



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Adición del caucho reciclado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo -2023

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL:**

Ingeniera Civil

**AUTORAS:**

Huaman Farseque, Fiorela (orcid.org/0000-0002-0406-2677)

Manayay Reyes, Silvia (orcid.org/ 0000-0003-2129-6106)

**ASESORA:**

Mg. Gallo Gallo Teodora Margarita (orcid.org/0000-0001-5793-3811)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio Climático

**CHICLAYO – PERÚ**

**2023**

## DEDICATORIA

A Dios, por estar siempre conmigo en cada paso que doy e iluminar mi mente y sobre todo por darme fuerzas para cumplir con cada uno de mis metas planteadas. A Mis padres Hildo Huaman Agurto y Patricia Farseque Jiménez, por su amor incondicional, por creer en mí y por mostrarme el camino hacia la superación. A mis hermanas por darme la inspiración de seguir adelante.

Huaman Farseque, Fiorela.

A Dios, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mis padres quienes con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.

Manayay Reyes, Silvia.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a Dios por darnos la oportunidad de vivir, por estar siempre con nosotras y por fortalecernos en cada momento de debilidad y dificultad.

A nuestra asesora por el apoyo moral, profesional y por la orientación para culminar con el desarrollo de nuestra tesis.

A los docentes por sus grandes conocimientos que nos otorgaron durante nuestra formación universitaria.

Fiorela Huaman y Silvia Manayay.

## Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	12
3.2. Variables y operacionalización.....	12
3.3. Población, muestra y muestreo .....	14
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	15
3.5. Procedimientos .....	16
3.6. Método de análisis de datos .....	17
3.7. Aspectos éticos .....	18
IV. RESULTADOS.....	19
V. DISCUSIÓN .....	42
VI. CONCLUSIONES.....	46
VII. RECOMENDACIONES .....	48
REFERENCIAS .....	49
ANEXOS .....	55

## Índice de tablas

Tabla 1. Características del Caucho Reciclado. ....	19
Tabla 2. Análisis Granulométrico del Caucho Reciclado.....	19
Tabla 3. Peso específico y absorción .....	21
Tabla 4. Resultados de Abrasión del agregado grueso. ....	22
Tabla 5. Resultados de durabilidad del agregado fino .....	22
Tabla 6. Resultados de durabilidad del agregado grueso. ....	23
Tabla 7. Resultado de equivalente del agregado fino .....	23
Tabla 8. Resultados de Análisis Granulométrico Combinado.....	24
Tabla 9. Resultado de diseño de mezcla asfáltica patrón .....	25
Tabla 10. Parámetros del diseño Marshall .....	25
Tabla 11. Diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 1 %.....	26
Tabla 12. diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 1.5 %.....	27
Tabla 13. diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 2 %.....	27
Tabla 14. Diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 3.5 %.....	28
Tabla 15 Prueba de normalidad para la Estabilidad.....	33
Tabla 16 Prueba de Homocedasticidad para la Estabilidad. ....	34
Tabla 17 Comparación múltiple para la variable de Estabilidad. ....	34
Tabla 18 Prueba de normalidad para el Flujo .....	35
Tabla 19 Prueba de homogeneidad de varianza para el flujo .....	36
Tabla 20 Comparación múltiple para la variable Flujo. ....	36
Tabla 21 Prueba de normalidad. ....	38
Tabla 22 Prueba de homogeneidad de varianza .....	38
Tabla 23. Comparación múltiple para la variable Vacíos de aire.....	39
Tabla 24. Prueba de normalidad. ....	40
Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianza de %VMA.....	40
Tabla 26. Comparación múltiple para la variable %VMA .....	41

## Índice de gráficos y figuras

Figura 1. Curva Granulométrica de caucho reciclado .....	20
Figura 2. Curva Granulométrica combinado .....	24
Figura 3. Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respeto porcentaje de vacíos de aire .....	28
Figura 4. Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respeto porcentaje de vacíos de aire .....	29
Figura 5. Barra comparativa de densidad de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica modificada con la adición del caucho reciclado .....	30
Figura 6. Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respeto a la estabilidad .....	31
Figura 7. Comparación del flujo entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + la adición de caucho.....	32

## Resumen

Millones de toneladas de llantas de desecho se producen en todo el mundo, lo cual es un grave problema para el medio ambiente. Por ello, en la actualidad se utilizan residuos de caucho en la mezcla asfáltica, lo que aporta mejorar sus características, ya que existen deterioros en las actuales mezclas asfálticas generando malestar en la población. La investigación desarrollada tiene como principal objetivo analizar la adición del caucho reciclado para perfeccionar las propiedades físicas como mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo -2023. Asimismo la presente investigación se desarrolla con un diseño experimental de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, fue realizada con población y muestra de 70 briquetas, utilizando diferentes porcentajes del 1%, 1.5%, 2% y 3.5% de caucho reciclado, encontrando como resultado que la adición del 2% brinda mejor resultado, teniendo el 17% de vacíos en el agregado mineral, asimismo reduciendo el porcentaje de vacíos de aire con 3.14%, y tenemos una mayor estabilidad de 1584kg con el 3.5% de caucho y 3.48 de flujo en comparación a la mezcla patrón. Finalmente, la investigación concluyó que la adición del caucho reciclado mejora las características de la mezcla asfáltica, teniendo este el principal objetivo de nuestro estudio.

