáltica experimental con polvo de caucho reciclado al 1%
MA <sub>1</sub> ___O <sub>1</sub>	MA <sub>2</sub> : Mezcla asfáltica experimental con polvo de caucho reciclado al 1.5%
MA <sub>2</sub> ___O <sub>2</sub>	MA <sub>3</sub> : Mezcla asfáltica experimental con polvo de caucho reciclado al 2.0%
MA <sub>3</sub> ___O <sub>3</sub>	MA <sub>4</sub> : Mezcla asfáltica experimental con polvo de caucho reciclado al 2.5%
MA <sub>4</sub> ___O <sub>4</sub>	O <sub>(0-7)</sub> : Propiedades de la mezcla asfáltica.

### **3.2. Variables y operacionalización**

Al hablar de variables, citamos al denominado polvo de caucho reciclado y los efectos que causa dentro de las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica, las cuales fueron catalogadas como variable independiente y variable dependiente de acuerdo al estudio.

Se precisa que el tipo de estudio es cuasi experimental es por ellos que las variables independientes tienen una influencia menor es decir solo generan un impacto real referente a los diferentes efectos que estas generan (Cortez e Iglesias, 2016).

Se debe tener en cuenta que en el desarrollo de la investigación se identificó que la variable independiente fue el polvo de caucho reciclado, así mismo para nuestra variable principal la cual es nuestro objetivo de estudio es la reacción de las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica.

Así mismo, al determinar el objeto de estudio los diferentes indicadores de la inicial variable estudio se tendría el ensayo granulométrico y la adherencia en porcentaje de polvo de caucho reciclado dentro la mezcla asfáltica, tomando como dato de laboratorio la malla N° 200 con porcentajes de 1%, 1.5%, 2% y 2.5%, y para la segunda variable se tuvieron en cuenta las pruebas realizadas con el estudio Marshall; se muestra que todos los indicadores presentan proporción de comprobación numérica (anexo 1).

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **3.3.1 Población**

Comprende la vía que une los distritos de Trujillo y Laredo.

Criterios de inclusión:

- Se evaluó el registro de todos los daños presentados a lo largo de la vía que conecta Trujillo y Laredo.
- Se implementó las informaciones de investigaciones geotécnicas que se podrá obtener en la incorporación del caucho en el diseño de la carpeta asfáltica.

- Se calificó las condiciones de seguridad vial.
- Se evaluó la información del estado de la vía.

Criterios de exclusión:

- No se incluyeron las vías alternas a la vía principal de Trujillo Laredo.
- No se consideran tramos de vía refaccionados.

### **3.3.2 Muestra**

Las diferentes muestras para el presente proyecto de investigación se utilizaron para los diversos ensayos que se realizaron. Las muestras tomadas en proporciones de porcentaje fueron recolectadas de acuerdo a los antecedentes investigados y de acuerdo a la norma CE.010.

### **3.3.3 Muestreo**

En la presente investigación se realizará un muestreo probabilístico, debido que se porque se utilizarán productos más fehacientes que presentaran mejoras de la resistencia en la mezcla asfáltica modificada, del mismo modo para ejecutar las mediciones concernientes a la resistencia se elaborará el diseño de probetas cúbicas que servirán para calcular la resistencia óptima de la mezcla asfáltica diseñada con polvo de caucho reciclado.

## **3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos**

### **3.4.1 Técnicas:**

Para recolectar los datos se utilizó la técnica de observación indirecta ya que se utilizó equipos mecánicos y/o electrónicos utilizados para el levantamiento topográfico, el estudio de mecánica de suelos y el diseño de probetas.

### **3.4.2 Instrumentos documentales y digitales:**

De acuerdo a la técnica empleada, se elaboraron como instrumento de obtención de antecedentes, fichas de información. Estas guías fueron brindadas por el laboratorio geotécnico GEOCONS SRL, y en la ESCUELA DE MATERIALES UNT las cuales sirvieron para

alcanzar conclusiones acertadas en la presente investigación y siendo las siguientes:

- Ficha de observación para ensayo granulométrico por tamizado (Anexo 3).
- Límites de consistencia (Anexo 4).
- Humedad natural (Anexo 6).
- Ficha de observación para determinar el peso específico y absorción (Anexo 18).
- Ficha de observación para determinar la resistencia de la humedad (Anexo 20).
- Ficha de observación para determinar la resistencia a la abrasión (Anexo 12)
- Ficha de observación para determinar la resistencia a la ruptura (Anexo 11).

### **3.4.3 Instrumentos mecánicos**

Para el procedimiento del estudio topográfico, dichos instrumentos fueron solicitados a la Municipalidad Provincial de Trujillo, y los diferentes ensayos fueron ejecutados en el laboratorio geotécnico GEOCONS SRL, y en la ESCUELA DE MATERIALES UNT.

#### **Estudio Topográfico**

Para el estudio topográfico y determinación de orografía se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Estación Total Topcon
- Prisma
- Wincha
- Gps satelital

#### **Ensayos granulométricos de calicatas y ensayos de mezcla asfáltica:**

- Balanza.
- Horno.
- Tamices.



### Para el ensayo de la Mezcla Asfáltica

- Máquina de los Ángeles (ASTM D6927-06)
- Tamices
- Balanza
- Horno
- Cocina
- Martillo Marshall
- Molde para Probeta
- Equipo baño maría
- Equipo de compactación

### 3.5. Procedimiento

#### 3.5.1. Para estudio topográfico:

Para la ejecución del estudio topográfico se tomaron puntos de referencia que parten del centro de Trujillo, específicamente un BM georreferenciado existente en la plaza de armas del mismo distrito (Trujillo), partiendo de ese punto en distintos cambios de estación hasta llegar a la ubicación referenciada en el distrito de Laredo finalizando con otro BM.

#### 3.5.2. Para análisis de ensayo granulométrico

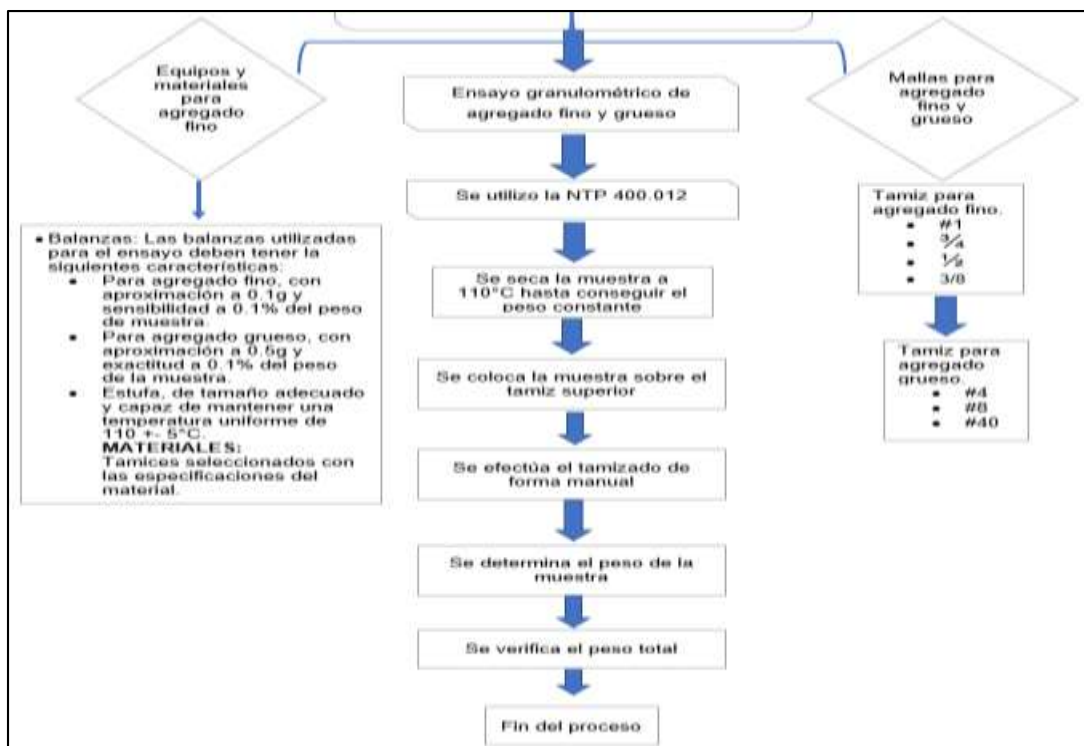


Figura 1: Diagrama de flujo de ensayo granulométrico

Para el procedimiento y desarrollo del presente proyecto de investigación se realizaron diferentes calicatas tomadas de las diferentes vías que se encuentran involucradas en el estudio y desarrollo de la presente, tomando un total de 10 calicatas.

Módulo de Fineza y agregado fino, este estudio se elaboró en la manufactura de materiales directos GEOCONS SRL, en la que se consideró la NTP 400.012, estudiando las diferentes calicatas de los diferentes kilómetros. Seguidamente, se procedió a tamizar por las redes estandarizadas con nomenclatura N° 8, 16, 30, 50, 100, 200, y el fondo, logrando determinar las dimensiones de las arenas.

El equipo y material empleado: Balanza, tamices, escobilla, taras, espátula y cepillo de arena.

Límites de consistencia, para la obtención del límite plástico en este procedimiento, se preparó la muestra con agua y se pasó por el tamiz #40 hasta llegar a obtener una mezcla para amasar.

Para la obtención del límite líquido este viene a ser expresado en porcentaje después de haber pasado por un periodo de tiempo dentro del horno teniendo en cuenta que el valor obtenido deberá aproximarse al valor centésimo.

### 3.5.3. Procedimiento para diseño de mezcla asfáltica adicionando caucho

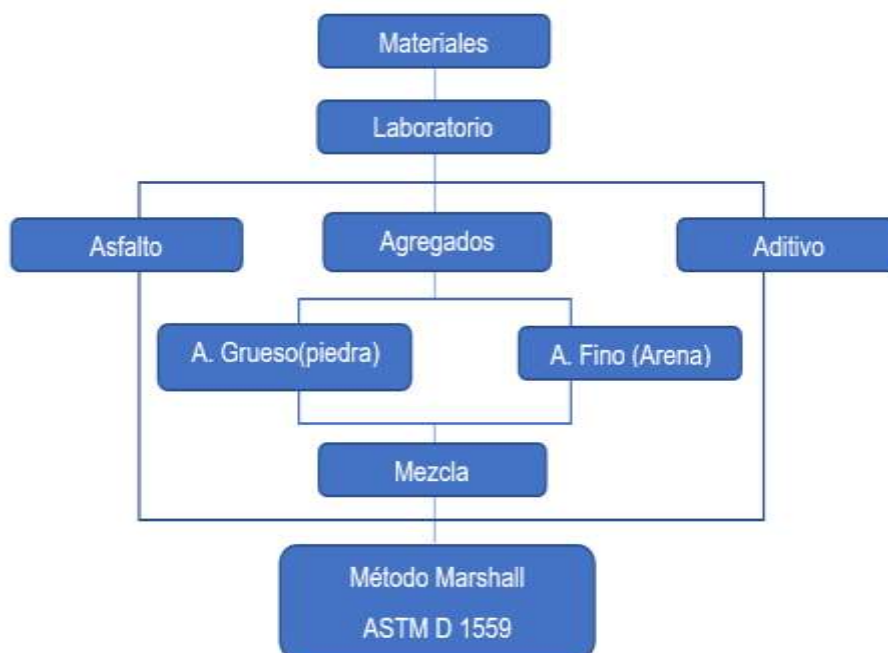


Figura 2: Diagrama de flujo para diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado

Se realizó el proceso de caracterización o selección de materiales para verificar el tipo de material, teniendo en cuenta que si estos cumplen para un buen diseño de mezclas.

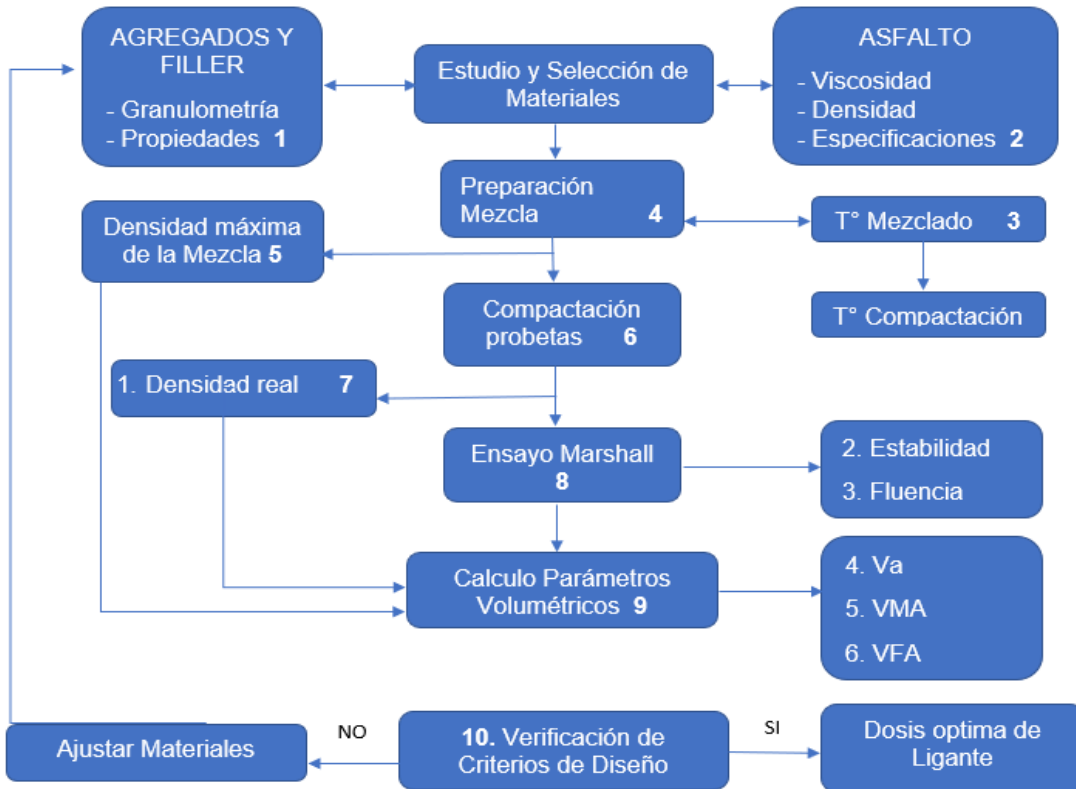


Figura 3: Protocolo de diseño de mezcla asfáltica

### Obtención y selección de materiales

Para la obtención y selección de materiales en el presente proyecto de investigación, la escuela de materiales de la universidad nacional de Trujillo, aportó con los distintos materiales para desarrollar el proceso de las mezclas asfálticas, teniendo en cuenta que para el presente procedimiento se realizó una adecuada depuración de impurezas de los materiales.

Se selecciona un tipo de agregado compatible de asfalto.

Se pesa la arena, grava, filler y cemento asfáltico.

El cemento asfáltico utilizado fue PEN 85/100 con viscosidad cinemática de 135°C.

Se procede a mezclar todos los componentes hasta alcanzar una mezcla muy homogénea, estos materiales se mezclan hasta estar totalmente combinados, y hayan alcanzado una temperatura de 140° C.

Las mezclas se colocan en moldes preparando así el material para la compactación el cual también es calentado para evitar el enfriamiento de la superficie, una vez vertida la mezcla en el molde el número de golpes de martillo es de 75 dependiendo el resultado del IMD.

- Luego se extrae las briquetas de los moldes procediendo a enfriarlas, procediendo a determinar el peso específico al siguiente día.
- Para la determinación del peso específico, las muestras se bañan con parafina evitando vacíos en las muestras, para luego colocar las muestras en un baño maría por un tiempo de 30 minutos.
- Para la determinación de la estabilidad de flujo la muestra se coloca en la provecha Marshall seguidamente se coloca en el equipo compactador para luego anotar el resultado del flujo y de la estabilidad.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Los criterios utilizados en la presente investigación se rigen a las normas técnicas peruanas (NTP), MTC y ASTM. Además, se utilizó el programa de Microsoft Excel para la tabulación y diseños de gráficos de acuerdo a los datos obtenidos en los diferentes ensayos. Por otro lado, para realizar la comprobación de hipótesis se trabajó mediante el software SPSS, con el fin de obtener una mejor apreciación de los datos obtenidos en el laboratorio.

### **3.7. Aspectos éticos**

En el presente proyecto de investigación, se tomó en cuenta la norma ISO 690 y 690-2 para las referenciar las citas bibliográficas, respetando la autoría de los investigadores tomadas como fuente y los lineamientos establecidos por la universidad. Así mismo el proyecto se realizó en base al manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción elaborado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones 2015 y normas internacionales con el fin de obtener resultados confiables en el desarrollo de las distintas pruebas.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Descripción y ubicación de la zona de estudio.

El desarrollo del presente proyecto de investigación se ejecutó, con la consideración de las diferentes vías tomadas como materia de estudio, dichas vías se inician en la plaza de armas del distrito de Trujillo, tomando como vía inicial el Jr. Orbegoso con una distancia de 490m, seguido con la Calle. Huayna Cápac con una distancia de 235 m, Av. Los Incas con 700m, Av. César Vallejo con 4 Km. 450 m, Av. Pumacahua con 3Km. 380m, Calle. Julián Arce 485m, Jr. La Merced 441m, considerando una distancia total de recorrido 10Km, 181m, hasta llegar al distrito de Laredo.