**Palabras clave:** Mezcla asfáltica, caucho reciclado, propiedades, estabilidad.

## **Abstract**

Millions of tons of scrap tires are produced around the world, which is a serious problem for the environment. For this reason, rubber waste is currently used in the asphalt mix, which improves its characteristics, since there are deteriorations in the current asphalt mixes, generating discomfort in the population. The main objective of the research developed is to analyze the addition of recycled rubber to improve the physical and mechanical properties of the asphalt concrete mix design, Chiclayo - 2023. Likewise, the present investigation is developed with an experimental design of a quantitative approach, of an applied type, it was carried out with a population and a sample of 70 briquettes, using different percentages of 1%, 1.5%, 2% and 3.5% of recycled rubber, finding as a result that the addition of 2% provides better results, having 17% voids in the mineral aggregate, also reducing the percentage of air voids with 3.14%, and we have a greater stability of 1584kg with 3.5% rubber and 3.48 flow compared to the master mix. Finally, the investigation concluded that the addition of recycled rubber improves the characteristics of the asphalt mix, which is the main objective of our study.

**Keywords:** Asphalt mix, recycled rubber, properties, stability

## I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se generan millones de toneladas de desechos de caucho, lo cual es un grave problema para el medio ambiente, parte de la cual es causada por la alta demanda de caucho de todos los tamaños, ya que la aparición de vehículos en la sociedad aumenta y el transporte de desechos sólidos se convierte en un problema, además, debemos entender que el caucho es inflamable y puede provocar un incendio, la quema de neumático produce humos tóxicos para la salud generando dioxinas, mercurio, hidrocarburos. Existe un enfoque según el cual los desechos se valoran en términos económicos aceptables y en una proporción suficiente para cubrir los aumentos anuales en los costos de transporte. Por ello buscamos varias formas de reutilizar el neumático con el fin de respetar al medio ambiente. Cerna y Herbas (2020)

Así mismo, encuentran que menos del 10% de desechos de caucho se reciclan en geotecnia y el 40% se reciclan como combustible, se sabe que los cauchos usados generalmente se queman en aire libre, donde generan mucha contaminación, en lo cual ha demostrado ser un material que necesita urgentemente ser encontrado de una manera que no provoque más contaminación y tenga como objetivo aumentar la reutilización y el reciclaje. Vishnu y Singh (2021)

Como también los neumáticos van aumentando notablemente, donde es un material muy peligroso, ya que puede provocar incendios por desconocimiento de las personas si se acumula, asimismo se considera que su vertedero es considerado un gran problema ambiental, por lo cual se estima que el uso de caucho triturado se ha convertido en una gran prioridad para mitigar el impacto ecológico, optimizar el desempeño vial, reducir el costo de los cimientos de las vías y también es fundamental para poder lograr un rendimiento óptimo en la calidad de la superficie de la carretera. Li et al. (2022)

Según Castillo y Chavarri (2020), En América del Norte y América Latina está Brasil, Se investiga la incorporación de caucho de desecho en las mezclas asfálticas, según lo especificado por las normas ASTM (American Society for Testing and Materials). Hoy en día en España se vende 35 millones de neumáticos al año, Europa produce unas 2.584.140 toneladas de neumáticos al año, EEUU

también llega a los 3,6 millones de toneladas al año, por eso el gobierno español obliga a reciclar los neumáticos en las carreteras y decide que todas las carreteras deben hacerse de caucho y reutilizado, ya que se han construido 300 kilómetros de caminos de caucho llantas usadas y esta adición trae mejoras. Halil Akin & Polat, (2022)

Sofí (2018), da a conocer que la carpeta asfáltica está siendo afectado al pasar el tiempo debido al aumento del volumen de tránsito por cargas frecuentes y variaciones climáticas, lo cual trae diversos tipos de problemas en la superficie del pavimento, como agrietamientos, separación entre otros, estas fallas son unas de las mayores dificultades, en donde son causantes de la reducción de su vida útil, aunque esto se conoce que en el mercado hay materiales de buena calidad, pero la adquisición tiende a ser difícil principalmente debido al alto costo. Si bien es cierto que los daños causados por los revestimientos compuestos pueden repararse, este tratamiento tiende a volverse ineficaz ya que el rendimiento solo mejorará en un tiempo corto. Nurun Nabi et al. (2022), nos menciona que durante la última década, diversos profesionales con experiencia en el campo han mostrado un gran interés en optimizar la vida útil del asfalto mediante la realización de diversos cambios y sustitución de los componentes asfálticos por otros componentes asfálticos ambientalmente sustentables, y optimizar los costos en los pavimentos con esta nueva textura, un material más adecuado para hacer mezclas de hormigón y caucho en cantidades variables, alterando así la composición original del asfalto.

En el Perú se pueden observar caminos con defectos que afectan el tránsito vehicular, como grietas, asentamientos del asfalto, oleaje. Vale la pena enfatizar que esto pone en peligro directamente a la sociedad y la movilidad. Esto afecta a las personas, ya que provocan averías en los vehículos y desafíos en el camino, las carreteras son costosas de construir, por lo que, si están en malas condiciones, el gobierno tiene que invertir para repararlas. Cuáles son los costos adicionales, los defectos pueden presentarse de diferentes formas, mala ejecución de materiales, tasas diarias promedio mal ejecutadas que afectan directamente a la capa asfáltica y mala supervisión en obra. Sivapriya y Ganesh-Kumar (2019), para mejorar la fluencia del pavimento a altas temperaturas sin que los pavimentos sean demasiado viscosos o demasiado livianos a temperaturas más bajas, el

material que puede funcionar positivamente teniendo en cuenta estos aspectos es el caucho increíblemente reciclado que se descartó en todo tipo de vehículos. Todo el caucho reducido y debidamente procesado se reincorpora al asfalto para formar asfalto modificado, Gonzales (2019, p. 14).

Actualmente en la ciudad de Chiclayo, presenta una grave desprotección de sus vías, donde generalmente se pueden observar grandes daños de ahuellamiento, fallas físicas como mecánicas, entre otros, producidas por la alteración del cambio climático, aumento de la capacidad de carga, mayor tránsito de vehículos o mal diseño del pavimento asfáltico, por lo que se requiere colocar una superficie de rodadura que garantice una mayor transitabilidad vehicular a fin de mejores y mayores oportunidades de comercialización y tener menores costos de mantenimiento.

Como se describió anteriormente, surge el siguiente **problema**: ¿De qué manera la adición del caucho reciclado mejora las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo 2023?

Con respecto al proyecto se tendrá en cuenta las siguientes justificaciones: **justificación técnica**; da a conocer que el caucho reciclado tiene propiedades físicas- mecánicas en el concreto de asfalto que son muy favorables cuando se mezcla con material bituminoso. la **justificación social** por otro lado; el proyecto se busca hacer mejoras para la calidad de vida de la población, para reducir el tiempo y el costo de los viajes de transporte, mejorando el estado de conservación al incrementar propiedades físicas que va tener el concreto asfáltico. Asimismo, con respecto a la **justificación económica**; que al utilizar caucho reciclado conseguiremos que el asfalto produzca menores costes de mantenimiento, además de una mayor vida útil, lo que hará que sea menos fácil tapar baches y no necesite mantenimientos correctivos (relleno), también queremos reducir significativamente el presupuesto de implementación debido a que es un producto reciclable, por lo que el costo es menor. con respecto a la **justificación ambiental**, permite brindar que en la actualidad Perú anualmente se desechan 45.000 toneladas de neumáticos INEI, (2023), en donde pocas sirven para reencauche, la mayoría se destinan a rellenos sanitarios botaderos y en el peor de los casos proceden a quemarlas, lo que crea multitudes de problemas ambientales, por lo que se busca

dar a los residuos de neumáticos un destino final ecológico, evitando la contaminación al medio ambiente, asimismo dará a la mezcla asfáltica mejores propiedades diferentes a la mezcla patrón y produciendo en los pavimentos una larga vida útil.

Por consiguiente, se plantea el **objetivo general**, en lo cual se base en Analizar la adición del caucho reciclado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo -2023. Asimismo, se desarrollaron los siguientes **objetivos específicos**: Determinar las características físicas del caucho reciclado como material adicional, Chiclayo - 2023; Diseñar con diferentes porcentajes de caucho reciclado una mezcla de concreto asfáltico por el método de Marshall, Chiclayo 2023; Comparar las propiedades físicas de la mezcla de concreto asfáltico con la adición de caucho reciclado en relación al diseño de mezcla patrón, Chiclayo -2023; Identificar que propiedad mecánica mejora más al adicionar del caucho reciclado en comparación a la mezcla patrón, Chiclayo -2023.

Además, se tiene la siguiente hipótesis de la investigación: La adición del caucho reciclado mejora las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo 2023.

## II. MARCO TEÓRICO

Los pavimentos asfálticos vienen siendo utilizados con mayor frecuencia alrededor del mundo puesto que son de gran firmeza, permanencia, sostenibilidad a la exposición de los líquidos tal es el caso de las lluvias, debidos factores como la globalización y la creciente demanda de las construcciones, los requerimientos de asfalto van en constante crecimiento debido a que este constituye el material primogénito de todas las edificaciones que se realizan.

En el presente proyecto, se valoró los antecedentes, brindando sus principales opiniones y propuestas sobre el diseño de mezcla de concreto asfáltico adicionando caucho reciclado, donde surgen los siguientes autores. En el **ámbito internacional** tenemos ah Montaña Sanabria (2021), demuestran en su artículo científico sobre la factibilidad técnica y económica de agregar gránulos de caucho reciclado al pavimento asfáltico para el mejoramiento de vías terciarias en el municipio de Pesca-Boyacá y presentar un método de prueba. Su propósito general fue determinar significativamente el comportamiento mecánico de los recubrimientos, ya que brindaron soluciones para reducir las grietas en un 57,7%, reducir las arrugas en un 78,67% y reducir la resistencia a la fatiga en un 69,89%, además se espera que sea una excelente solución ambiental y procesamiento final de neumáticos viejos. El mencionado proyecto afirma que el uso de GCR en mezclas asfálticas mejora 2.5% en su artículo de revisión científica.