### 4.2. Propiedades mecánicas del suelo de la zona de estudio:

Para obtener un módulo de fineza que cumpla con la NTP 400.037 / MTC E 204, y con la norma técnica NTP 339.134, realizó un ensayo granulométrico de 10 calicatas, iniciando desde el distrito de Trujillo hasta llegar al distrito de Laredo, obteniendo que se presentan a continuación:

#### Calicata 1.

Ubicada en el KM 730 – Av. Los Incas, teniendo como profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 2:** Resultados de ensayo granulométrico calicata N°1

%grava	%arena	%fino/limo	P.humedad
0.8%	89.3%	9.9%	1.1%
Descripción del suelo: Arena gradada con limo			

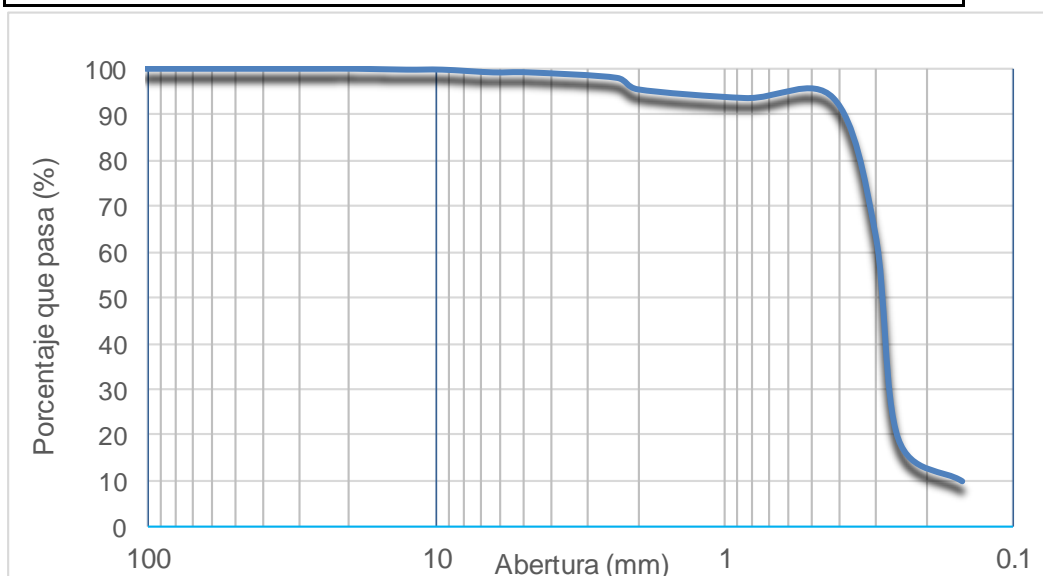


Figura 4: Curva granulométrica calicata N° 1

### Calicata 2.

Ubicada en el KM 2+200m – Av. Cesar Vallejo intersección con la Av. América Sur, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 3:** Resultado de ensayo granulométrico calicata N° 2

%grava	2.5%	Limite liquido	32.1%
%arena	16.4%	Limite plástico	22.2%
%Fino/limo	81.1%	Indice plástico	9.9%
Humedad Natural	1.0%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla media, plasticidad con arena			

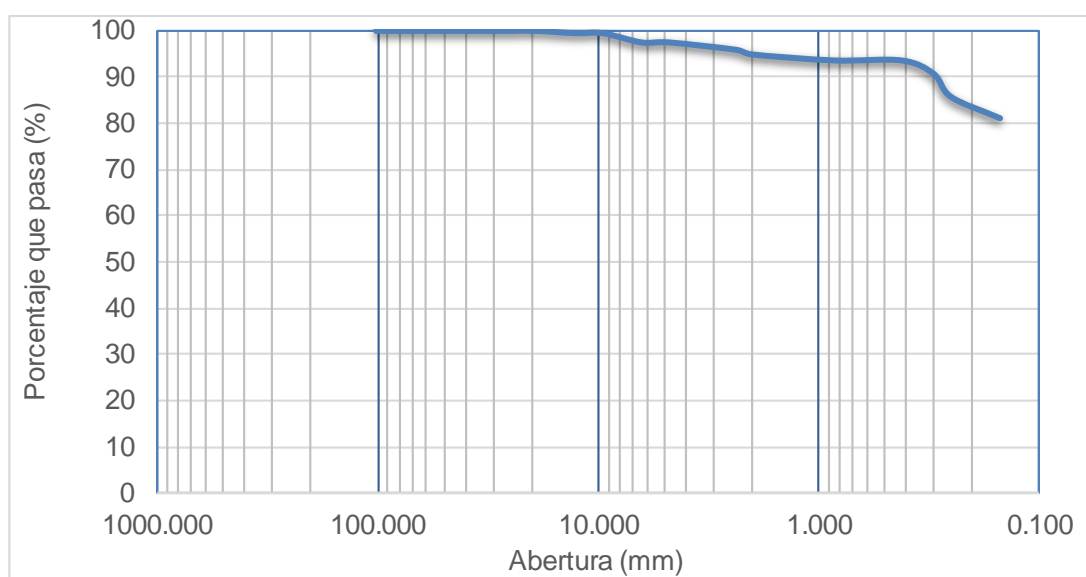


Figura 5. Curva granulométrica de la calicata N° 2

### Calicata 3.

Ubicada en el KM 3+080 m – Av. Cesar Vallejo intersección con la Av. Federico Villarreal, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 4:** Resultado de ensayo granulométrico de calicata N° 3

%grava	0.2%	Limite liquido	20.4%
%arena	54.7%	Limite plástico	16.7%
%Fino/limo	45.1%	Indice plástico	9.9%
Humedad Natural	3.7%		
Descripción del suelo: Arena limosa			

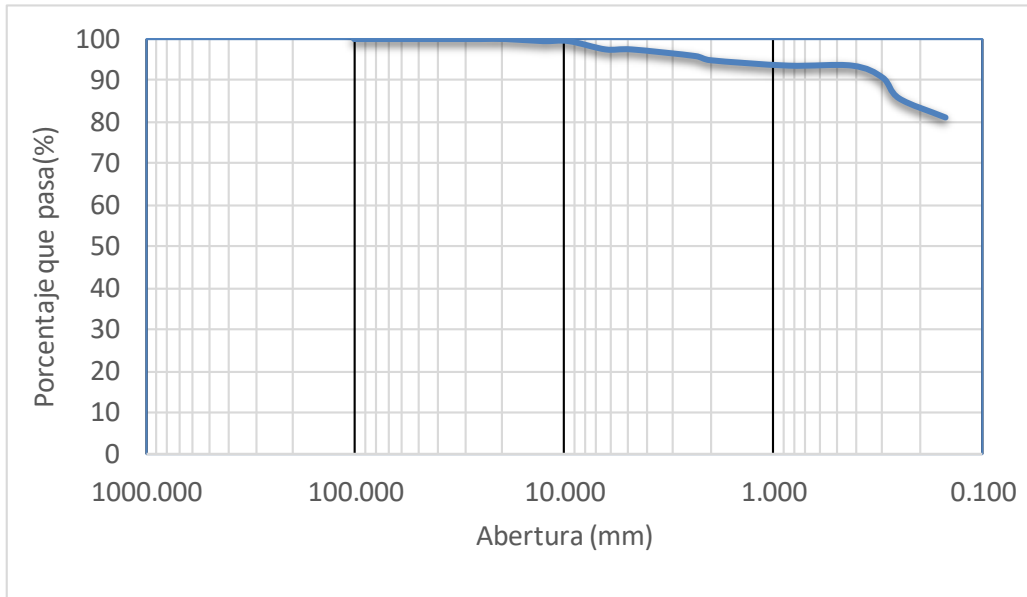


Figura 6: Curva granulométrica calicata N° 3

**Calicata 4-A**

Ubicada en el KM 4+031 m – Av. Cesar Vallejo intersección con la Av. Pesqueda, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 5:** Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 4-A

%grava	1.6%	Limite liquido	28.2%
%arena	24.8%	Limite plástico	18.1%
%Fino/limo	73.6%	Indice plástico	10.2%
Humedad Natural	13.3%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla baja plasticidad			

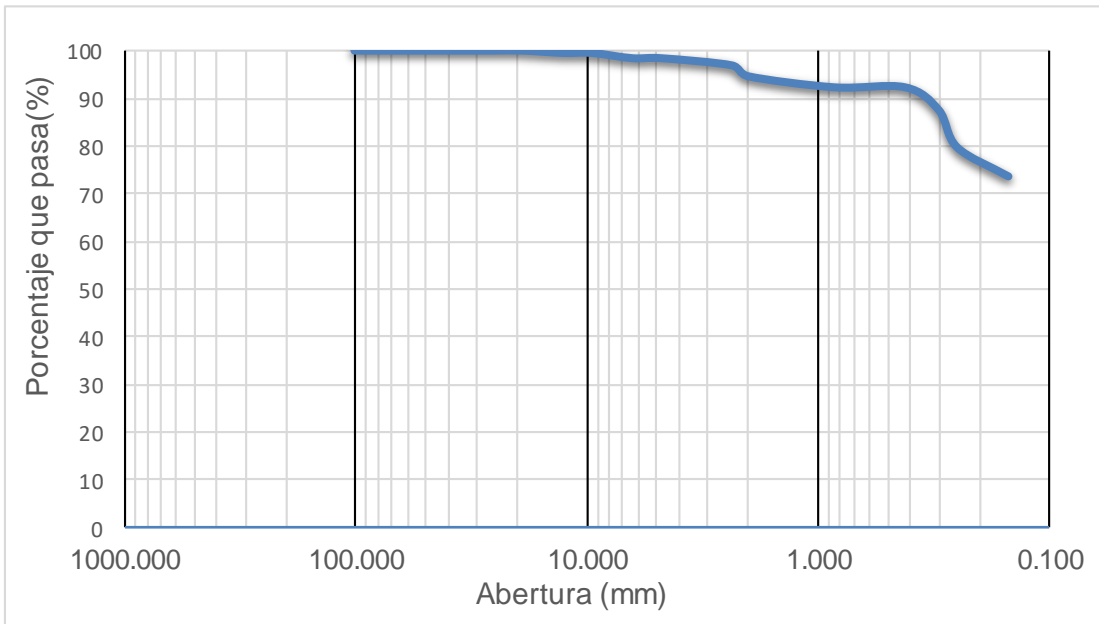


Figura 7: Curva granulométrica calicata 4-A

### Calicata 5.

Ubicada en el KM 4+089 m – Av. Cesar Vallejo intersección con la Av. Pumacahua, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 6:** Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 5

%grava	0.3%	Limite liquido	26.7%
%arena	39.3%	Limite plástico	15.3%
%Fino/limo	60.4%	Indice plástico	11.4%
Humedad Natural	11.9%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla baja plasticidad con arena			

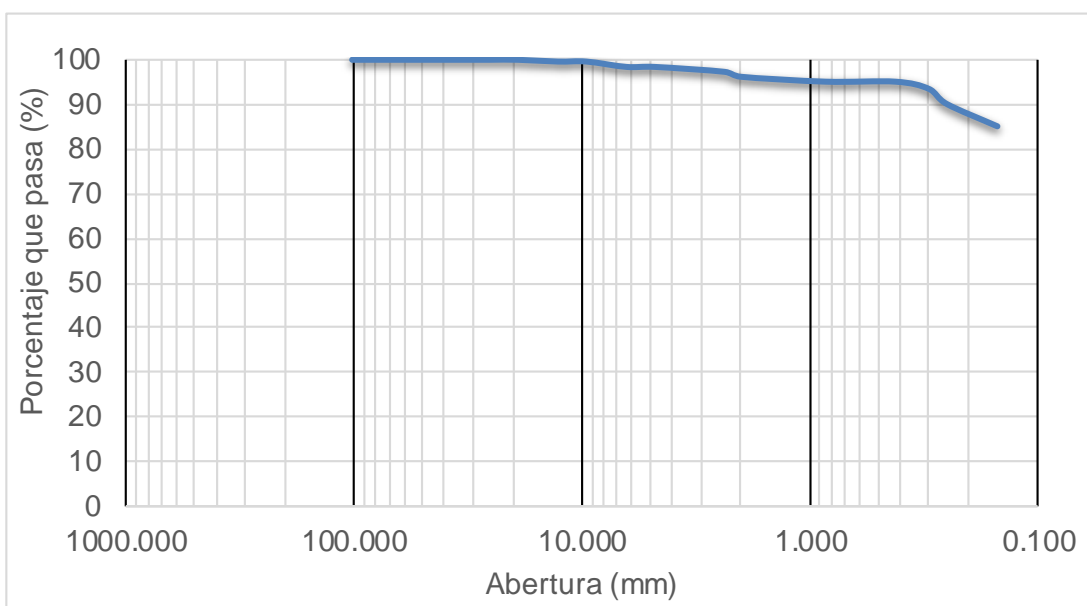


Figura 8: Curva granulométrica de calicata N° 5

### Calicata 4-B.

Ubicada en el KM 5+037m – Av. Pumacahua, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 7:** Resultados de ensayo granulométrico calicata N° 4-B

%grava	1.6%	Limite liquido	27.6%
%arena	13.3%	Limite plástico	18.4%
%Fino/limo	85.1%	Indice plástico	9.2%
Humedad Natural	2.4%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla baja plasticidad con arena			



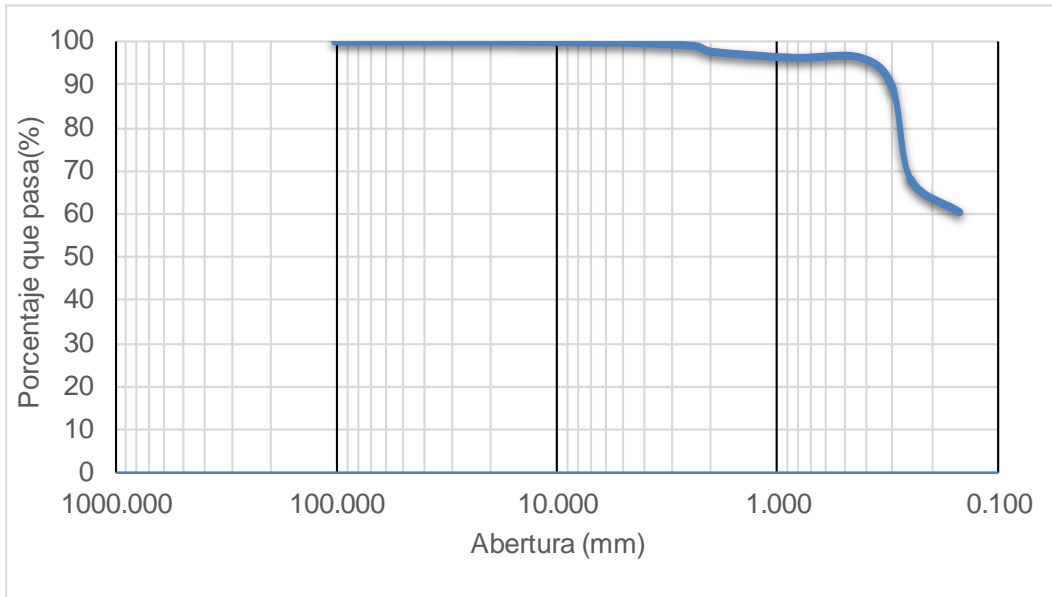


Figura 9: Curva de ensayo granulométrico de calicata N° 4-B

**Calicata 7.**

Ubicada en el KM 6+030m – Av. Pumacahua, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 8:** Resultados de ensayo granulométrico de calicata N° 7

%grava	0.3%	Limite liquido	28.1%
%arena	40.2%	Limite plástico	18.7%
%Fino/limo	85.1%	Indice plástico	9.3%
Humedad Natural	12.7%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla baja plasticidad con arena			

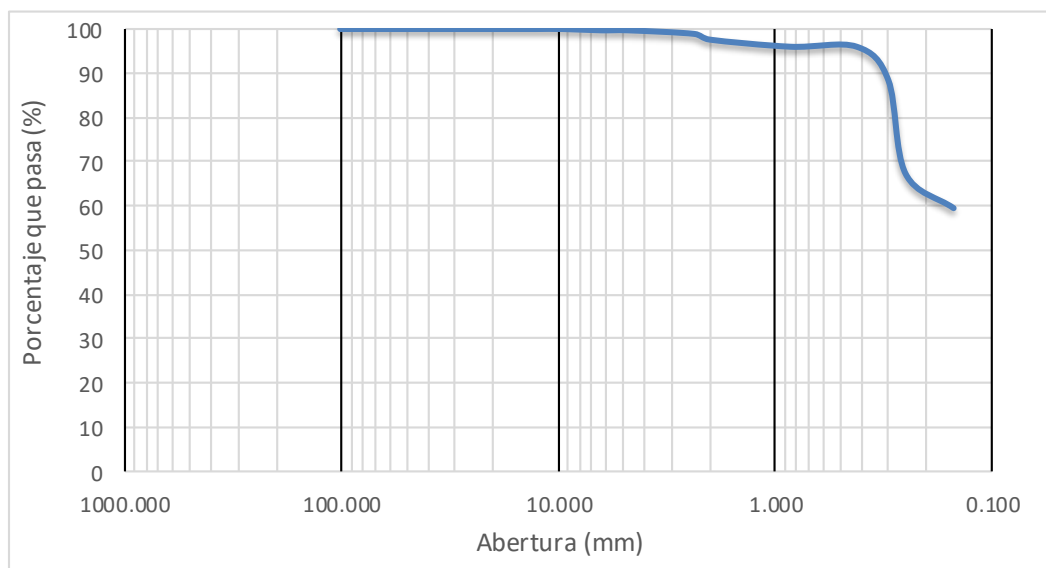


Figura 10: Curva granulométrica de calicata N° 7

### Calicata 8.

Ubicada en el KM 8+070 m – Ovalo Laredo, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 9:** Resultados de ensayos granulométrico calicata N° 8

%grava	0.1%	Limite liquido	30.6%
%arena	36.9%	Limite plástico	18.7%
%Fino/limo	63.0%	Indice plástico	19.9%
Humedad Natural	11.5%		
Descripción del suelo: Arena/arcilla baja plasticidad con arena			

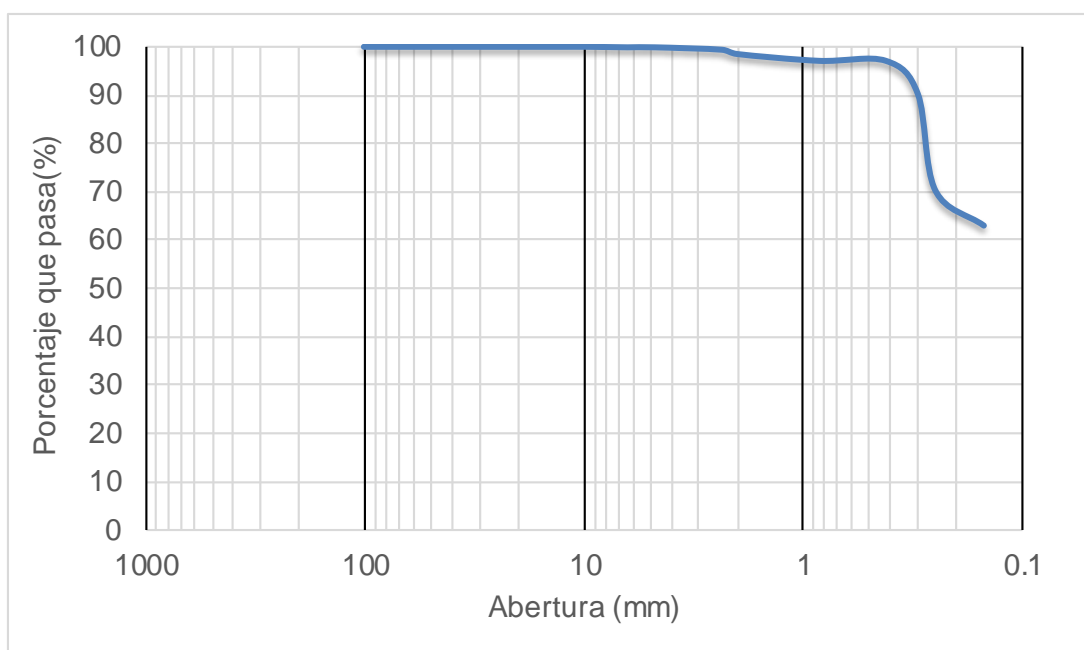


Figura 11: Curva granulométrica de calicata N° 8

### Calicata 9.

Ubicada en el KM 9 +070 m – Jirón la Merced - Laredo, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 10:** Resultados de ensayo granulométrico de calicata N° 9