Villa et al. (2020), en su artículo de estudio titulado: “Modificación de la superficie de goma de los neumáticos para pavimentos al final de su existencia: un enfoque de diseño de experimentos” tiene como objetivo evaluar la propiedad mecánica y dinámica en la mezcla asfáltica reciclada observando cuánto influye en una mezcla convencional. Por ello, se consideran los parámetros de la prueba de Marshall, los autores concluyeron que el uso de caucho de llanta en la mezcla asfáltica es ventajoso porque proporciona una mejor cohesión y adherencia del asfalto y mejora la recuperación elástica del ligante asfáltico que se utiliza hasta en un 40 %, y esto es un factor de gran importancia en el uso de materia prima y el costo hasta un 50 %.

Por otro lado, Castañeda y Mantilla (2019), en su artículo de revisión científica titulada “ Assessment of Simultaneous Incorporation of Crumb Rubber and Asphaltite in Asphalt Binders”, dado que El objetivo general es analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la adición de polvo de caucho recuperado a varias temperaturas hasta lograr una durabilidad óptima. En este estudio se utilizó un enfoque descriptivo, presentando diferentes cargas de caucho de 8% y 10%, y los autores encontraron que al agregar 8% de caucho reciclado, la estructura de la mezcla mejoró positivamente el asfalto, llegando a la conclusión de que da buenas propiedades al asfalto 76.5° aumenta la durabilidad, mejora las propiedades mecánicas y la resistencia a la deformación, previene diversos tipos de daños.

De manera similar, Marathe et al. (2021), en su estudio titulado “Estudios de resistencia y durabilidad de mezclas de concreto de alta calidad para pavimentos activados con álcali curados con aire que incorporan agregados reciclados” tuvo como objetivo general estudiar los componentes no biodegradables que podrían ser reciclados para la resistencia y durabilidad de mezclas de concreto para pavimentos. Los materiales reciclados son caucho y poliestireno provenientes de llantas de desecho de los automóviles para dar un mejor desarrollo de las características mecánicas, físicas y químicas de las carpetas fálticas, la conclusión obtenida en este trabajo es que al aplicar el polvo de caucho proveniente de llantas recicladas es beneficioso para el asfalto, representan una valiosa oportunidad para obtener pavimentos que se comportan mejor que los pavimentos convencionales.

Al-Subari et al. (2021), detalla una descripción en su artículo científico titulado “la utilización de polvo de neumáticos de caucho de desecho para perfeccionar las características mecánicas de los asfaltos” tuvieron como objetivo evaluar el diseño de mezclas de concreto asfáltica aplicación del polvo de llantas de desecho por método de compactación ligera añadiendo un 2.5%, 5%, 10% y 20% de caucho pulverizado. Se concluyó que el reciclaje de asfalto brasilero utilizando polvo de caucho en un 5 % y 10% presentan mejoras, reduce al desgaste y mejores propiedades de los pavimentos que las convencionales, de esa manera los pavimentos podrían tener una vida de servicio más prolongada, el precio del mantenimiento disminuye y tienden a una durabilidad mucho mayor.

En el **ámbito nacional**, para Salidas, (2019) en su investigación titulada “técnicas para la aplicación de MICROPAVIMENTO de caucho reciclado y asfaltos modificados con polímeros”. Tuvo el objetivo Identificar formas tecnológicamente innovadoras de reconstruir carreteras utilizando caucho reciclado y asfaltos tratados químicamente y plásticos químicos, demostrando así mejores en sus las características físicas y mecánicas del asfalto tratado químicamente en relación con el asfalto patrón. Por último, la investigación concluyo que la aplicación del caucho otorga mejores resultados en las características de una mezcla asfáltica, en donde disminuye sus propiedades de vacíos, mejora su estabilidad y aumenta la vida útil del pavimento de trabajo, en donde se redundara en ahorros en la fase de construcción y mantenimiento.

Asimismo, según Portocarrero Gomez (2019), en su tesis titulada “Influencias de caucho reciclado en las mezclas asfálticas en frío para el uso en el parchado de las carpetas asfálticas”. El objetivo fue conocer el efecto del caucho reciclado utilizado en la mezcla asfáltica en frío en el parche asfáltico de las aceras de la ciudad, utilizando como método un enfoque cuantitativo, luego de efectuar el estudio llegaron a sus conclusiones.; en mezcla asfáltica en frío se pudo establecer el efecto del caucho de desecho en el parchado de grietas asfálticas en pavimentos urbanos, debido a que se encontró que la concentración óptima de emulsión asfáltica es de 6.33%, en donde la utilización del caucho ayuda mucho aumentar sus características mecánicas de la mezcla.