%grava	0.3%	Limite liquido	23.6%
%arena	52.1%	Limite plástico	17.7%
%Fino/limo	47.7%	Indice plástico	5.9%
Humedad Natural	2.9%		
Descripción del suelo: Arena arcillosa limosa			

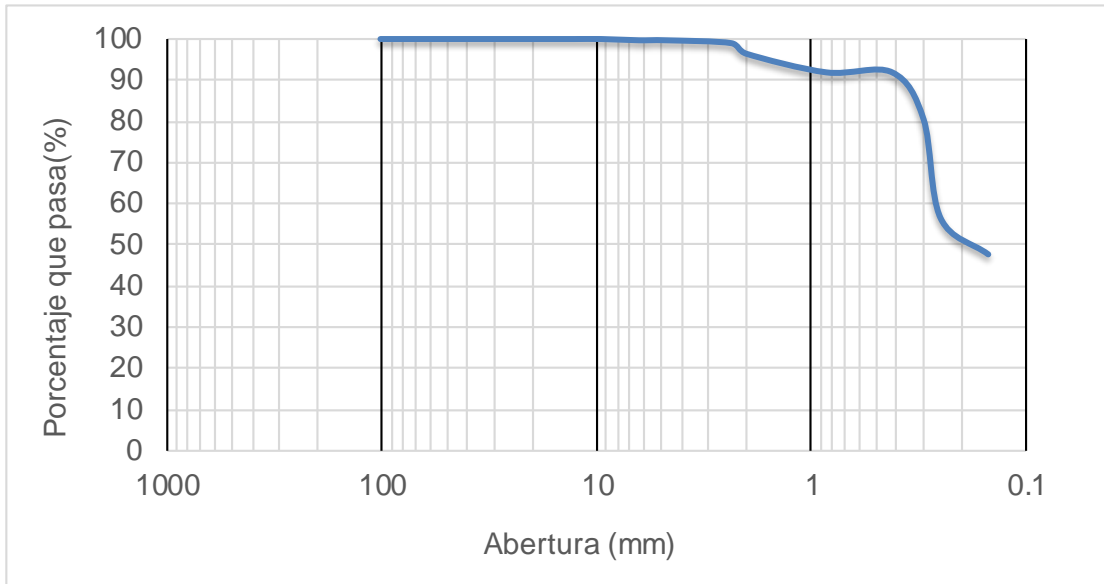


Figura 12: Curva granulométrica de calicata N° 9

**Calicata 10.**

Ubicada en el KM 10+070m – Jirón San Ignacio - Laredo, teniendo una profundidad de la calicata de 1.50 m.

**Tabla 11:** Resultado de ensayo granulométrico de calicata N° 10

%grava	0.2%	Limite liquido	21.2%
%arena	54.8%	Limite plástico	15.3%
%Fino/limo	45.0%	Indice plástico	5.8%
Humedad Natural	1.4%		
Descripción del suelo: Arena arcillosa limosa			

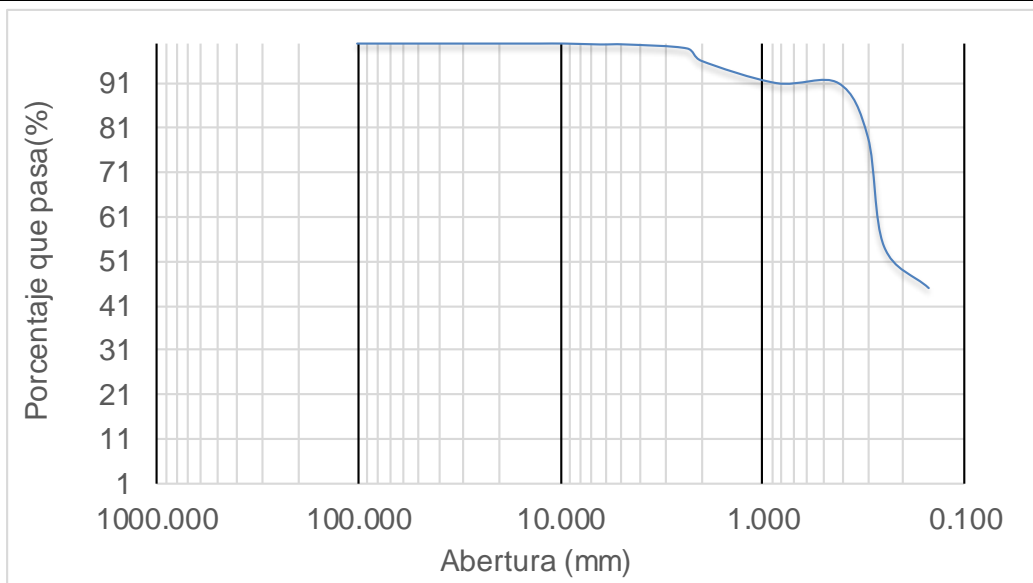


Figura 13: Curva granulométrica de calicata N° 10

#### 4.3. Propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica con polvo de caucho reciclado:

- **Laboratorio:**

Para evaluar las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica, se inició con un diseño, estudio realizado en el laboratorio de la facultad de ingeniería, laboratorio de materiales cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo.

- **Agregados:**

Los agregados que se utilizaron fueron proporcionados por el mismo laboratorio de la facultad de ingeniería, laboratorio de materiales cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo.

- **Polvo de Caucho y cemento asfáltico:**

Para el desarrollo del proceso constructivo del diseño de la mezcla asfáltica en el laboratorio se obtuvo el cemento asfáltico C.A. PEN 85/100, y el polvo de caucho reciclado se obtuvo de la empresa “Industriales Ramos. E.I.R.L”, registro de datos proporcionados por el laboratorio de materiales cerámicos de la Universidad Nacional de Trujillo.

##### 4.3.1. Trabajo Preliminar

- **Granulometría del agregado (Grueso).**

*Tabla 12. Resultados de ensayo granulométrico a agregado grueso.*

TAMIZ Pulg.	AB. (mm)	P. Rdo (g)	P.R(%)	ACUMULADO (%)			
				RETENIDO	Q'PASA	L INFERIOR	L SUPERIOR
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	0.0	100.0	100	100
1"	25.000	14.40	1.34	1.3	98.7	75	100
3/4"	19.000	54.44	5.07	6.4	93.6	35	95
1/2"	12.500	384.62	35.80	42.2	57.8	20	70
3/8"	9.500	272.15	25.33	67.5	32.5	10	50
Nº4	4.750	268.73	25.01	92.6	7.4	0	15
Nº8	2.360	77.98	7.26	99.8	0.2	0	5
Nº16	1.100	0.00	0.00	99.8	0.2	0	5
Nº30	0.600	0.00	0.00	99.8	0.2	0	0
Nº50	0.297	0.00	0.00	99.8	0.2	0	0
Nº100	0.149	0.00	0.00	99.8	0.2	0	0
Nº200	0.075	1.06	0.10	99.9	0.1		
Fondo	Fondo	0.93	0.09	100.0	0.0		
<b>PESO TOTAL</b>		1074.31	100				

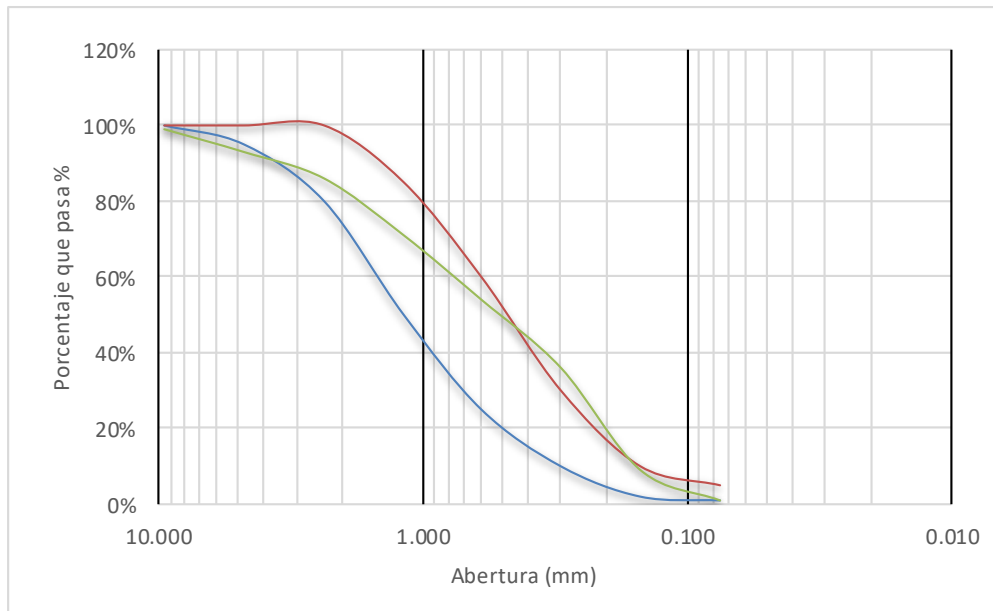
**Tabla 13:** Resumen de resultados de ensayo granulométrico agregado grueso

ACUMULADO (%)				CONDICIONAL
RETENIDO	PASANTE	L. INFERIOR	L. SUPERIOR	
0.0	100.0	100	100	CUMPLE
1.3	98.7	75	100	CUMPLE
6.4	93.6	35	95	CUMPLE
42.2	57.8	20	70	CUMPLE
67.5	32.5	10	50	CUMPLE
92.6	7.4	0	15	CUMPLE
99.8	0.2	0	5	CUMPLE
99.8	0.2	0	5	CUMPLE
99.8	0.2	0	0	
99.8	0.2	0	0	
99.8	0.2	0	0	
99.9	0.1			
100.0	0.0			

Módulo fineza del agregado grueso : 8.08%

Tamaño máximo nominal : 1"1/2

Tamaño mínimo nominal : T; 3/8"



**Figura 14:** Curva granulométrica del análisis del agregado grueso

- **Granulometría del agregado (Fino).**

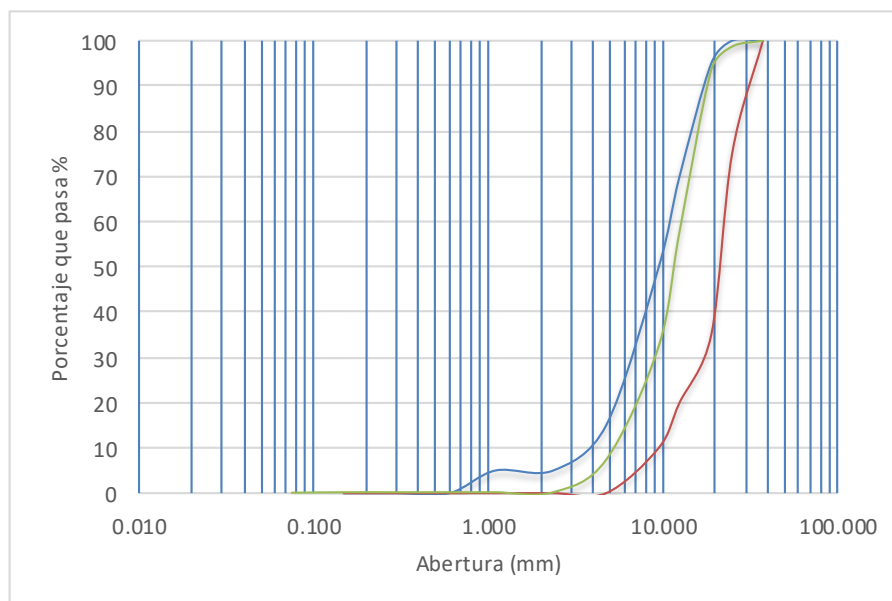
**Tabla 14:** Resultados de ensayo granulométrico agregado fino

TAMIZ		Peso Retenido (Kg)	Peso Retenido (%)	Retenido Acumulado (%)	Pasante Acumulado (%)
Pulg.	mm				
3/8"	9.500	3.81	0.00	1.00	99.00
N° 04	4.750	32.35	6.20	7.00	93.00
N° 08	2.360	37.89	7.26	14.00	86.00
N° 16	1.180	75.87	14.54	29.00	71.00
N° 30	0.600	90.38	17.33	46.00	54.00
N° 50	0.300	92.24	17.68	64.00	36.00
N° 100	0.150	144.31	27.67	91.00	9.00
N° 200	0.075	41.87	8.03	99.00	1.00
<b>FONDO</b>		2.91	0.56	100.00	0.00
<b>TOTAL</b>		521.63	99.27	100	-

**Tabla 15:** Resumen de resultados de ensayo granulométrico del agregado fino

TAMIZ		Límite Inferior	Pasante Acumulad o (%)	Límite Superior	Verificación
Pulg.	mm				
3/8"	9.500	100%	99.00%	100%	CUMPLE
N° 4	4.750	95%	93.00%	100%	CUMPLE
N° 8	2.360	80%	86.00%	100%	CUMPLE
N° 16	1.180	50%	71.00%	85%	CUMPLE
N° 30	0.600	25%	54.00%	60%	CUMPLE
N° 50	0.300	10%	36%	30%	CUMPLE
N° 100	0.150	2%	9.00%	10%	CUMPLE
N° 200	0.075	1%	1.00%	5%	CUMPLE

Módulo de fineza: 3.50%



**Figura 15:** Curva granulométrica del análisis del agregado fino

- **Cemento Asfáltico**

El cemento asfáltico es una sustancia viscosa que tiene un uso directo en el diseño de pavimentos debido a sus propiedades, este presenta porcentaje de aglutinantes, es impermeabilizante, es flexible, y presenta durabilidad y alta resistencia a los ácidos, este se clasifica de acuerdo a su consistencia o por su penetración PEN.

**Tabla 16:** Composición química del cemento asfáltico

<b>CEMENTO ASFALTICO</b>	<b>PEN 85/100</b>
Asfalteno	19.7%
Saturados	25.0%
Naftenos Aromáticos	38.1%
Polar Aromáticos	17.2%

#### 4.3.2. Diseño de la mezcla asfáltica

##### **Material o agregado grueso (3/4"):**

El procesamiento de los agregados gruesos sometidos a ensayos de laboratorio mediante SO<sub>4</sub>Mg, para determinar la durabilidad basándose en la norma técnica ASTM – C88 (MTC E 209), se obtuvo un valor de 3.81% el cual resulta ser un porcentaje inferior de acuerdo a la norma técnica ASTM C88 / MTC E 209, correspondiente al ensayo de abrasión los ángeles se obtuvo un porcentaje de 23.7% resultando ser un porcentaje inferior al límite superior referido a la norma técnica ASTM C-131, de acuerdo al resultado referente a la adherencia en el ensayo a este material se obtuvo un nivel de confianza de +96% según lo especificado en la norma técnica MTC E 520 (referente a la norma I.N.V.E. – 740 – 07), así mismo el resultado del ensayo de índice de durabilidad fue de 78% deduciendo que es un porcentaje superior al que registra la norma técnica MTC E 214, como resultado de las partículas alargadas y chatas ante el ensayo se obtuvo 1.10% inferior al porcentaje establecido en la norma ASTM D – 471, así mismo el porcentaje de caras fracturadas son; con una cara de fractura 18.9%, con dos caras de fractura 18.6%, siendo este menor al porcentaje superior establecido en la norma MTC E 210 (ASTM D – 5821), el resultado de las sales solubles es de 0.07%, siendo este un resultado inferior al establecido según norma

técnica MTC E 219, como ensayo final para este material se realizó el ensayo de absorción, teniendo como resultado un 0.02% menor al establecido en la norma NTP. 400.022/ASTM C127.

**Material o agregado fino (arena):**

Del material fino ensayado en el laboratorio se muestra un equivalente de arena de 9%, así mismo este es un porcentaje mayor al estimado en la norma técnica ASTM D 2419, así mismo se determinó el contenido de humedad obteniendo 1.4% siendo este menor al especificado en la NTP.329.185/ASTM C566, el módulo de fineza de este material ensayado es 3.5%, siendo menor al especificado en la norma técnica ASTM C33, asimismo el índice de durabilidad de la arena fina es 12.88%, siendo este inferior de acuerdo a la norma técnica ASTM – C88 (MTC E 209).

**4.3.3. Mezcla asfáltica y sus propiedades**

Se realizó diferentes dosificaciones de mezclas asfálticas para verificar la rigidez óptima, en la evaluación tenemos el resultado que a continuación se presentará, la cual será registrada como mezcla patrón ante las mezclas que llevaran el uso del caucho:

**Tabla 17:***Diseño de mezcla asfáltica con agregados pétreos*

Materiales (Agregados)	Diseño MAC-2
Grava de 3/4"	45%
Grava de 1/2"	0.0%
Grava de 3/8"	0.0%
Arena (gr)	55.0%
Cemento Asfáltico	5.00%
Aditivo de mejor adherencia	0.5%

**4.3.4. Resultados obtenidos de la composición asfáltica convencional**

La elaboración de nuestra mezcla asfáltica convencional utilizando el diseño de Marshall y realizando la comparación de las descripciones descritas en las normas técnicas del MTC, y los productos generados en el laboratorio registró las características siguientes:



Se obtuvo una briqueta o probeta asfáltica compactada con 75 golpes, determinando una estabilidad de 8.191 KN ( $8191N = 834.96 \text{ Kg}$ ), siendo mayor a lo especificado en la norma diseño Marshall del MTC, con un índice de flujo de 9.65, el cual se encuentra dentro del parámetro (8 – 14), también obtuvimos un porcentaje de vacíos con aire de 3.787%, encontrándose al límite del porcentaje de vacíos requerido en la norma (3 – 5), así mismo se pudo obtener un porcentaje de vacíos en el agregado mineral de 14.292%, cumpliendo con el mínimo requerido de acuerdo a la norma especificada, siendo esta de  $\geq 14\%$ , y como últimos resultados, obtuvimos un índice de rigidez Marshall de 3460.97 Kg/cm, resultado que se ubica dentro de los parámetros siendo estos de 1700 Kg/cm a 4000 Kg/cm, de acuerdo a los ensayos elaborados se concluye que los resultados enmarcan un diseño de carpeta asfáltica óptima, satisfaciendo los parámetros técnicos especificados en el MTC.

**Tabla 18:** *Diseño de mezcla asfáltica convencional*

Diseño Marshall MTC E 504			
Criterios de diseño	Según Norma	Resultados	Observaciones
Número de golpes – para compactación	75	75	<b>Cumple</b>
Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	8.191 kN	<b>Cumple</b>
Flujo 0.01" (0.25mm)	8 – 14	9.650	<b>Cumple</b>
Porcentaje de vacíos con aire	3 – 5	3.787%	<b>Cumple</b>
Vacíos en agregado mineral	$\geq 14\%$	14.292%	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad y Flujo (Kg/cm)	1700 – 4000	3460.97	<b>Cumple</b>

#### 4.3.5. Resultados obtenidos de la composición asfáltica con polvo de caucho reciclado

- **Polvo de caucho reciclado:**

El polvo de caucho reciclado, es un material proveniente de las llantas que han llegado a su tiempo de vida útil como comúnmente se le conoce (NFU), a este material no se le aplicó ningún ensayo de granulometría puesto que siendo este polvo de caucho cumple con las especificaciones técnicas pasar por un tamiz # 200.

- **Composición asfáltica con dosificación de polvo de caucho reciclado al 1%.**

La dosificación para la composición de la mezcla asfáltica con caucho se realizó diferentes ensayos, de los cuales solo se cambió la altura de las briquetas para determinar sus componentes. Dicha dosificación se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 19:** Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 1%

Diseño Marshall MTC E 504			
Criterios de diseño	Según Norma	Resultados	Observaciones
Número de golpes – para compactación	75	75	<b>Cumple</b>
Estabilidad	8,15 kN	9.280 kN	<b>Cumple</b>
Flujo 0.01" (0.25mm)	8 – 14	9.38	<b>Cumple</b>
% de vacíos con aire	3 – 5	3.91%	<b>Cumple</b>
Vacíos en agregado mineral	≥14%	14.40%	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad y Flujo	1700 – 4000	2512	<b>Cumple</b>

- **Composición asfáltica con dosificación de polvo de caucho reciclado al 1.5%.**

**Tabla 20:** *Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 1.5%*

Diseño Marshall MTC E 504			
Criterios de diseño	Según Norma	Resultados	Observaciones
Número de golpes – para compactación	75	75	<b>Cumple</b>
Estabilidad	8,15 kN	9.860 kN	<b>Cumple</b>
Flujo 0.01" (0.25mm)	8 – 14	9.71	<b>Cumple</b>
% de vacíos con aire	3 – 5	3.12%	<b>Cumple</b>
Vacíos en agregado mineral	≥14%	13.70%	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad y Flujo	1700 – 4000	2579	<b>Cumple</b>

- **Composición asfáltica con dosificación de polvo de caucho reciclado al 2%.**

**Tabla 21:** *Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 2%*

Diseño Marshall MTC E 504			
Criterios de diseño	Según Norma	Resultados	Observaciones
Número de golpes – para compactación	75	75	<b>Cumple</b>
Estabilidad	8,15 kN	10.57 kN	<b>Cumple</b>
Flujo 0.01" (0.25mm)	8 – 14	10.53	<b>Cumple</b>
% de vacíos con aire	3 – 5	3.12%	<b>Cumple</b>
Vacíos en agregado mineral	≥14%	14.69%	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad y Flujo	1700 – 4000	2549	<b>Cumple</b>

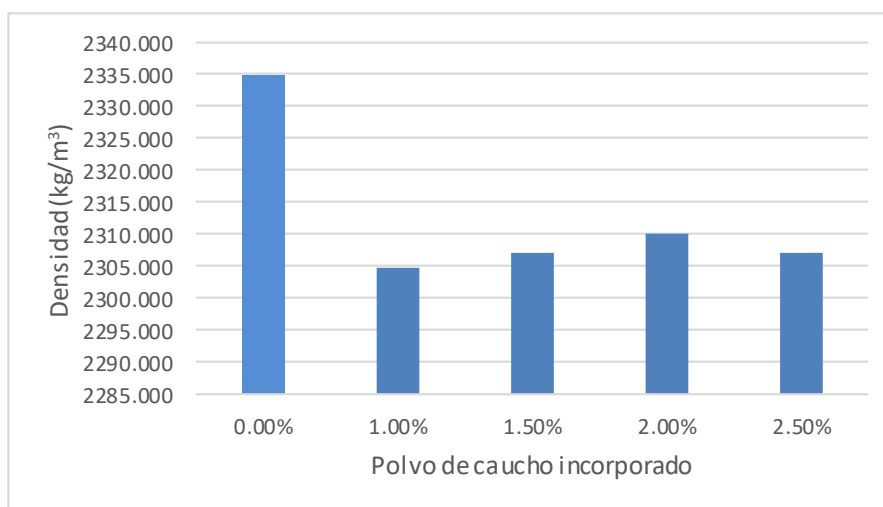
- **Composición asfáltica con dosificación de polvo de caucho reciclado al 2.5%.**

**Tabla 22:** Diseño de mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado al 2.5%

Diseño Marshall MTC E 504			
Criterios de diseño	Según Norma	Resultados	Observaciones
Número de golpes – para compactación	75	75	<b>Cumple</b>
Estabilidad	8,15 kN	10.91 kN	<b>Cumple</b>
Flujo 0.01” (0.25mm)	8 – 14	11.72	<b>Cumple</b>
% de vacíos con aire	3 – 5	4.91%	<b>Cumple</b>
Vacíos en agregado mineral	≥14%	15.29%	<b>Cumple</b>
Relación Estabilidad y Flujo	1700 – 4000	2364	<b>Cumple</b>

#### 4.4. Comparación de las propiedades mecánicas de una carpeta asfáltica convencional y modificada con polvo caucho reciclado:

**Densidad:**



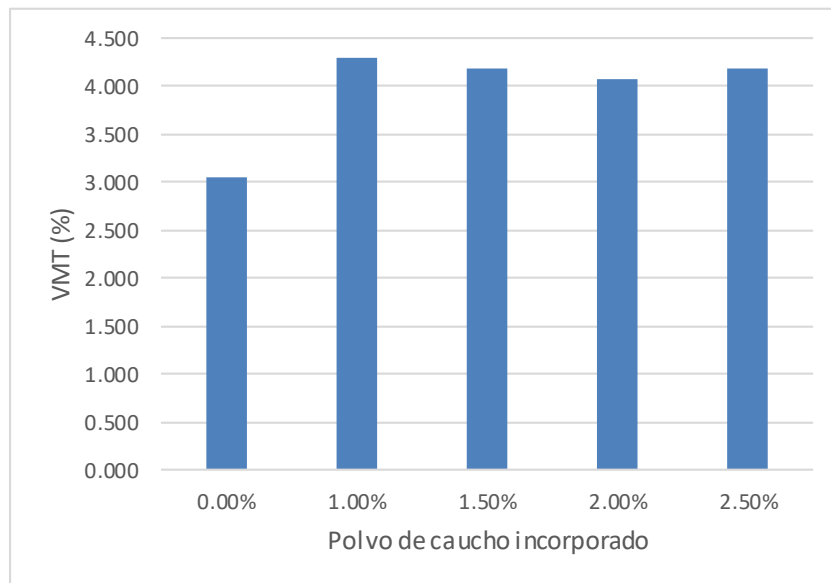
*Figura 16. Diagrama de barras para la comparación de densidades en la mezcla asfáltica.*

En la figura 16 se observa que la densidad en la mezcla convencional es mayor con 2334.941 kg/m<sup>3</sup> en comparación con las demás briquetas en las que se incorporó 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.5% de polvo de caucho.

También se observa que a más porcentaje de caucho incorporado la densidad aumenta, pero esto se cumple hasta con una incorporación del 2.00% ya que con 2.50% la densidad disminuye a 2307.183 kg/m<sup>3</sup>.

La mezcla asfáltica con 1.00% de caucho tiene una diferencia de densidad de 30.119 kg/m<sup>3</sup> respecto a la mezcla patrón. Cabe mencionar que la norma no establece mínimos y máximos respecto a la densidad.

**Porcentaje vacíos de aire (VMT):**



*Figura 17. Diagrama de barras para la comparación de (%VMT) de vacíos en la mezcla asfáltica patrón respecto a la mezcla incorporada con caucho reciclado.*

En la figura 17 se muestra la variación de porcentaje de vacíos de aire (VMT), se puede ver que las mezclas con incorporación del 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.5% de polvo de caucho reciclado están por encima del resultado de la mezcla convencional. Es importante mencionar que todos los valores obtenidos están dentro de los parámetros (3%-5%) del diseño Marshall MTC E 504 y la mezcla asfáltica que tiene menor porcentaje de vacíos de aire será menos susceptible a la humedad, evitando el ingreso del agua. Pero un contenido de vacíos menor al parámetro de diseño puede causar exudación de asfalto. Por lo tanto, la mezcla patrón con 3.050% de vacíos de aire es la que más se acerca al parámetro mínimo (3%).

### Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA):

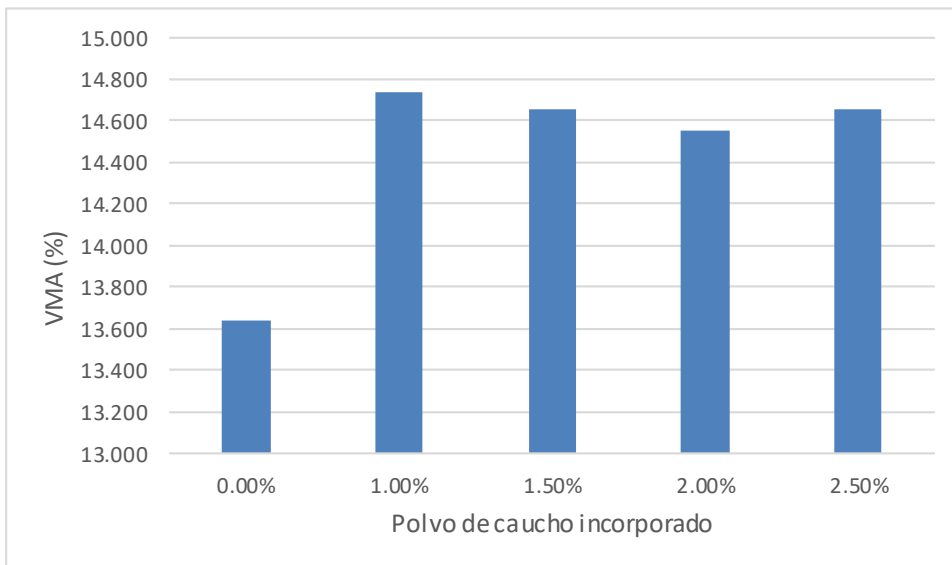
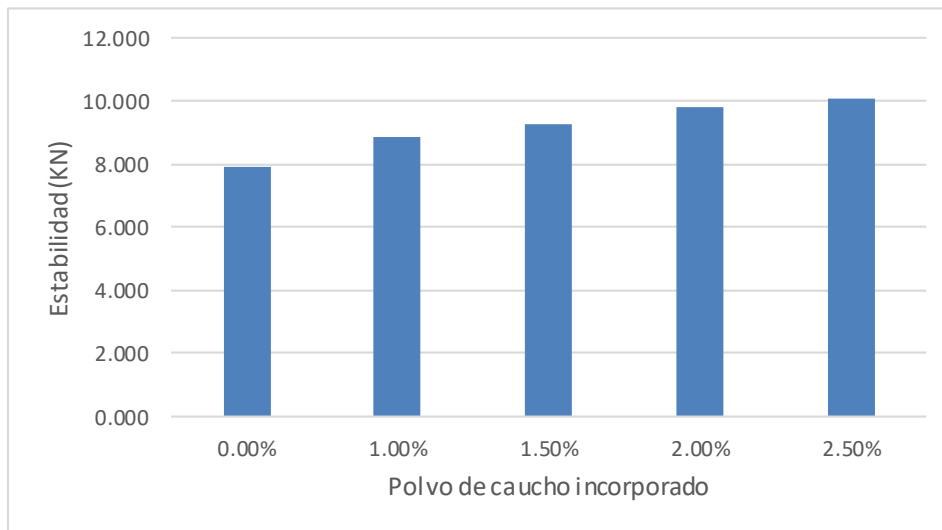


Figura 18. Comparación de vacíos en el agregado mineral (VMA).

En la figura 18 se muestra la variación de porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), se puede ver que las mezclas con incorporación del 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.5% de polvo de caucho reciclado están por encima del resultado de la mezcla convencional y cumplen con el parámetro especificado (mínimo 14%). Cabe mencionar que la mezcla patrón no cumple con el parámetro mínimo debido a que tiene 13.636%.

La mezcla asfáltica con el porcentaje de vacíos en el agregado mineral bajos tendrá la película de asfalto delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Por otro lado, si hay alto porcentaje de VMA la película del asfalto será más gruesa y la mezcla será más durable. Por lo tanto, la mezcla que tiene incorporado 1.00% de polvo de caucho reciclado con 14.736% de vacíos en el agregado mineral es la que más cumple con la condición.

## Estabilidad:



*Figura 19. Comparación de estabilidad en mezcla convencional y modificada con caucho.*

En la figura 19 se visualiza que la estabilidad es directamente proporcional al porcentaje de caucho reciclado, ya que la mezcla tiene mayor estabilidad a medida que aumenta el porcentaje de caucho incorporado. Además, las mezclas con incorporación del 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.50% de polvo de caucho reciclado están por encima del resultado de la mezcla convencional y cumplen con el parámetro especificado (mínimo 8.15 KN). Cabe mencionar que la mezcla patrón no cumple con el parámetro debido a que tiene 7.892 KN.

La mezcla con 2.50% de caucho incorporado incrementa la resistencia en 2.163 KN (27.4%) con respecto a la mezcla patrón, esto quiere decir que va a ser capaz de mantener su forma bajo las cargas del tránsito y va a tener mayor capacidad en resistir los desplazamientos y las deformaciones.

### Índice de flujo (mm):

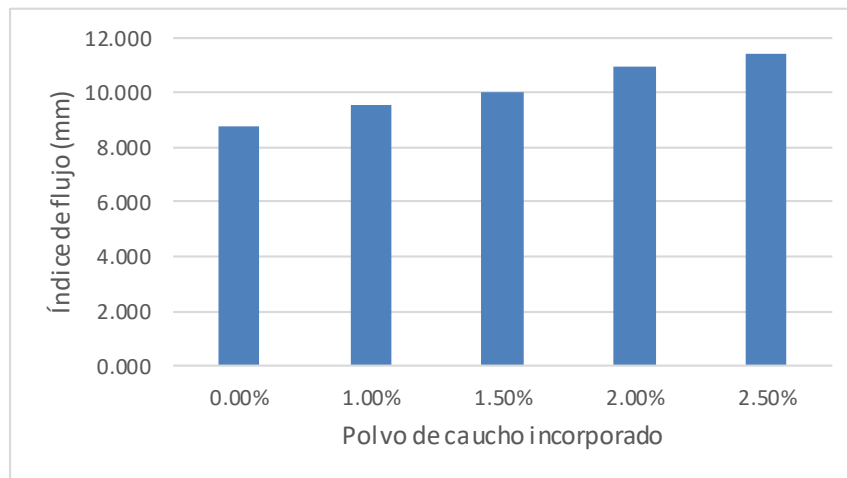


Figura 20. Comparación de índice de flujo (mm) en mezcla convencional y modificada con caucho.

En la figura 20 se observa que el flujo en las mezclas con incorporación del 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.50% de polvo de caucho reciclado son superiores con respecto a la mezcla convencional, además todos los resultados cumplen con los parámetros (8 mm - 16 mm) del diseño Marshall MTC E 504.

También se aprecia que el resultado de la mezcla con incorporación del 2.50% de caucho incrementa el flujo en 2.592 mm (29.45%) con respecto a la mezcla patrón.

### Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA):

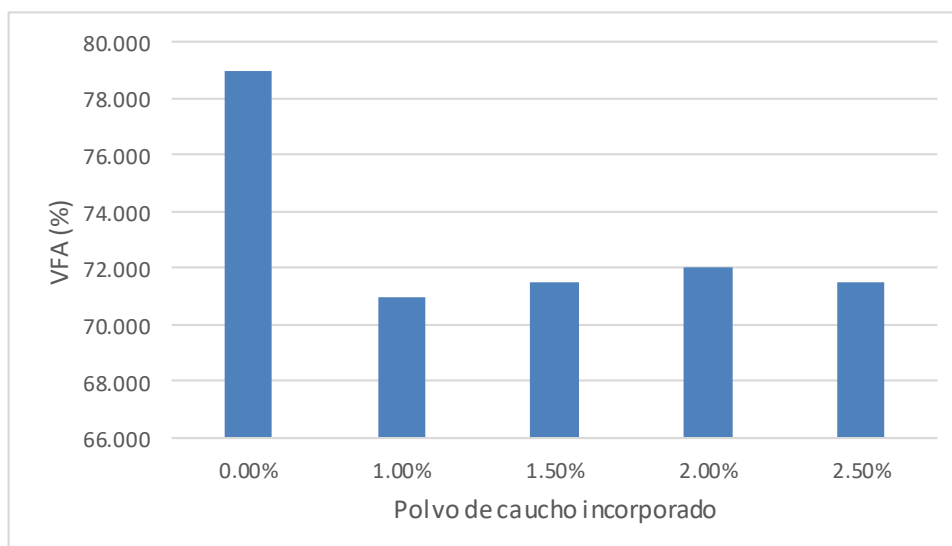


Figura 21. Comparación de vacíos llenos de asfalto (VFA) en mezcla convencional y modificada con caucho.