En su investigación Mantilla Forero y Castañeda Pinzon (2019), en su investigación logro hallar que el 6,8% representa un ahorro en relación a la utilización de pavimentos con restos de llantas en contrastación con los pavimentos cambiados y aproximadamente del 14% en economizar combustible; en consecuencia se determinó que había una mejora a la creación de deformaciones, resistencia a temperaturas bajas, mayor durabilidad a la fatiga y oposición al deterioro por la humedad, ello se denoto con las pruebas practicadas en el laboratorio que permitió enumerar las cualidades mecánicas de los pavimentos elaborados con llantas reutilizables.

Capcha Espinoza (2018), en su tesis titulado “Diseños de mezclas asfálticas con incorporación de caucho reciclado, Tacna 2018”, cuyo objetivo principal fue

analizar la utilización del grano de caucho reciclado (GCR) como componente, para un modelo de asfaltos modificado, en cual concluye que al incorporar GCR se obtiene un diseño de mezcla asfáltica con mayor durabilidad, resistencia a la fatiga y al envejecimiento a las deformaciones plásticas, mediante los ensayos que realizo se logra tener mejores resultados en una mezcla asfáltica modificada ofreciendo mejores propiedades elásticas una mejor rigidez con un 57% en relación de una mezcla asfáltica patrón, mejora resistencia a la deformación en un 87.6% y ofrece un mejor servicio al tránsito vehicular.

Por otra parte, en el **ámbito local**, tenemos de Flores Jiménez & Lobato Mendoza (2021), en su tesis de grado titulada. “Diseños de mezclas asfálticas SMA modificadas con polímeros SBS para mejorar la resistencia del pavimento de la Av. Chiclayo Lambayeque”, tuvieron como objetivo examinar el comportamiento de las capas asfálticas después de la conversión con polímeros SBS, en clima fría. Al desarrollar las pruebas de ensayos respectivos usando el ensayo Marshall se concluye que el uso de varios compuestos con polímero SBS es más trabajable, optimiza su composición molecular y rendimiento en mezclas asfálticas y forma una barrera contra el rápido deterioro del asfalto capa impenetrable asfalto, extendiendo su servicio de vida útil.

Según Ziari & Hajiloo (2023), el diseño de mezcla balanceada es un método alternativo para determinar el Aglomerante Óptimo Contenido de mezclas asfálticas que considera tanto propiedades volumétricas como de desempeño. Sin embargo, la factibilidad de usar este método para diseñar mezclas asfálticas con alta recuperación materiales de pavimento asfáltico (RAP) (por ejemplo, 25% y 50%) sin y con diferentes tipos de los agentes de reciclaje (RA) deben investigarse más a fondo. Los resultados mostraron que las mezclas mezcladas con RAP y sin RA mejoraron su resistencia al agrietamiento. Se concluyó que el SMD podría no ser un método apropiado para diseñar las mezclas que contienen materiales con alto contenido de RAP con y sin RA.

Según Quispe y Anthony (2022), en su artículo científico “Implementar con el grano de caucho reciclado para mejorar la mezcla asfáltica de pavimento flexible en Ica, 2021”. La finalidad de este estudio es señalar el efecto de incorporar caucho granulado fuera de su uso en mezclas asfálticas para pavimentos flexible, con base

en resultados de laboratorio utilizando el método Marshall. Los resultados que se obtuvieron fueron agradables, en donde se demuestran que en el rango de 0.5 - 4% de partículas de caucho se puede lograr la mejora de las mezclas asfálticas para pavimento flexibles. Concluyeron que las partículas de caucho en un 2.5 % tuvieron un efecto positivo en la mezcla asfáltica en pavimentos flexibles, aportando mejoras en sus características de densidad, flujo, porcentaje de vacíos y estabilidad.

De igual manera Shin et al. (2019), quienes en la investigación "Influencias de partículas de caucho reciclado como agregado en el diseño de mezclas asfálticas", los autores buscan una solución en base a los requerimientos del hormigón asfáltico, factores de temperatura, su viscosidad, estabilidad. Lograron encontrar una gran cantidad de bienes con modificación de 5 % de polvo de caucho que mejoran el estado de la mezcla a diferencia a la mezcla tradicional. Se concluye que los neumáticos al final de su vida pueden ser utilizado en el hormigón asfáltico ya que interviene en la temperatura, la viscosidad y también mejora el 77,4% de resistencia a la deformación, aumenta la estabilidad en un 12 % y hace más económico el uso de material granulado.

Camacho y Castañeda (2021), dan a conocer en su artículo científico, en la cual evaluaron la adición de caucho reciclado para perfeccionar las propiedades de la capa asfáltica. El objetivo principal fue determinar el impacto de agregar caucho recuperado de NFU en el diseño de mezclas asfálticas. Estos autores concluyen que la aplicación de un 1,5% de caucho reciclado perfecciona significativamente las características mecánicas de los pavimentos asfálticos, como la estabilidad, en un 10% respecto a las mezclas convencionales.