En la figura 21 se muestra que el porcentaje de vacíos llenos de asfalto en la mezcla convencional es mayor con 78.964 % en comparación con las demás briquetas en las que se incorporó 1.00%, 1.50%, 2.00% y 2.5% de polvo de caucho. También se observa que a más porcentaje de caucho incorporado el porcentaje de vacíos llenos de asfalto aumenta, pero esto se cumple hasta con una incorporación del 2.00% ya que con 2.50% el porcentaje de vacíos llenos de asfalto disminuye a 71.538%.

La mezcla asfáltica con 1.00% de caucho tiene una diferencia de VFA de 8.009% respecto a la mezcla patrón. Cabe mencionar que la norma no establece mínimos y máximos respecto a la densidad.

#### 4.5. Prueba de hipótesis

**Tabla 23.** Datos estadísticos descriptivos de la densidad real

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	2334,94075	47,797051	23,898525	2258,88498	2410,99652	2300,319	2405,670
Caucho al 1%	4	2304,82200	9,113643	4,556821	2290,32016	2319,32384	2293,892	2313,797
Caucho al 1.5%	4	2307,05325	17,638978	8,819489	2278,98570	2335,12080	2293,633	2332,521
Caucho al 2.0%	4	2310,15725	13,287043	6,643521	2289,01460	2331,29990	2296,237	2328,074
Caucho al 2.5%	4	2307,18250	18,491088	9,245544	2277,75905	2336,60595	2290,272	2331,812
Total	20	2312,83115	25,228780	5,641327	2301,02372	2324,63858	2290,272	2405,670

En la tabla N° 13, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, densidad real para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, las diferencias no se pueden observar notoriamente en los grupos todas parecen ser muy cercanas o similares, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 24. Prueba de homogeneidad de varianzas**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,937	4	15	,056

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.056 > 0.05$ , por lo tanto, se afirma que no existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 25. Análisis de Varianza ANOVA**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2501,688	4	625,422	,978	,449
Dentro de grupos	9591,648	15	639,443		
Total	12093,336	19			

La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 0,978$  con un  $P - \text{value} = 0.449 > 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que no hay diferencias en las medias poblacionales del indicador Densidad Real en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica.

**Tabla 26. Estadísticos descriptivos del % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada VMT**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	3,04950	1,998624	,999312	-,13076	6,22976	,091	4,492
Caucho al 1%	4	4,28500	,382222	,191111	3,67680	4,89320	3,911	4,742
Caucho al 1.5%	4	4,19150	,738619	,369309	3,01619	5,36681	3,122	4,742
Caucho al 2.0%	4	4,07725	,555064	,277532	3,19402	4,96048	3,330	4,659
Caucho al 2.5%	4	4,19175	,777145	,388573	2,95514	5,42836	3,164	4,908
Total	20	3,95900	1,051748	,235178	3,46677	4,45123	,091	4,908

En la tabla N° 26, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, % de vacíos de aire en la mezcla compactada para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, parece existir una cierta o ligera diferencia numérica para los distintos niveles, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 27.** Prueba de homogeneidad de varianzas % de vacíos de aire en la mezcla VMT

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,950	4	15	,055

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.055 > 0.05$ , por lo tanto, se afirma que no existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 28.** Análisis de Varianza ANOVA % Vacíos de aire en la mezcla compactada VMT

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	4,223	4	1,056	,943	,466
Dentro de grupos	16,795	15	1,120		
Total	21,017	19			

La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 0,943$  con un  $P - \text{value} = 0.466 > 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que no hay diferencias en las medias poblacionales del indicador % Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada VMT en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica.

**Tabla 29. Estadísticos descriptivos del % Vacíos en el Agregado Mineral VMA**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	13,63550	1,780478	,890239	10,80236	16,46864	11,000	14,921
Caucho al 1%	4	14,73600	,340454	,170227	14,19426	15,27774	14,403	15,143
Caucho al 1.5%	4	14,65275	,657987	,328993	13,60575	15,69975	13,700	15,143
Caucho al 2.0%	4	14,55100	,494565	,247283	13,76404	15,33796	13,885	15,069
Caucho al 2.5%	4	14,65275	,692454	,346227	13,55090	15,75460	13,737	15,291
Total	20	14,44560	,936939	,209506	14,00710	14,88410	11,000	15,291

En la tabla N° 29, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, % Vacíos en el Agregado Mineral VMA para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, las diferencias no se pueden observar notoriamente en los grupos todas parecen ser muy cercanas o similares, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 30. Prueba de homogeneidad de varianzas**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,949	4	15	,055

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.055 > 0.05$ , por lo tanto, se afirma que no existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 31. Análisis de Varianza ANOVA % vacíos en agregado mineral VMA**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,350	4	,838	,943	,466
Dentro de grupos	13,329	15	,889		
Total	16,679	19			

La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 0,943$  con un  $P - \text{value} = 0.466 > 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que no hay diferencias en las medias poblacionales del indicador % Vacíos en el Agregado Mineral VMA en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica.

**Tabla 32:** Estadísticos descriptivos de la Estabilidad Corregida KN

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Min	Max
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	7,89225	,652486	,326243	6,85400	8,93050	6,914	8,240
Caucho al 1%	4	8,87500	,538052	,269026	8,01884	9,73116	8,260	9,370
Caucho al 1.5%	4	9,27500	,672731	,336365	8,20454	10,34546	8,510	9,860
Caucho al 2.0%	4	9,79750	,942386	,471193	8,29795	11,29705	8,730	10,610
Caucho al 2.5%	4	10,05500	,916679	,458339	8,59636	11,51364	9,080	10,910
Total	20	9,17895	1,034095	,231231	8,69498	9,66292	6,914	10,910

En la tabla N° 32, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, Estabilidad Corregida KN para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, parece existir una cierta o ligera diferencia numérica para los distintos niveles, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 33.** Prueba de homogeneidad de varianzas

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
2,239	4	15	,114

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.114 > 0.05$ , por lo tanto, se afirma que no existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 34:** *Análisis de Varianza ANOVA estabilidad corregida KN*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11,629	4	2,907	5,019	,009
Dentro de grupos	8,689	15	,579		
Total	20,318	19			

La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 5,019$  con un  $P - \text{value} = 0.009 < 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que, en este caso, si hay diferencias en las medias poblacionales del indicador Estabilidad Corregida KN en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica. Por lo tanto, en este indicador de la variable dependiente se pueden realizar las pruebas de comparaciones múltiples entre promedios para saber quiénes son iguales o diferentes entre sí, y establecer cuál de los grupos puede ser descrito como el mejor.

**Tabla 35.** *Comparación múltiple de promedios mediante la prueba de Tukey y Duncan para la Estabilidad Corregida KN*

	Grupos de la variable Factor	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey	Sin Caucho al 5%	4	7,89225	
	Caucho al 1%	4	8,87500	8,87500
	Caucho al 1.5%	4	9,27500	9,27500
	Caucho al 2.0%	4		9,79750
	Caucho al 2.5%	4		10,05500
	Sig.			,127
Duncan	Sin Caucho al 5%	4	7,89225	
	Caucho al 1%	4	8,87500	8,87500
	Caucho al 1.5%	4		9,27500
	Caucho al 2.0%	4		9,79750
	Caucho al 2.5%	4		10,05500
	Sig.			,088

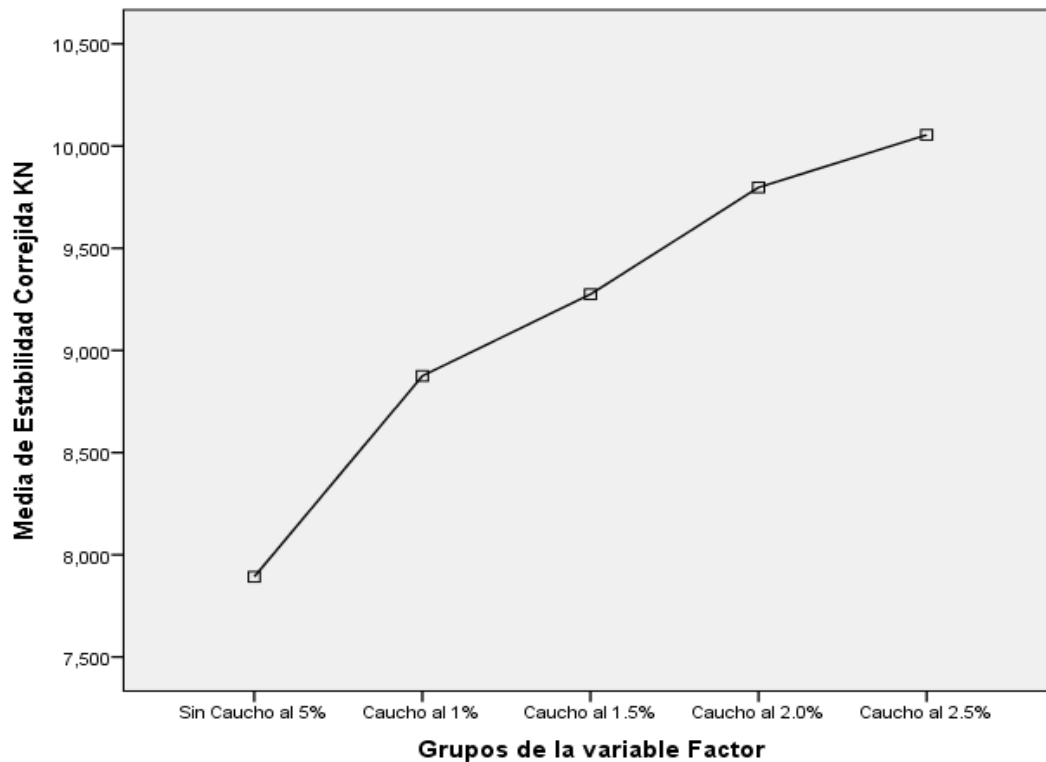


Figura 22. Gráfico de medias para los grupos diferentes en la variable Estabilidad Correjada KN.

Según los resultados de la tabla N° 25 y en complemento con el gráfico de medias de la prueba estadística, se puede inferir que existen dos subgrupos o subconjuntos de promedios a clasificar en la variable factor, con la prueba de comparación a posteriori de Duncan Y Tukey se puede observar los mismos resultados. Los promedios diferentes entre sí, parecen ser, todos aquellos de la mezcla asfáltica con ciertos niveles porcentuales de caucho en comparación con aquel tipo de mezcla sin caucho, también se puede notar, que los promedios de las mezclas con los niveles más bajo de caucho son iguales entre ellas, pero completamente diferentes con las mezclas que contiene niveles de porcentaje más altos, es decir, los niveles de 1.0% y 1.5% son muy diferentes a las mezclas de niveles en 2.0% y 2.5%. El gráfico parece mostrar claramente estas diferencias.

**Tabla 36. Estadísticos descriptivos del Índice de Flujo (mm)**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mín.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	8,80250	1,236645	,618323	6,83472	10,77028	7,130	9,820
Caucho al 1%	4	9,53250	,103722	,051861	9,36745	9,69755	9,380	9,610
Caucho al 1.5%	4	9,99000	,370855	,185427	9,39989	10,58011	9,710	10,520
Caucho al 2.0%	4	10,93750	,596287	,298144	9,98867	11,88633	10,530	11,810
Caucho al 2.5%	4	11,39500	,585178	,292589	10,46385	12,32615	10,640	11,970
Total	20	10,13150	1,139974	,254906	9,59798	10,66502	7,130	11,970

Fuente: elaboración propia.

En la tabla N° 26, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, Índice de Flujo (mm) para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, parece existir una cierta o ligera diferencia numérica para los distintos niveles, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 37: Prueba de homogeneidad de varianzas**

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
3,429	4	15	,035

Fuente: elaboración propia.

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.035 < 0.05$ , por lo tanto, se afirma que existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 38. Análisis de Varianza ANOVA Índice de flujo (mm)**

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17,565	4	4,391	9,242	,001
Dentro de grupos	7,127	15	,475		
Total	24,691	19			



La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 9,242$  con un  $P - \text{value} = 0.001 < 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que, en este caso, si hay diferencias en las medias poblacionales del indicador Índice de Flujo (mm) en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica. Por lo tanto, en este indicador de la variable dependiente se pueden realizar las pruebas de comparaciones múltiples entre promedios para saber quiénes son iguales o diferentes entre sí, y establecer cuál de los grupos puede ser descrito como el mejor.

**Tabla 39.** Comparación múltiple de promedios mediante la prueba de Turkey y Duncan para el índice de flujo (mm)

Grupos de la variable		Subconjunto para alfa = 0.05				
Factor	N	1	2	3	4	
HSD Tukey	Sin Caucho al 5%	4	8,80250			
	Caucho al 1%	4	9,53250	9,53250		
	Caucho al 1.5%	4	9,99000	9,99000	9,99000	
	Caucho al 2.0%	4		10,93750	10,93750	
	Caucho al 2.5%	4			11,39500	
	Sig.			,159	,073	,073
Duncan	Sin Caucho al 5%	4	8,80250			
	Caucho al 1%	4	9,53250	9,53250		
	Caucho al 1.5%	4		9,99000	9,99000	
	Caucho al 2.0%	4			10,93750	10,93750
	Caucho al 2.5%	4				11,39500
	Sig.			,155	,363	,071

Fuente: elaboración propia.

Según los resultados de la tabla N° 29 y en complemento con el gráfico de medias de la prueba estadística, se puede inferir en este caso, que existen diferentes subgrupos o subconjuntos de promedios a clasificar en la variable factor, con la prueba de comparación a posteriori de Duncan Y Tukey se puede observar los mismos resultados. Los promedios no parecen ser diferentes entre sí, cuando se toman por pares sucesivos, pero difieren estadísticamente con el promedio de un nivel superior en los grupos comparados dados por los tipos de mezcla asfáltica. Todos los niveles de mezcla asfáltica con ciertos niveles porcentuales de caucho en son completamente diferentes en comparación con aquel tipo de mezcla sin caucho, a excepción del nivel más bajo del 1%, donde puede existir la igualdad.

También, se puede notar, que los promedios de las mezclas con los niveles de 1.0% y 1.5% son iguales pero diferentes al resto, y así de forma similar, los promedios sucesivos entre ellos son iguales, pero distintos con los grupos restantes.

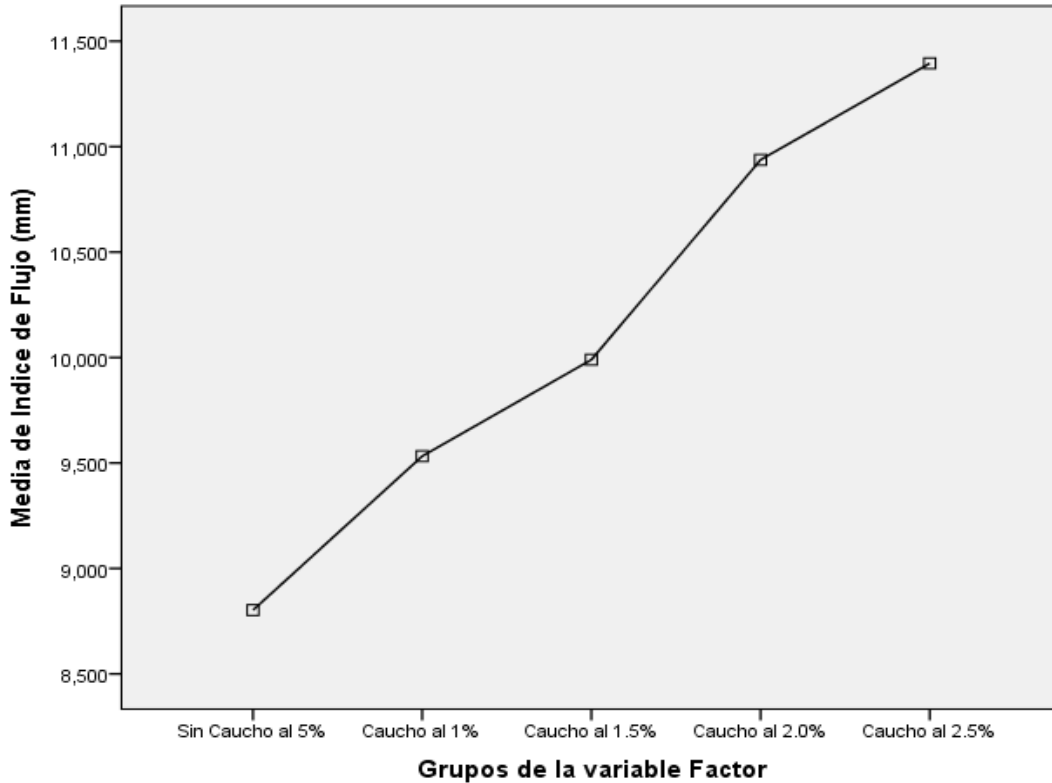


Figura 23. Gráfico de medias para los grupos diferentes en la variable Índice de Flujo (mm).

**Tabla 40: Estadísticos descriptivos del % Vacíos Llenos de Asfalto VFA**

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Min.	Máx.
					Límite inferior	Límite superior		
Sin Caucho al 5%	4	78,96350	13,574811	6,787406	57,36295	100,56405	69,891	99,174
Caucho al 1%	4	70,95525	1,914040	,957020	67,90959	74,00091	68,687	72,845
Caucho al 1.5%	4	71,52575	3,905516	1,952758	65,31120	77,74030	68,687	77,210
Caucho al 2.0%	4	72,05325	2,909735	1,454868	67,42321	76,68329	69,084	76,019
Caucho al 2.5%	4	71,53775	4,047805	2,023902	65,09679	77,97871	67,904	76,969
Total	20	73,00710	6,743177	1,507820	69,85120	76,16300	67,904	99,174

En la tabla N° 40, se observa toda la información descriptiva del indicador de la variable dependiente, % Vacíos Llenos de Asfalto VFA para los diferentes grupos o categorías que conforman la variable factor tipo o nivel de mezcla asfáltica, donde se puede ver, las medias y desviaciones típicas de las muestras diferentes de cada

grupo e intervalos de confianza para las medias poblacionales de dichos grupos. Entre las medias de la muestra, las diferencias no se pueden observar notoriamente en los grupos, todas parecen ser muy cercanas o similares, solo a excepción del promedio de mezcla asfáltica sin caucho donde el promedio es considerablemente superior a los demás, esta situación se debe comprobar con los valores de la prueba estadística.

**Tabla 41.** Prueba de homogeneidad de varianza % vacíos llenos de asfalto VFA

Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
4,106	4	15	,019

La prueba de homogeneidad de varianzas para comparar si existe igualdad en la variabilidad de la variable en los distintos grupos, nos muestra que la prueba no es significativa, es decir, no se debe rechazar la hipótesis de igualdad. El valor de significancia observada de la prueba  $P \text{ value} = 0.019 < 0.05$ , por lo tanto, se afirma que existen diferencias estadísticas en las varianzas de la variable para las diferentes categorías de la variable factor.

**Tabla 42.** Análisis de Varianza ANOVA % vacíos llenos de asfalto VFA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	179,808	4	44,952	,986	,445
Dentro de grupos	684,130	15	45,609		
Total	863,938	19			

La prueba estadística de comparación de medias poblacionales con la técnica de análisis de varianza (ANOVA) de un factor, muestra que, no existen diferencias significativas entre los promedios poblacionales. El estadístico de prueba  $F = 0,986$  con un  $P - \text{value} = 0.445 > 0,05$ , nos da sustento para afirmar estadísticamente, que no hay diferencias en las medias poblacionales del indicador % Vacíos Llenos de Asfalto VFA en los diferentes grupos que conforman los tipos de mezcla asfáltica.

## V. DISCUSIONES

- Al incorporarse 2.5% de polvo de caucho reciclado a la mezcla asfáltica convencional, la estabilidad aumentó en 33.19% y el porcentaje de vacíos de aire también se incrementó en 29.60%. Los incrementos en la estabilidad y en el porcentaje de vacíos de aire son mayores respecto a Flores (2018) quien establece en su investigación que con un 5% de caucho incorporado, la estabilidad aumenta en 8% y el porcentaje de vacíos de aire en 7%; con esto queda demostrado que el comportamiento de la mezcla asfáltica con respecto a estas características mejora, obteniendo una mayor durabilidad de la carpeta asfáltica. Además, cumple con los parámetros mínimos y máximos que establece el manual de carreteras: Especificaciones técnicas Generales para la construcción (EG) 2013, los cuales requieren de un mínimo 8.15 kN para la estabilidad y de 3% a 5% para el porcentaje de vacíos de aire.
- La óptima incorporación de caucho reciclado en esta investigación fue del 2.5%, utilizando cemento asfáltico PEN 85/100, 45% de grava de  $\frac{3}{4}$ " y 55% de arena; obteniendo una estabilidad de 10.91 kN, flujo de 11.72 mm y porcentaje de vacíos de 4.908%. Estos resultados son muy cercanos a los encontrados por Burgos y Rodríguez (2022) quienes obtuvieron que el óptimo contenido de caucho es del 1%, al utilizar cemento asfáltico PEN 60/70 e incorporando 60% arena y 40% piedra, con el cual se obtuvo una estabilidad de 10.87 kN, flujo de 8.72 mm y porcentaje de vacíos de 3.85% respectivamente. Esta cercanía de resultados evidencia que, aunque varíe el PEN, el porcentaje de arena y piedra, la incorporación de caucho mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente, acrecentando su estabilidad, y en cuanto al flujo y porcentaje de vacíos se mantiene dentro del rango de las especificaciones técnicas del Manual de Carreteras EG – 2013.

- En la presente investigación la mezcla convencional presentó una estabilidad de 7.89 KN, flujo de 8.80 mm y % vacíos de aire fue de 3.05%; por otro lado, la mezcla asfáltica modificada con polvo de caucho en esta investigación presentó una estabilidad de 10.07 KN, flujo de 11.40 mm y el % vacíos de aire fue de 4.19%. Los resultados son muy similares a los de Burgos y Rodríguez (2022) donde obtuvieron que la mezcla convencional presenta una estabilidad de 9.88 kN, flujo de 8.81 mm y %vacíos de aire fue de 3.81% respectivamente, en cuanto a la mezcla modificada con caucho presenta una estabilidad de 10.87 KN, flujo de 8.72 mm y %vacíos de aire fue de 3.85%.

Los resultados de esta investigación y los de Burgos y Rodríguez (2022) demuestran que la mezcla asfáltica modificada con caucho presenta mejores propiedades mecánicas con respecto a la mezcla convencional y cumplen con las especificado en el Manual de Carreteras EG – 2013.

## VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo al análisis topográfico de la zona de estudio, se pudo determinar la ubicación del desarrollo del presente proyecto, encontrándose ubicado en el departamento de la Libertad distrito de Trujillo, al oeste del océano pacífico, a 34 m.s.n.m., y el distrito de Laredo a 89 m.s.n.m.
- Luego de evaluar las muestras obtenidas de las diferentes calicatas realizadas se concluye que estas muestras presentan propiedades diferentes. De la calicata N° 1 se obtuvo, 0.8% de grava, 89.3% de arena y 9.9% entre limos y finos, determinando que el terreno presenta arena y limos, de los resultados obtenidos de la calicata N° 2 se determinó un 2.5% de grava, 16.4% de arena, finos y limos un 81.1%, así mismo se obtuvo un límite líquido de 32.1%, límite plástico 22.2% y un índice de plasticidad de 9.9% determinando que el suelo es arcilloso, de la calicata N° 3 se determinó un 0.2% de grava, 54.7% de arena 45.1% de finos y limos, con un límite plástico de 20.4%, un límite líquido de 16.7% y un 3.7% de índice plástico, determinando un suelo arenoso y limoso. De la calicata 4-A se obtuvo un ensayo con presencia de grava de 1.6%, 24.8% de arena y 73.6% de finos y limos, obteniendo un límite líquido de 28.2%, 18.1% de límite plástico, y un índice plástico de 12.2% obteniendo un resultado del ensayo que la arena tiene presencia de arcilla con baja plasticidad, para la calicata N° 5, tiene diferentes porcentajes de grava, arena y finos, pero el resultado es el mismo a la calicata anterior presentando este mismo resultado repetitivo hasta la calicata N°8, pero en los ensayos realizados en la calicata 9 y 10 se obtiene un resultado diferente tales como grava 0.3%, arena 52.1%, finos y limos 47.7%, teniendo presencia de índices de consistencia expresado en porcentajes de 23.6%, 17.7% y 5.9%, obteniendo un suelo con presencia de limos y arcillas.

- Las propiedades de la carpeta asfáltica obtenida al incorporar polvo de caucho reciclado se determinaron siguiendo ensayos y estudios realizados en el laboratorio de Ingeniería de materiales de la Universidad Nacional de Trujillo. Se logró determinar que al agregar polvo de caucho reciclado en porcentajes de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% en la mezcla asfáltica convencional, esta presenta mejorías en sus propiedades. En cuanto a las propiedades mecánicas, gracias a los ensayos realizados se determinó que, al incorporar polvo de caucho reciclado, proporciona un aumento de dureza expuesta al ambiente, proporciona una adherencia significativa a la carpeta asfáltica, mejora su absorción a sustancias, mejora su elasticidad para retornar a su forma inicial, proporciona una óptima durabilidad, así mismo proporciona un mejor índice de rigidez ante las cargas vehiculares.
- En base a la comparación de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica incorporando polvo de caucho reciclado y las propiedades de una mezcla asfáltica convencional: se logró determinar que la mezcla asfáltica con polvo de caucho reciclado proporciona efectos óptimos, estos resultados se encuentran dentro de los rangos mínimos y máximos establecidos en las normas técnicas ASTM D1559, MTC y NTP, obteniendo una estabilidad de 10.91KN, siendo esta superior a la mezcla asfáltica convencional (mezcla patrón), en un 72.3%, así mismo se obtuvo un flujo de 11.72 mm, siendo este mayor a la mezcla asfáltica convencional 29.45%, también se obtuvo un porcentaje de vacíos llenos de aire de 4.28%, encontrándose dentro de los parámetros de la norma ASTM D1559, MTC E 504, siendo este menor al 5%, del mismo modo el resultado obtenido correspondiente a vacíos en agregado mineral es 14.736%, encontrándose dentro de los parámetros establecidos sabiendo que el mínimo es 14% de acuerdo a la norma ASTM D1559, MTC E504.

## VII. RECOMENDACIONES

A la luz de la presente investigación referida a la incorporación caucho reciclado para mejorar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica convencional, se recomienda:

- Incorporar polvo de caucho reciclado en mezclas asfálticas porque contribuye en gran manera al medio ambiente, ya que, al reutilizar estos neumáticos, disminuirá significativamente la contaminación ambiental, y el daño que generan.
  
- Realizar ensayos con partículas caucho de diferentes proporciones para verificar si estas producen mejores resultados, que con las partículas estudiadas en la presente investigación.
  
- Ejecutar un proyecto de infraestructura vial utilizando el polvo de caucho reciclado, colocándose a tentativa en campo para poder verificar el comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con caucho cotejando con una mezcla asfáltica convencional.
  
- Para el diseño óptimo de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado se recomienda seguir las indicaciones descritas en la norma MTC EG-2013, puntualmente en la sección 415, pág.469 y estas también se relacionan con el artículo 413 de la norma técnica INVIAS.



## VIII. REFERENCIAS

ALIAGA, Yesenia. Aplicación del caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica en pavimentación de la Av. Bertello, Santa Rosa, Lima 2017. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21730/Aliaga\\_BYM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/21730/Aliaga_BYM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ASTM, 2015, ASTM C29, Método de Ensayo Normalizado para determinar la densidad aparente (peso unitario) e índice de huecos en los áridos. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en <https://pdfcoffee.com/astm-c29-peso-unitario-pdf-free.html>

ASTM, 2013, ASTM C88, Método de prueba estándar para determinar la solidez de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en <https://es.scribd.com/document/517045644/ASTM-C88-espanol-1>

ASTM, 2015, ASTM C127, Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica) y Absorción de Agregado Grueso. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en <https://es.slideshare.net/Jayagupta286/resumen-astm-c127>

ASTM, 2006, ASTM C131, Método de ensayo normalizado para la resistencia a la degradación de los agregados gruesos en tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

ASTM, 2019, ASTM C566, Método de prueba estándar para el contenido de humedad evaporable del agregado por secado. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.astm.org/standards/c566>

ASTM, 2014, ASTM D 422, Análisis Granulométrico por Tamizado. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://es.slideshare.net/Alexander159/analisis-granulometrico-por-tamizado-38024430>

ASTM, 2015, ASTM D 1559, Método Marshall. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en <https://1library.co/article/metodo-marshall-astm-d-dise%C3%B1o-mezcla-asf%C3%A1ltica-caliente.q5w3pdwq>

ASTM, 2019, ASTM D4791-19, Método de prueba estándar para las partículas planas, partículas alargadas o partículas planas y alargadas en el agregado grueso. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2022].

Disponible en <https://1library.co/article/metodo-marshall-astm-d-dise%C3%B1o-mezcla-asf%C3%A1ltica-caliente.q5w3pdwq>

ARROYO, P. et al. Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin neumáticos de desecho. Revista ingeniería de construcción [en línea]. vol. 33, n° 3, diciembre 2018 [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000300301>

BARNABAS, Godwin; VASANTHA, Arun. *Analysis of material properties of recycled plastic and rubber components* [en línea]. vol. 30, n° 30, 2021. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022].

Disponible en [https://www.researchgate.net/profile/Mehmet-Albayrak-4/publication/350567770\\_Chicken\\_Egg\\_Sexing\\_by\\_Using\\_Data\\_Mining\\_Process/links/6066368392851c91b1986b0c/Chicken-Egg-Sexing-by-Using-Data-Mining-Process.pdf#page=526](https://www.researchgate.net/profile/Mehmet-Albayrak-4/publication/350567770_Chicken_Egg_Sexing_by_Using_Data_Mining_Process/links/6066368392851c91b1986b0c/Chicken-Egg-Sexing-by-Using-Data-Mining-Process.pdf#page=526)

BURGOS, Elmer y Rodríguez, Juan. INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE, TRUJILLO 2021. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada del Norte.

Disponible en <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30437/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CALAHORRA, María; GIMENEZ, Zulay; HERRERA, Rodrigo; SALAZAR, Luis y MARTINEZ, Jhonattan. Análisis de ciclo de vida de mezcla asfáltica con/sin caucho: estudio de caso. [en línea]. Noviembre 2016. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2022]. Disponible en

[https://www.researchgate.net/publication/310951501\\_Analisis\\_de\\_ciclo\\_de\\_vida\\_de\\_mezcla\\_asfaltica\\_consin\\_caucho\\_estudio\\_de\\_caso](https://www.researchgate.net/publication/310951501_Analisis_de_ciclo_de_vida_de_mezcla_asfaltica_consin_caucho_estudio_de_caso)

CARDOZA, Maríalejandra, PALOMINO, Karol y Angulo, Gina. Pavimento flexible utilizando una mezcla asfáltica con grano de caucho reciclado para su sostenibilidad en Colombia. Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo [en línea]. vol. 10, n° 2, 2019. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.25213/2216-1872.16>

CASTILLO, Alvaro y CHÁVARRI, Alex. Diseño de mezcla asfáltica en caliente con la incorporación de caucho reciclado en Lima, 2020. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55690>

CERNA, Alexander y HERBAS, Jhann. Incorporación del caucho reciclado para mejorar las propiedades físico-mecánicas de la capa asfáltica en la av. San Felipe, Comas-2020. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/70766/Cerna\\_RAG-Herbas\\_UJC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/70766/Cerna_RAG-Herbas_UJC-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CORTÉS Cortés, Manuel. E. e IGLESIAS León, Miriam. Generalidades sobre metodología de la investigación [en línea]. Ciudad del Carmen, 2004 [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022].

ISBN: 968 – 6624 – 87– 2

Disponible en [https://www.google.com/search?q=en+que+parte+ver+la+editorial+de+un+libro+en+linea&source=lmns&bih=664&biw=1536&rlz=1C1CHBF\\_esPE834PE834&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiQILuapPf4AhVBMrkGHf3bC48Q\\_AUoAHoECAEQAA](https://www.google.com/search?q=en+que+parte+ver+la+editorial+de+un+libro+en+linea&source=lmns&bih=664&biw=1536&rlz=1C1CHBF_esPE834PE834&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiQILuapPf4AhVBMrkGHf3bC48Q_AUoAHoECAEQAA)

CORREA, Camilo. Implementación de Mezcla Asfáltica Modificada con granulo de caucho en el barrio San Carlos de la Localidad de Tunjuelito. Trabajo de grado (Título de especialista de Ingeniería de Pavimentos). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Disponible en <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/20506/CorreaLesmesCamiloAndres2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FLORES, Jhon. Comportamiento mecánico de mezcla asfáltica incorporando caucho por vía húmeda, avenida Perú, Callao, 2018. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/25348>

FLORES, Jhon. Efectos de la incorporación de caucho en granos en la carpeta asfáltica de la trocha carrozable Accopampa - Santa Ana, Lucanas, Ayacucho, 2018. Trabajo de investigación (Bachiller en Ingeniería Civil). Lima: Universidad César Vallejo.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/28182>

FLORES, Pilar; GATICA, Antonio; TRINIDAD, Diana y SULCA, Víctor. *Uso de Grano de Caucho Reciclado para mejorar la resistencia y durabilidad en pavimentos: una revisión literaria*. [en línea]. 2022. [Fecha de consulta: 29 de mayo de 2022]. Disponible en

<https://revistas.uees.edu.ec/index.php/IRR/article/view/647/642>

GIRALDO Antunez, Jimmi. Resistencia a la compresión y flexión de concreto con 10% y 20% de fibras de caucho reciclado. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Huaraz: Universidad San Pedro. Disponible en [http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/14307/Tesis\\_63816.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.usanpedro.pe/bitstream/handle/USANPEDRO/14307/Tesis_63816.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

HUAMÁN, Néstor. La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. Tesis (Grado de Maestría). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería. Disponible en [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman\\_gn.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman_gn.pdf)

HESAMI, Ebrahim; ATAOLLAHI, Abolfazl y SEDEGHI, Vahid. *Performance evaluation of microsurfacing with rubber powder* [en línea]. Junio 2020. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022].  
Disponible en <https://doi.org/10.1177/0892705720930760>

KUMAR, Hemanta; GIRI, Debabrata y DAS, Sudhanshu. *Modification of Bitumen Using Sustainable Materials for Pavement Design*. [en línea]. Septiembre 2020. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022].  
Disponible en <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/970/1/012022/meta>

MANTILLA, Javier y CASTAÑEDA, Eduardo. Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders [en línea]. vol. 86, n°208. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022].  
Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/496/49660955032/html/>

Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción - EG-2013 [en línea]. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2022] Disponible en [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)

MANTILLA, Javier y CASTAÑEDA, Eduardo. *Assessment of simultaneous incorporation of crumb rubber and asphaltite in asphalt binders*. [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.69400>

MARTÍNEZ, Carlos. Revisión Teórica de las Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímeros en Colombia [en línea]. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/37812/2021carlosmartinez1.pdf?sequence=8>

MBEREYAHU, L. et al. *Use and Influence of Tire Rubber Waste Powder in Bitumen Product* [en línea]. vol. 11, 31 de julio 2021. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.2478/jepm-2021-0009>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Agenda Nacional de Acción Ambiental al 2021, Resolución N° 380-2019-MINAM, Lima 2019. [Fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/ANAA-al-2021-Propuesta-28.12.18-consulta-p%C3%BAblica.pdf>

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2016. Manual de ensayo de Materiales. S.I: s.n. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf)

Norma Técnica Peruana. NTP. 339.185, Método de ensayo normalizado para contenido de humedad [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022]. Disponible en <https://idoc.pub/documents/ntp-339185-contenido-de-humedad-de-agregadospdf-vlr0w980mzIz>

Norma Técnica Peruana. NTP. 400.017, Método de Ensayo Para Determinar El Peso Unitario Del Agregado [en línea]. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2022]. Disponible en [https://kupdf.net/download/ntp-400-017-2011-agregados-m-eacute-todo-de-ensayo-para-determinar-el-peso-unitario-del-agregado\\_59138d9edc0d608a32959e7e\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntp-400-017-2011-agregados-m-eacute-todo-de-ensayo-para-determinar-el-peso-unitario-del-agregado_59138d9edc0d608a32959e7e_pdf)

Norma Técnica Peruana. NTP 400.022, Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino [en línea]. [Fecha de consulta: 28 de mayo de 2022]. Disponible en [https://kupdf.net/download/ntp-4000222013-agregados-metodo-peso-especifico-y-absorcion-del-agregado-fino\\_59c03df208bbc5f314686f9e\\_pdf](https://kupdf.net/download/ntp-4000222013-agregados-metodo-peso-especifico-y-absorcion-del-agregado-fino_59c03df208bbc5f314686f9e_pdf)

OLARTE Yépez, Carlos. Análisis comparativo del diseño de pavimento empleando mezcla Asfáltica Convencional y con adición de Caucho Reciclado Av. Santa Ana Comas 2020. Tesis (Título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76292>

OLUA, Manuel y SALAMANCA, Edwin. *Análisis técnico y económico de pavimentos con incorporación de asfaltos modificados con grano de caucho reciclado*. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 22 de mayo de 2022]. Disponible en <https://hdl.handle.net/10983/26358>

TASALLOTI, A. et al. *Physical and Mechanical Properties of Granulated Rubber Mixed with Granular Soils - A Literature Review* [en línea]. n°8, abril 2021. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/su13084309>

TUEROS, Mercedes. Incorporación de polvo de caucho en Mezcla Asfáltica Convencional para mejorar el Comportamiento de la Superficie de Rodadura Frente al Ahuellamiento en la ciudad de Huancayo 2016. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). Huancayo: Universidad Peruana de los Andes.