A continuación, daremos a conocer teorías relacionadas a nuestro proyecto:

Caucho reciclado; según Quilca et al. (2021), nos menciona que son anillos circulares de caucho que envuelven la llanta, los cuales a su vez este elemento esta fuera de su uso, esto puede ser utilizado para la aplicación en el área de gras sintético, asimismo para la adición de mezclas de concreto asfálticas.

Campos et al. (2021), revelaron que la reutilización del caucho tiene una amplia gama de aplicaciones y usos, siendo más utilizado en algunos países

porque tienen ramas que ayudan a proteger el medio ambiente, el caucho tiene una buena resistencia a la electricidad y el exceso de neumáticos.

Por otro lado, Mendoza & Alexander (2019), nos da a conocer el caucho pulverizado. En lo cual consiste en partículas de caucho obtenidas a partir de productos de desecho, elaborados con los mismos polímeros de los neumáticos, cuya estructura molecular se caracteriza por su permeabilidad, durabilidad, solidez, resistencia viscosidad, densidad y absorción de impactos.

Características físicas del caucho; uno de las propiedades físicas del caucho es la durabilidad, en donde este material es muy resistente al cambio climático o altas temperaturas no presenta solubilidad y atrae componentes livianos que ayuda a mejorar la resistencia al fisuramiento Elisa Sofía y Hanz Ezio (2019).

La granulometría: el análisis de granulometría utiliza la metodología Marshall para realizar un procedimiento manual que permite separar las partículas constituyentes del árido según el tamaño proporcionado por el peso total. se usa malla con diferentes aberturas para medir el tamaño, cada una de las cuales produzca el tamaño de agregado más grande. En la práctica, el peso de cada dimensión se expresa como un porcentaje del patrón total restante para cada puntada. Se calculan sumas parciales para cada cuadrícula. Porque en este último procedemos a dibujar un diagrama de los valores del material (granulometría) Castañeda Granda (2018).

Diseño de mezcla asfáltica, Según Prado y Gustavo (2020), estableció que es la combinación de los materiales pétreos, en lo cual esta mezcla es aplicada para la construcción de vías, aeropuertos, pavimentos industriales etc. Asimismo, este diseño de mezcla debe ser capaz de soportar una buena resistencia, durabilidad, estabilidad a los distintos pavimentos expuestos a distintos climas.

Ensayo Marshall, establece en reconocer las distintas dosificaciones aplicadas a la calzada en el caso de mezclas oleosas preparadas en caliente (MBC). Los estudios de estabilidad dicen empíricamente que lo más importante de los resultados es la capacidad de evaluar el movimiento del campo que se pierde cuando se desarrolla cambios en el procedimiento estándar García y Hugo (2020).

Ensayo granulométrico de suelos es una de las pruebas más básicas y simples para caracterizar suelos, pero es la menos importante, Solo con esta prueba se pueden abordar las propiedades geotécnicas clave de los suelos como la capacidad portante, la deformabilidad y la permeabilidad esto debe de estar de acuerdo a los estándares establecidos por las normas técnicas ASTM, NTP y MTC Ruben Elie & Marlon Gaston (2022).

Propiedades del Asfáltico: tenemos las propiedades físicas, en donde uno de ellos es la densidad, en lo cual es una propiedad muy importante porque una alta densidad del pavimento terminado es esencial para una larga vida útil asimismo esta propiedad en una mezcla compacta se conoce como su peso de un volumen específico de la mezcla, en donde también se tiene la propiedad de porcentaje de vacíos, en donde las briquetas se utiliza como criterio en los métodos para calcular la mezcla ideal de asfalto para su operación en una superficie de carretera real, así como un parámetro para evaluar la compactación de superficies de carreteras existentes Céspedes Ojeda (2019).

Flexibilidad: es la amplitud del asfalto de amoldarse a desplazamiento y hundimiento gradual del asfalto de la subrasante sin agriete, Landaeta (2018, pág. 42).

En propiedades mecánicas contamos con la Estabilidad: en esta propiedad el asfalto tienen la capacidad de resistir el movimiento y la deformación bajo cargas de tráfico. Un recubrimiento estable mantiene su suavidad y forma bajo cargas repetidas; La estabilidad debe tener los valores especificados en la norma, de lo contrario produciremos una base muy dura, lo cual es indeseable y menos duradero, Breña Vásquez (2019).

Flujo; Según German Jassler y Noe (2021), el flujo es una forma de determinar el movimiento de una mezcla de prueba bajo una carga constante y aunque no existe un número perfecto, existen límites establecidos por el diseño asfáltico, más allá de los cuales su mezcla puede ser rígida o dúctil.

### **III. METODOLOGÍA**

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

##### **3.1.1. Tipo de investigación:**

En nuestra búsqueda se ha considerado el enfoque cuantitativo, en donde sus variables son medibles y por lo tanto pueden ser analizadas en donde se recopilan datos específicos para las variables de estudio para llegar a realizar investigaciones aplicadas mediante la recopilación de datos (herramientas como fichas de validación), con estas herramientas se evaluará aprobación de la hipótesis propuesta. Asimismo, es de orientación de tipo aplicada, debido a que se utilizó el uso de caucho reciclado para asfalto, mediante ensayos a briquetas para dar solución a la problemática, con el fin de desarrollar un análisis posterior de la adición del caucho reciclado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo -2023.

Para Lozada Pérez (2019), señala que la investigación aplicada está directamente relacionada con el proceso entre la teoría y el producto. Esto demuestra que los estudios son de enfoque cuantitativo, para poder argumentar las hipótesis formuladas en proyecto. Para esta investigación contaremos con dos diseños de mezcla de concreto asfáltico distribuidos en 70 briquetas.

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

Diseño experimental: este es un tipo cuasi experimental. En cuanto Borja Suárez (2018), indica que un plan de investigación se refiere a una estrategia que un investigador ha adaptado para responder a una dificultad, deficiencia o problema encontrado durante, asimismo señala que un diseño experimental hace referencia a una investigación en el que una o más de una variable independientes son manipuladas intencionalmente.

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

Hernández Sampieri & Mendoza (2018), mencionan que las variables son validadas experimentalmente y utilizadas por los investigadores para probar hipótesis. Es una propiedad, cualidad, característica o habilidad que puede afectar y de cambiar o marcar el comportamiento de otras variables.

## **Variables de estudio:**

**Variable Independiente:** Caucho reciclado.

**Definición conceptual:** son anillos circulares de caucho que envuelven la llanta, los cuales a su vez este elemento esta fuera de su uso, en lo cual esto puede ser utilizado para la aplicación en el área de sintético, asimismo para la adición de mezclas de concreto asfálticas.

**Definición operacional:** El Caucho reciclado pulverizado, adicionando porcentajes en la mezcla asfáltica, su instrumento de medición, de granulometría, peso unitario del caucho se registra en fichas de los ensayos del laboratorio.

**Dimensión:** Características físicas y porcentajes de caucho pulverizado.

**Indicadores:** Peso unitario, densidad y granulometría.

**Escala de medición:** De razón e intervalo.

**Variable Dependiente:** Mezcla de concreto asfáltico.

**Definición conceptual:** La mezcla asfáltica es la combinación de los materiales pétreos, en lo cual esta mezcla es aplicada para la construcción de vías, aeropuertos, pavimentos industriales etc. Asimismo, este diseño de mezcla debe ser capaz de soportar una buna resistencia, durabilidad, estabilidad a los distintos pavimentos expuestos a distintos climas.

**Definición operacional:** Las propiedades físicas, y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica se han determinado a través de los diseños Marshall.

**Dimensión:** Propiedades físicas y propiedades mecánicas.

**Indicadores:** Vacíos %, VMA, densidad, estabilidad y flujo.

**Escala de medición:** De razón.

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

#### **3.3.1. Población**

Como señala Cohen & Gómez Rojas, (2019) afirma que la población son expresiones equivalentes para denotar un grupo de elementos que conforman el área de interés analítico y sobre que queremos sacar las conclusiones de carácter estadístico y nuestro análisis, así como de carácter temático o teórico. De la misma manera Sánchez Carlessi et al. (2018), la población viene hacer un conjunto de personas, individuos u organizaciones que son objeto de un estudio.

En un estudio social se suelen distinguir 2 grupos de organizaciones: se tiene población objetivo, viene hacer la población completa pero que no está apto, por otro lado, la población que es probable obtener. Es necesario definir claramente el número de sujetos que tiene la población y cuáles son sus propiedades principales, las propiedades vine hacer: De género; esto significa masculino y femenino, su edad promedio, antecedentes familiares, detalles ocupacionales o económicos familiares de padres y estudiantes, estos atributos pueden servir como variables de intervención.

En efecto en esta investigación la población esta referida a la mezcla de concreto asfaltico en lo cual se desarrollará 70 briquetas para determinar cómo el caucho reciclado combinado en dosificaciones adecuadas, mejora en forma positiva las propiedades físicas, mecánicas del asfalto.

#### **3.3.2. Muestra**

Para Ruiz et al. (2021), es un subconjunto de las unidades representativas, elegidas en la forma al azar y sometidos a observación científica con el fin de conseguir resultados válidos para la investigación.

En esta investigación, la muestra es parte de la población, en lo cual tenemos 70 briquetas de asfalto, 30 briquetas son mezclas asfálticas en caliente sin adición de caucho reciclado y 40 briquetas con adición de diferentes contenidos de caucho reciclado.

### **3.3.3. Muestreo**

Según Otzen y Manterola (2017), los métodos de muestreo son una agrupación de técnicas estadísticas que investigan cómo seleccionar una muestra de carácter probabilístico o no probabilístico. En la investigación se utiliza del carácter no probabilístico, en donde permite al investigador seleccionar una muestra en base a sus propios criterios, juicio, por lo que la muestra se construye por conveniencia y le permite seleccionar los casos disponibles que acepta incluir en función de la disponibilidad de conveniencia y la proximidad del sujeto al investigador

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

### **3.4.1. Técnicas**

Como afirma Baena, G. (2018), la investigación selecciona el método más adecuado considerando la disponibilidad de variables de búsqueda y grupos muestrales. Esta técnica puede ser encuestas, entrevistas u observación directa. Según el equipo, los investigadores eligen cómo utilizar estas herramientas para recopilar datos fiables y precisos. El deseo del equipo de trabajar en equipo o individualmente determinará la elección del método de trabajo.