Disponible en

<https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/283/Tueros%20Davi%20Mercedes%20Nadia.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

VILLAGARAY, Edwin. Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfáltica para el tránsito vehicular de la avenida Trapiche-Comas (Remanso) 2017. Tesis (Titulación de Ingeniero Civil). Lima: Universidad César Vallejo.

Disponible en <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1535>

VISHNU, TB y SINGH, Lakshman. *A study on the suitability of solid waste materials in pavement construction: A review*. [en línea]. Septiembre 2021. [Fecha de consulta: 15 de mayo de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0273-z>



## IX. ANEXOS


Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Escala de Medición
Polvo de Caucho	Álvarez y Gutiérrez (2019) indicaron que el caucho reciclado de los NFU es un material que pasa por un proceso de trituración hasta obtener las partículas y el polvo del caucho, el caucho tiene origen de los neumáticos del parque automotor. La aplicación de este material ya procesado se utiliza en diferentes proyectos, el más importante se le considera que trabaja de una manera positiva para realizar la estabilización es suelos con baja resistencia a la penetración	Se va a medir la variable en base a los resultados de los ensayos de suelos (muestra con cuatro porcentajes diferentes de polvo de caucho), considerando el tamaño de las partículas que se obtendrá con el tamizado.	Incorporación de caucho	Incorporación de caucho reciclado al 1.0%, 1.5%, 2.0% y 2.5%	razón
					ordinal
Carpeta Asfáltica	De acuerdo con Álvarez Gutiérrez (2017), hace referencia que el asfalto puede ser utilizado con diversidad de materiales ya sean estos reciclados o simplemente materiales nuevos, así mismo con aquellos que tienen un alto índice de plasticidad	Está constituido de diferentes materiales bituminosos, como los aglomerantes, agregados y en ocasiones con algunos aglomerantes en la superficie de rodadura	Propiedades mecánicas	Porcentaje de vacíos	razón
				Estabilidad	ordinal
				Ahuellamiento	
				Resistencia	razón
Flujo					

Anexo 2. Instrumentos de investigación

Instrumentos de investigacion				
Gabinete	Laptops			
	Manual de carreteras del MTC/ASTM			
	Bibliografia (articluos cientificos, revistas cientificas y tesis			
	Software: Autocad 2d, Autocad 3d, Civil 3d, excel, word, power point			
Campo	Estudio de agregados	Bandejas		
		Balanza		
		Espatula		
		Tamicez		
		Horno		
	Diseño de mezcla asfaltica	Bandejas		
		Balanza		
		Espatula		
		Cocina		
		Compactador de impacto		
Formatos	Formatos de estudio de mezcla asfaltica			

Anexo 3. Ficha de observación para ensayo granulométrico por tamizado



**GEOCONS S.R.L.**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO, ASPHALTO Y  
ENRIAYOS QUÍMICOS

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
NTP 300.129

**SOLICITANTE :** PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL

**TEMA :** MICROFAVIMENTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO REICLADO PARA  
MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRUJILLO -  
LAREDO

**MUESTRA :** M-1


**CANTERA :** ---

**CALICATA :** C-1

**PROF. :** 1.50 mts

**UBICACIÓN :** Carretera Trujillo - Laredo

**COORD. UTM :** ESTE NORTE



**MUESTREADO POR :** J. Guzmán

**ENVIADO POR :** Tte. Carlos E. A. M.

**REVISADO POR :** Ing. Demetrio Carranza

**HECHO POR :** Demetrio Peña

**FECHA :** 14/03/22

TAMIZ	RESPT. (mm)	PESO RET.	SUBT. PASC.	SUBT. AC.	% Q. PASA	REMO A.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
# 1/2"	124.300						PESO TOTAL = 1.000,0 gr
# 4"	101.650						PESO GRAVA = 7,8 gr
# 1/2"	58.900				100,0		PESO ARENA = 300,0 gr
# 3"	76.200				100,0		PESO FINO = 99,4 gr
# 2 1/2"	53.500				100,0		LÍMITE LÍQUIDO = N.P. %
# 2"	50.800				100,0		LÍMITE PLÁSTICO = N.P. %
# 1 1/2"	36.100		0,0	0,0	100,0		ÍNDICE PLÁSTICO = N.P. %
# 1"	25.400		0,0	0,0	100,0		CLASIF. AASHO = A-3 [0]
# 3/4"	19.050		0,0	0,0	100,0		CLASIF. SUICS = SP - SM
# 1/2"	12.700		0,0	0,0	100,0		MAX. DENS. SECA = (gr/cm <sup>3</sup> )
# 3/8"	6.350	2,4	0,2	0,2	99,8		OPT. CONT. HUM. = %
# 4	4.750	6,2	0,0	0,0	99,2		CBR 0.1" (100%) = %
# 8	2.360		0,0	0,0	99,7		CBR 0.2" (100%) = %
# 10	2.000	13,7	1,3	2,0	98,0		% Grava = 0,0 %
# 20	0.850	36,1	2,5	4,5	93,5		% Arena = 99,3 %
# 40	0.425	18,7	1,8	5,4	93,6		% Fino = 0,0 %
# 60	0.300		0,0	0,0	93,8		HUMEDAD NATURAL = 1,1 %
# 80	0.250	297,3	29,7	36,1	63,9		Observaciones:
# 100	0.150	446,6	44,7	80,8	19,2		Excedente a base como subbase
# 200	0.075	92,8	9,3	90,7	9,9		
< # 200	FONDO	88,4	9,9	100,0	0,0		
FRACCIÓN		502,5					
TOTAL		1.000,0					

Def. de Humedad = 3

Def. de Plasticidad = 1,5

Def. de Compactación = Bajo


Def. de Compactación = 3

Def. de Plasticidad = 1,5


Def. de Compactación = Bajo

Descripción suelo: Arena pobremente graduada con limo

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Tec. Responsable



Ing. Responsable

**DEMETRIO CARRANZA PEÑA**

ING. CIVIL CIP N° 191809

Especialista en Geotecnia

Supervisión

Nota: Los análisis que se presentan pertenecen a la presente investigación. El nombre de la tesis inicial fue el que se indica en el presente estudio de mecánica de suelos, dicho nombre se cambió por sugerencia del asesor a: Incorporación de caucho reciclado para la mejora de las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica de la vía Trujillo – Laredo.

Anexo 4. Ficha de observación para ensayo de límites de consistencia.



**GEOCONS SRL**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO, ASFALTO Y  
ENSAYOS QUÍMICOS

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**LIMITES DE CONSISTENCIA**  
NTP 338.129

<p><b>SOLICITANTE</b> : PURDACA NOLE RUBEN EUEL <b>TESIS</b> : MICROPAVIMENTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO RECICLADO PARA MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRUJILLO - LAREDO</p> <p><b>MUESTRA</b> : 1 M-1 <b>CANTERA</b> : 1 -- <b>CALIGATA</b> : 2 CM <b>PROF.</b> : ± 1.50 mm <b>UBICACIÓN</b> : Carretera Trujillo - Laredo <b>COORD. UTM</b> : ESTE NORTE</p>	 <p><b>MUESTREADO POR</b> : [ ] <b>ENSAYADO POR</b> : Tcn. Cesar E. A. M <b>REVISADO POR</b> : Ing. Demetrio Carranza Peña <b>HECHO POR</b> : [ ] <b>FECHA</b> : 10/05/20</p>
---	--

**LIMITE LIQUIDO (MALLA Nº 40)**

Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO		N.P.	
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			
Nº DE GOLPES			

**LIMITE PLÁSTICO (MALLA Nº 40)**

Nº TARRO			
TARRO + SUELO HÚMEDO			
TARRO + SUELO SECO			
AGUA			
PESO DEL TARRO		N.P.	
PESO DEL SUELO SECO			
% DE HUMEDAD			

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**



<b>CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA</b>		<b>OBSERVACIONES:</b>
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.	
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.	
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.	


  

<p><b>Tec. Responsable</b></p> 	<p><b>Ing. Responsable</b></p> <p style="text-align: center;">   <b>DEMETRIO CARRANZA PEÑA</b>                  ING. CIVIL CIP Nº 191809                  Especialista en Geotecnia             </p>	<p><b>Supervisión</b></p>
--	---	---------------------------

Nota: Los análisis que se presentan pertenecen a la presente investigación. El nombre de la tesis inicial fue el que se indica en el presente estudio de mecánica de suelos, dicho nombre se cambió por sugerencia del asesor a: Incorporación de caucho reciclado para la mejora de las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica de la vía Trujillo – Laredo.



Anexo 5. Ficha de observación para ensayo granulométrico por tamizado.



**GEOCONS SML**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO, ASPALTO Y  
ENSAYOS QUÍMICOS

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
NTP-339.128

**SOLICITANTE :** PURIZACA NOLE RUBEN EUIEL

**TEMA :** MICROPAVIMENTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO RECICLADO PARA MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRUJILLO-LAREDO

**MUESTRA :** M-1


**CANTERA :** 1

**CALICATA :** C-2

**PROF. :** 1.50 mts

**UBICACIÓN :** Carretera Trujillo - Laredo

**COORD. UTM :** ESTE NORTE




**MUESTREADO POR :** Celso  
**ELABORADO POR :** Ing. Carlos E. A. M.  
**REVISADO POR :** Ing. Demetrio Carranza  
**HECHO POR :** Demetrio  
**FECHA :** 16/05/22

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA					
4 1/2"	114.300				
4"	101.600				
3 1/2"	89.000				
3"	76.200			100.0	
2 1/2"	63.500			100.0	
2"	50.800			100.0	
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	100.0	
1"	25.400	0.0	0.0	100.0	
3/4"	19.050	0.0	0.0	100.0	
1/2"	12.700	0.0	0.0	100.0	
3/8"	9.525	5.3	0.6	0.5	96.6
1/4"	6.350	0.0	0.5	0.5	99.5
# 4	4.750	19.3	1.9	2.5	97.5
# 8	3.350	0.0	0.0	2.5	97.5
# 10	3.000	18.8	1.7	4.2	95.5
# 20	0.850	8.6	1.0	5.1	94.9
# 40	0.425	19.3	1.3	6.4	93.6
# 60	0.300	0.0	0.0	6.4	93.6
# 80	0.250	29.1	2.9	9.3	90.7
# 100	0.150	48.8	5.0	14.3	65.7
# 200	0.075	46.7	4.8	19.9	51.1
< # 200	PC8430	811.0	81.1	100.0	0.0
FRACCIÓN		576.4			
TOTAL		1,000.0			


Def. Volumétrica	-	Índice de Compactación
Def. Gravitación	-	3.7
Def. de Empujes	Bejo	Doble

Descripción suelo: Arena/Arcilla media plasticidad con arena CL.

**CURVA GRANULOMÉTRICA**



Tec. Responsable



Ing. Responsable

**DEMETRIO CARRANZA PENA**  
ING CIVIL CIL N° 191805  
Especialista en Geotécnica

Supervisión

Anexo 6. Ficha de observación para ensayo granulométrico de humedad natural.




**GEOCONS S.R.L.**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO, ASFALTO Y  
ENSAYOS QUÍMICOS

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

HUMEDAD NATURAL			
NTP 338-127			
<b>SOLICITANTE :</b>	BURIZACA NOLE RUBEN ELIEL		 <p><b>GEOCONS S.R.L.</b> LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y ENSAYOS QUÍMICOS</p> <p><b>MUESTREADO POR :</b> 2 Historta <b>ENSAYADO POR :</b> 2 Tec. Carlos E. A. M. <b>REVISADO POR :</b> 2 Ing. Demetrio Carranza <b>HECHO POR :</b> 2 Geomorp. S.R. <b>FECHA :</b> 8/05/22</p>
<b>TERRA :</b>	MICROPAVIMENTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO REICLADO PARA MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA		
<b>MUESTRA :</b>	TRUJILLO - LAREDO		
<b>CARTERA :</b>	M-1		
<b>CALICATA :</b>	C-2		
<b>PROF. :</b>	1.50 mts		
<b>UBICACIÓN :</b>	Carretera Trujillo - Laredo		
<b>COORD. UTM :</b>	8538	NORTE	
DATOS			
Nº de Ensayo	1	2	
Peso de Mat. Humedo + Tara (gr.)	187.80	183.47	
Peso de Mat. Seco + Tara (gr.)	168.08	181.70	
Peso de Tara (gr.)	15.58	10.83	
Peso de Agua (gr.)	1.57	3.77	
Peso Mat. Seco (gr.)	149.90	170.87	
Humedad Natural (%)	1.05	1.04	
Promedio de Humedad (%)	1.0		
<b>OBSERVACIONES:</b>			
<p>Tec. Responsable</p> 	<p>Ing. Responsable</p> <p style="text-align: center;"><i>(Signature)</i></p> <p style="text-align: center;"><b>DENETRIO CARRANZA PEÑA</b> ING. CIVIL CIP N° 191409 Especialista en Geotecnia</p>	<p>Supervisor</p>	




Anexo 7. Ficha de observación para ensayo de límites de consistencia.



**GEOCONS S.R.L.**  
LABORATORIO DE SUELOS,  
CONCRETO, ASFALTO Y  
SISTEMAS GEOTÉCNICOS

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**


**LIMITES DE CONSISTENCIA**  
NTP 200.129

<b>SOLICITANTE</b> : PURIZACA NOLE RUBEN SUELO	 <p><b>GEOCONS S.R.L.</b> LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO Y SISTEMAS GEOTÉCNICOS</p>
<b>TESIS</b> : MICROPAVIMENTO MODIFICADO CON POLVO DE CAUCHO RECICLADO PARA MANTENIMIENTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LA CARRETERA TRUJILLO - LAREDO	
<b>MUESTRA</b> : M 1	<b>MUESTREADO POR</b> : Solicitante
<b>CANTERA</b> : —	<b>ENSAYADO POR</b> : Tte. Carlos E. A. M
<b>CALICATA</b> : G2	<b>REVISADO POR</b> : Ing. Demetrio Camarasa
<b>PROP.</b> : 1.50 mts	<b>HECHO POR</b> : GEOCONS S.R.L.
<b>UBICACIÓN</b> : Carretera Trujillo - Laredo	<b>FECHA</b> : 16/05/22
<b>COORD. UTM</b> : ESTE:                      NOROESTE:	


LÍMITE LÍQUIDO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	37.10	41.22	41.38
TARRO + SUELO SECO	31.48	34.17	34.15
AGUA	5.6%	7.05	7.24
PESO DEL TARRO	12.88	12.19	13.32
PESO DEL SUELO SECO	18.60	21.86	20.83
% DE HUMEDAD	30.16	32.07	34.61
N° DE GOLPES	36	34	18

LÍMITE PLÁSTICO (MALLA N° 40)			
N° TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HÚMEDO	20.48	21.58	
TARRO + SUELO SECO	19.05	20.17	
AGUA	1.41	1.41	
PESO DEL TARRO	12.88	13.65	
PESO DEL SUELO SECO	6.39	6.32	
% DE HUMEDAD	22.07	22.31	

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES:
LÍMITE LÍQUIDO	30.00	
LÍMITE PLÁSTICO	22.10	
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	8.90	

<p><b>Tec. Responsable</b></p> 	<p><b>Ing. Responsable</b></p> <p><b>DEMETRIO CAMARASA PEÑA</b> ING. CIVIL CIP N° 101809 Especialista en Geotecnia</p>	<p><b>Supervisión</b></p>
--	--	---------------------------

Anexo 8. Ficha de observación para determinar la cantidad de agregados y asfalto.



**ENSAYO DE MARSHALL**  
**ASTM D-1559**

**PROYECTO** : INCORPORACIÓN DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA VÍA TRUJILLO - LAREDO  
**UBICACION** : TRUJILLO - LAREDO  
**MATERIAL** : MEZCLA ASFÁLTICA - R3  
**AUTORES** : PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL  
TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

**Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto**

ASFALTO		Peso total de la Briqueta: 1200 gr			
% de Asfalto	Asfalto (gr)	AGREGADOS			
		45.0% Grava de 3/4" (gr)	0.0% Grava de 1/2" (gr)	0.0% Grava de 3/8" (gr)	55.0% Arena (gr)
4.00%	48	518.40	0.00	0.00	633.60
4.50%	54	515.70	0.00	0.00	630.30
5.00%	60	513.00	0.00	0.00	627.00
5.50%	66	510.30	0.00	0.00	623.70
6.00%	72	507.60	0.00	0.00	620.40
6.50%	78	504.90	0.00	0.00	617.10
7.00%	84	502.20	0.00	0.00	613.80

**Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Especifica de Bulk de la Mezcla Compactada**

ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Asfalto	Altura de las Probetas o Briquetas				Promedio (cm)
	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	
4.00%	6.82	6.83	6.84	6.81	6.83
4.50%	6.76	6.75	6.74	6.76	6.75
5.00%	6.92	6.93	6.91	6.92	6.92
5.50%	6.49	6.48	6.47	6.45	6.47
6.00%	6.53	6.54	6.53	6.54	6.54
6.50%	6.72	6.71	6.73	6.71	6.72
7.00%	6.51	6.52	6.54	6.53	6.53

**DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA**

% Asfalto	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	G (kg/m <sup>3</sup> )	G <sub>1</sub>
4.00%	1159	1181	683.5	2329.65	2.330
4.50%	1176	1197	675.2	2253.74	2.254
5.00%	1148	1175	679.4	2316.38	2.316
5.50%	1173	1192	681.2	2296.40	2.296
6.00%	1162	1186	689.6	2340.85	2.341
6.50%	1159	1172	677.7	2344.73	2.345
7.00%	1143	1166	671.2	2310.02	2.310

**Determinación de la Estabilidad y Flujo**

% Asfalto	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
4.00%	10.9	5.28	0.214	5.43
4.50%	52	7.61	0.285	7.25
5.00%	27	9.94	0.339	8.61
5.50%	90	7.06	0.312	7.92
6.00%	126	6.45	0.257	6.53
6.50%	126	5.21	0.205	5.21
7.00%	138	4.86	0.192	4.87



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Rogelio Barrios Villanueva  
ING. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 197304





Anexo 10. Ficha de observación para dosificaciones de caucho y cemento asfáltico.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**ENSAYO DE MARSHALL**  
**ASTM D-1559**

**PROYECTO :** INCORPORACIÓN DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CARPETA ASFÁLTICA DE LA VÍA TRUJILLO – LAREDO  
**UBICACION :** TRUJILLO - LAREDO  
**MATERIAL :** MEZCLA ASFÁLTICA + % CAUCHO  
**AUTORES :** PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL  
TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

**Determinación de la Cantidades Necesarias de Agregado y Asfalto**

Peso total de la Briqueta:			1200			gr
ASFALTO			AGREGADOS			
% de Caucho	Caucho (gr)	Asfalto (gr)	45.0%	0.0%	0.0%	55.0%
			Grava de 3/4" (gr)	Grava de 1/2" (gr)	Grava de 3/8" (gr)	Arena (gr)
1.00%	12	60	513.00	0.00	0.00	627.00
1.50%	18	60	513.00	0.00	0.00	627.00
2.00%	24	60	513.00	0.00	0.00	627.00
2.50%	30	60	513.00	0.00	0.00	627.00

**Determinación del Espesor, Densidad Real y Gravedad Específica de Bulk de la Mezcla Compactada**

ESPESOR y/o ALTURA DE LAS PROBETAS "BRIQUETAS"					
% de Asfalto	Altura de las Probetas o Briquetas				Promedio (cm)
	H <sub>1</sub> (cm)	H <sub>2</sub> (cm)	H <sub>3</sub> (cm)	H <sub>4</sub> (cm)	
1.00%	6.47	6.48	6.46	6.48	6.47
1.50%	6.59	6.58	6.57	6.58	6.58
2.00%	6.61	6.62	6.63	6.61	6.62
2.50%	6.54	6.55	6.56	6.54	6.55

DENSIDAD REAL Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE BULK DE LA MEZCLA COMPACTADA					
% Asfalto	M <sub>s</sub>	M <sub>ENS</sub>	M <sub>SEM</sub>	G (kg/m <sup>3</sup> )	G <sub>mb</sub>
1.00%	1127	1185	695.2	2300.94	2.301
1.50%	1135	1172	679.6	2305.04	2.305
2.00%	1141	1194	697.1	2296.24	2.296
2.50%	1134	1183	692.2	2310.51	2.311

**Determinación de la Estabilidad y Flujo**

% Asfalto	Lectura del Dial	Estabilidad KN	Indice de Flujo (PULG)	Indice de Flujo (mm)
1.00%	10.9	8.26	0.378	9.61
1.50%	52	8.51	0.393	9.97
2.00%	27	8.73	0.417	10.58
2.50%	90	9.08	0.419	10.64



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Aracely Ramírez Vitorino  
LABORATORIO DE MATERIALES  
R.C.P. N° 197304



Anexo 12. Ficha de observación para determinar la resistencia a la abrasión.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**DESGASTE ABRASIVO DE LOS ANGELES**  
ASTM C - 131

PROYECTO	: INCORPORACION DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO LAREDO
UBICACION	: TRUJILLO - LAREDO
MATERIAL	: MEZCLA ASFALTICA
AUTORES	: PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

PRUEBAS	1
GRADACIÓN USADA	A
No. ESFERAS	12
No. REVOLUCIONES	500
Pa = PESO MUESTRA SECA ANTES DEL ENSAYO, G.M.S.	5,000
Pb = PESO MUESTRA SECA DESPUES DEL ENSAYO Y DESPUES DE LAVAR SOBRE TAMIZ No. 12	3,815
Pa - Pb = PERDIDA	1,185
% DESGASTE = $\frac{Pa - Pb}{Pa} \times 100$	23.7%
ESPECIFICACIÓN : MENOR DE	40%

CUMPLE SI  NO



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Alberto Sánchez Vázquez  
ING. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 181384

Anexo 13. Ficha de observación para determinar partículas chatas y alargadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

DETERMINACION DE PARTICULAS CHATAS, ALARGADAS, 0 PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN AGREGADOS GRANULARES  
ASTM D - 4791

PROYECTO	1	PROYECTO DE CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DE LA AVENIDA DE LA INDUSTRIA DEL PETROLEO EN LA ZONA INDUSTRIAL DE LA VÍA TRUJILLO-LIBERTAD
SOLICITANTE	1	PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL TELINTINO HUAMANCHECHE NIÑENAS PISAU
MATERIAL	1	MEZCLA ASPALTICA - B1
UBICACION	1	TRUJILLO - LIBERTAD

MATERIAL		AGREGADO GRUESO			PARTICULAS CHATAS		PARTICULAS ALARGADAS		PARTICULAS CHATAS y ALARGADAS		PARTICULAS NI CHATAS, NI ALARGADAS	
TAMIZ	Abertura	PESO (A)	RETENIDO (C)	PASA	PESO (E)	PESO (F)	PESO (G)	PESO (H)	PESO (I)	PESO (J)	PESO (K)	
(inch)	(mm)	(g)	(%)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)
3"	76.200											
2"	50.800											
1 1/2"	38.100											
1"	25.400			100.00								
3/4"	19.050	3489.0	1.48	98.50	79.00	0.04	35.24	0.45	45.06	0.37	3263.36	26.96
1/2"	12.700	4629.5	38.10	99.50	69.00	0.55	58.13	0.47	48.02	0.39	4762.28	38.75
3/8"	9.500	3874.5	31.20	27.13	71.35	0.57	74.00	0.60	42.03	0.34	2873.95	29.80
1/4"	6.350	4174.9	30.50	0.33								
Nº 40	4.750	1351.6	29.90	0.32								
Peso Total de la Muestra (B)		17 815.4										
Peso de la Muestra de Ensayo (D) (Retenido 3/8")		12 296.0										

**RESULTADOS**  
(Porcentaje Ponderal)

PARTICULAS CHATAS	1.77 %
PARTICULAS ALARGADAS	1.52 %
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	1.10 %

$$\text{Partículas Chatas y Alargadas (\%)} = \left[ \left( \frac{F}{A} \times 100 \right) + \left( \frac{A}{D} \times 100 \right) \right] / 100$$

- Donde:
- A: Peso retenido en cada tamiz
  - B: Peso Total de la Muestra Agregada (Granulada)
  - C: % Retenido en la muestra total
  - D: Peso de la Muestra de Ensayo (Retenido 3/8")
  - E: Partículas Chatas
  - F: Partículas Alargadas
  - G: Partículas Chatas y Alargadas
  - H: Partículas ni Chatas ni Alargadas



*[Handwritten Signature]*  
ING. DE MATERIALES  
C.P. N° 19734

Anexo 14. Ficha de observación para determinar la resistencia a la durabilidad.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO<sub>2</sub>Mg  
ASTM - C88 (MTC E 209)**

**PROYECTO** : INCORPORACION DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO - LAREDO  
**MUESTRA** : MEZCLA ASFALTICA  
**SOLICITANTE** : PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL  
TOLENTINO HUAMANCHUMIO NEHEMIAS ESAU  
**UBICACIÓN** : TRUJILLO - LAREDO

AGREGADO GRUESO								
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (g)		% DE PERDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PERDIDA CORREGIDA	
			ANTES	DESPUES				
2"	1 1/2"	D-1	-	-	-	-	-	
1 1/2"	1"	D-2	-	-	-	-	-	
1"	3/4"	D-3	2500.0	2428.5	2.82	14	0.39	
3/4"	1/2"	D-4	1000.0	952.8	4.74	18	0.76	
1/2"	3/8"	D-5	500.0	467.1	6.58	11	0.72	
3/8"	N°4	D-6	300.0	276.7	7.77	25	1.94	
TOTAL :						86.00	3.81	

AGREGADO FINO								
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (g)		% DE PERDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PERDIDA CORREGIDA	
			ANTES	DESPUES				
3/8"	N°4	1A	100.0	85.8	14.40	17	2.46	
N°4	N°8	2A	100.0	84.7	15.30	19	2.81	
N°8	N°16	3A	100.0	81.6	18.40	16	3.20	
N°16	N°30	4A	100.0	82.4	17.60	18	3.34	
N°30	N°60	5A	100.0	82.4	7.60	9	0.66	
N°60	N°100					7	0.00	
N°100	---					10	0.00	
TOTAL :						103.00	12.88	

NOTA : Interpretación según a estos resultados es responsabilidad de los interesados



*Jorge Rogelio Barreto Vilanova*  
Ing. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 191284

Anexo 15. Ficha de observación para determinar la resistencia a la adherencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**ADHERENCIA EN BANDEJA (I.N.V. E 740 - 07)**

PROYECTO : MEJORACION DE CUBIERTOS DE LA RED VIAL EN LA ZONA DE LA PROPIEDAD MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE TRUJILLO  
LA VÍA, TRUJILLO - LAREDO  
MUESTRA : MEZCLA ASFALTICA  
SOLICITANTE : PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL  
TOLENTINO HUAMANACHUMBO NEHEMIAS ESAU  
UBICACIÓN : TRUJILLO - LAREDO

DATOS	1	2	3
CANTIDAD DE MUESTRA #	50	50	50
CANTIDAD DE CEMENTO ASFALTICO ml	100	100	100
TEMPERATURA DE CA (°C)	140	140	140
# DE PARTICULAS RECUBIERTAS	48	48	48
# DE PARTICULAS NO RECUBIERTAS	1	1	1
ADHERENCIA(%)	96	96	96
ADHERENCIA(%)	96.0		



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Ricardo García Vitorino  
ING. DE MATERIALES  
R.C.P. N° 197384

Anexo 16. Ficha de observación para determinar porcentaje de caras fracturadas.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS  
MTC E 210 ASTM D - 5821**

PROYECTO	:	INCORPORACION DE CAUCHO RECLAMADO PARA LA MEDIDA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO - LAREDO
MUESTRA	:	MEZCLA ASFALTICA
SOLICITANTE	:	PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL
UBICACION	:	TOLENTINO MELANANCHUNO NEHEMIAS ESALU TRUJILLO - LAREDO

**Con Una Cara de Fractura**

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa	Retenido	(g)	(g)	(B / A)*100	(%)	(C x D)
2"	1 / 1/2"					
1 / 1/2"	1"					
1"	3 / 4 "	1400	185.0	0.13	28.60	3.78
3 / 4 "	1/2"	1300	207.0	0.16	34.10	5.43
1/2"	3 / 8"	300	78.0	0.26	37.30	9.70
Total		3000	470.0	0.55	100.00	18.91

Porcentaje de Partículas con una Cara Fracturada (Total E / Total D) 18.9%

**Con Dos Caras de Fractura**

Tamaño del Agregado		A	B	C	D	E
Pasa	Retenido	(g)	(g)	(B / A)*100	(%)	(C x D)
2"	1 / 1/2"					
1 / 1/2"	1"					
1"	3 / 4 "	1300	261.0	0.20	29.40	5.90
3 / 4 "	1/2"	1600	106.0	0.13	38.40	4.99
1/2"	3 / 8"	100	92.0	0.24	32.20	7.73
Total		3000	459.0	0.57	100.00	18.62

Porcentaje de Partículas con dos o mas Caras de Fractura (Total E / Total D) 18.6%

**Partículas con una ó mas caras de Fractura 37.5%**

**Resultados**

CARAS DE FRACTURA =	<b>94.8</b>
	<b>0.2</b>

A	Peso de la Muestra
B	Peso del material con caras de Fractura
C	Porcentaje de Caras Fracturadas
D	Porcentaje Retenido, Gradación Original
E	Promedio de Caras de Fractura



*Jorge Rodríguez Barrios*  
ING. DE MATERIALES  
C.P. N° 197384



Anexo 17. Ficha de observación para el peso específico del agregado grueso.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**NTP. 400.022 / ASTM C 127**

<b>PROYECTO</b>	: INCORPORACION DE CACIHO RECICLADO PARA LA MAJORA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARPETA ASPALTICA DE LA VIA TRUJILLO - LAREDO
<b>UBICACION</b>	: TRUJILLO - LAREDO
<b>MATERIAL</b>	: AGREGADO GRUESO
<b>AUTORES</b>	: PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
B = Peso de la muestra SSS	g	419.50	421.60	421.50
C = Peso de la muestra SSS en el agua	g	261.30	262.80	264.80
Peso de bandeja	g	86.00	86.00	86.00
Peso de bandeja + Muestra seca	g	1000.50	1001.40	1001.30
A = Peso de la muestra secada en el horno	g	409.70	409.80	410.40
Peso específico de masa SSS	kg/m <sup>3</sup>	2651.71	2654.91	2689.85
Peso específico aparente	kg/m <sup>3</sup>	1353.49	1355.81	1359.54
<b>Peso específico de masa</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>2590</b>	<b>2581</b>	<b>2619</b>
<b>Promedio del peso específico de masa</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>2596</b>		
<b>Peso específico de masa:</b>	<b>2596</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		



Jorge Alejandro Barrios Utreras  
ING. DE MATERIALES  
R.C.P. N° 181284

Anexo 18. Ficha de observación para determinar la resistencia a la absorción.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO**  
**NTP. 400.022 / ASTM C127**

<b>PROYECTO</b>	: INCORPORACION DE CAUCHO RECIKLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO-LAREDO
<b>UBICACION</b>	: TRUJILLO - LAREDO
<b>MATERIAL</b>	: AGREGADO GRUESO
<b>AUTORES</b>	: PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRA		
		M-1	M-2	M-3
B =Peso de la muestra SSS	kg	419.50	421.60	421.50
A = Peso de la muestra secada en el horno	kg	409.70	409.80	410.40
<b>Porcentaje de absorción (%)</b>	<b>%</b>	<b>2.4</b>	<b>2.9</b>	<b>2.7</b>
<b>Promedio</b>	<b>%</b>	<b>2.7</b>		
<b>Absorción:</b>	<b>2.7</b>	<b>%</b>		



*[Handwritten Signature]*  
Jorge Alejandro Escobedo Viqueco  
ING. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 197384

Anexo 19. Ficha de observación para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso.



**PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO**  
**NTP. 400.017 / ASTM C29**

<b>PROYECTO</b>	: INCORPORACION DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARPETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO - LAREDO
<b>UBICACION</b>	: TRUJILLO - LAREDO
<b>MATERIAL</b>	: AGREGADO GRUESO
<b>AUTORES</b>	: PURIZACA NOLE RUBEN EUJEL TOLENTINO HUANANCHUMO NEHEMIAS ESAU

PESO UNITARIO SECO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de molde	kg	1.2	1.2	1.2
Altura del molde	m	0.15	0.15	0.15
Diámetro del molde	m	0.3	0.3	0.3
Radio del molde	m	0.15	0.15	0.15
Volumen del molde	m <sup>3</sup>	0.01060	0.01060	0.01060
Peso de molde + Muestra	kg	18.49	18.76	18.71
<b>Peso Unitario Suelto (P.U.S.)</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>1631</b>	<b>1656</b>	<b>1651</b>
<b>Promedio</b>	kg/m <sup>3</sup>	<b>1646</b>		
<b>Peso Unitario Suelto (P.U.S.)</b>	<b>1646</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>		



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Hugo Sánchez Valencia  
ING. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 197294

Anexo 20. Ficha de observación para determinar el contenido de humedad.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA  
Laboratorio de Materiales Cerámicos

**CONTENIDO DE HUMEDAD**  
**NTP. 329.185 / ASTM C566**

<b>PROYECTO</b>	: INCORPORACION DE CAUCHO RECICLADO PARA LA MEJORA DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LA CARRETA ASFALTICA DE LA VIA TRUJILLO - LAREDO
<b>UBICACION</b>	: TRUJILLO - LAREDO
<b>MATERIAL</b>	: AGREGADO GRUESO
<b>AUTORES</b>	: PURIZACA NOLE RUBEN ELIEL TOLENTINO HUAMANCHUMO NEHEMIAS ESAU

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO				
DESCRIPCIÓN	UND	MUESTRAS		
		M-1	M-2	M-3
Peso de tara	g	71.52	71.69	73.42
Peso de la muestra natural	g	195.61	194.27	192.59
Peso de muestra seca + Tara	g	264.46	263.18	263.27
<b>Contenido de humedad</b>	%	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>
<b>Promedio</b>	%	<b>1.4</b>		
<b>Contenido de humedad:</b>	<b>1.4</b>	<b>%</b>		



*[Handwritten Signature]*  
Ing. Regino Sánchez Vázquez  
PZ. DE MATERIALES  
E.C.P. N° 19734

Anexo 21. Visita a zona de estudio.



**TRAMO TRUJILLO - LAREDO**

---

*La zona de estudio se  
encuentra con una carpeta  
asfáltica deteriorada.*

**TRAMO TRUJILLO - LAREDO**

---

*la zona de estudio, es una  
via, en la que actualmente  
no se le brinda un  
mantenimiento*





Anexo 22. Desarrollo de las calicatas y ensayo granulométrico en laboratorio.



Anexo 23. Diseño de mezcla incorporando polvo de caucho reciclado.

*realizando estudio de la mezcla  
asfáltica añadiendo caucho*



*Pesando los agregados para  
la granulometria*

*realizando la sprobetas*



*realizando un baño maria  
para la absorcion*



Anexo 24. Tamizando el material grueso.

*Realizando la granulometría de la gravilla*



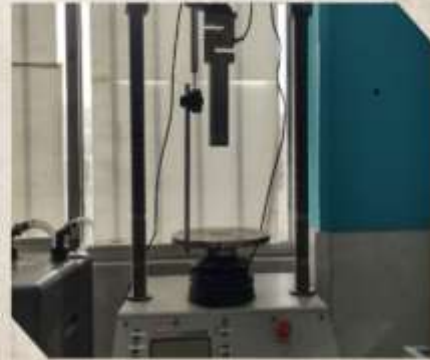
*Granulometría de arena*





Anexo 25. Lectura de penetración (dial).

*Ensayo de penetración*



*lectura dial*



Anexo 26. Ubicación de la zona de estudio.