Asimismo, las técnicas que se utilizó para la recolección de datos en el presente estudio son: observación directa y los ensayos de laboratorio (medición). De igual modo, para lograr resultados claros emplearemos guías viales, de geotécnicas, suelos, geológicas y de pavimentación con diseños recomendados basados en las características de la vía.

### **3.4.2. Instrumento**

El instrumento es el material básico de la investigación científica, donde permite cuantificar las variables del estudio, es válido y confiable, y garantiza la objetividad del estudio a través de la evaluación de expertos. La herramienta utilizada con el fin de recoleccionar la información son, las fichas de los ensayos del laboratorio y las fotografías.

## **Validación del instrumento**

La verificación del instrumento se puede realizar a través de tres procesos: verificación de prueba piloto, juicio de expertos y estadística. La validación del juicio de expertos la realizan profesionales o expertos en variables funcionales que observan la profundidad o importancia de un ítem o pregunta en función de las propiedades de la muestra. Nuestra validación esta empleada elaborando documentos firmados y sellados mediante profesionales expertos. Por lo tanto, la validación se dio en base de criterios de expertos, en juicios de profesionales de la carrera de ingeniería civil.

## **Confiabilidad del instrumento.**

Según Esquivel & Díaz, (2020) la confiabilidad es la conexión y firmeza de un instrumento que se intenta aplicar.

La confiabilidad se sustentará con el certificado de calibración de cada equipo automatizado que se utilizará para los ensayos de esta investigación.

## **3.5. Procedimientos**

Para la realización de los objetivos de nuestra investigación, primeramente, se obtiene los materiales para la mezcla asfáltica, los agregados tanto como grueso y fino se obtiene de la cantera tres tomas-Ferreñafe, asimismo conseguimos en caucho reciclado de una recauchadora, luego pasamos a desarrollar los ensayos en el laboratorio de ensayos de materiales FARMATI SAC.

Pasamos a determinar las características físicas del caucho reciclado como su peso unitario su densidad y el análisis granulométrico, asimismo también como de los agregados, realizamos el ensayo de peso compactado y unitario de agregado fino. Obtenemos una muestra de 500 gramos para luego poner a un recipiente normado con un volumen de molde de 0.00436 y el peso de molde 6309 gr, después pasamos hacer una caída libre de la arena y nivelamos el molde y retiramos el material sobrante, ahora para la muestra compactada se utiliza una varilla, en donde se compacta en 25 golpes en 3 capas, en cual se pasa a registrar el peso unitario.

Para el agregado grueso, obtenemos una muestra de 500 gramos para luego poner a un recipiente normado con un volumen de molde de 0.00436 y el peso de molde 8446 gr, después pasamos hacer una caída libre del agregado grueso y nivelamos el molde y retiramos el material sobrante, ahora para la muestra compactada se utiliza una varilla, en donde se compacta en 25 golpes en 3 capas, en cual se pasa a registrar el peso unitario.

#### Análisis granulométrico

Se realizó un análisis granulométrico combinado de acuerdo a la NTP 400.012 y ASTM D422. En primer lugar, se realizó un análisis de gravedad específica y masa comprimida, absorción y gravedad específica de agregados gruesos y fino, los materiales que agregamos fueron Arena Chancada 1/4", Grava Chancada 3/4", ceniza y cemento asfáltico pen 60/70. Agregue asfalto precalentado con una temperatura de mezcla de no más de 150°C.

Por último, se realiza el Ensayo Marshall.

Primeramente, iniciamos con la mezcla todos los materiales tanto el cemento asfáltico, agregado grueso y agregado fino, para el diseño patrón y adicionamos el caucho reciclado para el diseño modificado, los componentes dejamos hasta que logren una mezcla muy homogénea a una temperatura de 300° C. Posteriormente la mezcla caliente se coloca en los moldes Marshall precalentados, luego las briquetas pasan al compactado mediante golpes con el martillo Marshall 75 golpes por cada cara, teniendo un total de 150 golpes dirigiéndose a un tránsito pesado. Después se pasa a desmoldear las briquetas y se deja reposar por 24 horas, luego pasamos a colocar las briquetas tanto convencional como modificada al agua por 30 minutos, después retiramos y colocamos a la máquina de baño maría por 30 minutos con 60°C y luego culminamos con la ruptura de las briquetas.

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

Según Gómez (2016), el método de análisis de datos consiste en investigar situaciones y lograr obtener datos superiores.

En nuestra investigación se efectuó un análisis de datos cuantitativos en donde se obtiene datos mediante ensayos físicos, cuadros, gráficos comparativos,

proporciones con sus interpretaciones y que luego serán tomadas para la posterior contrastación de hipótesis.

### **3.7. Aspectos éticos**

Abrahàn & Salazar, (2018) argumentan que la ética es muy fundamental en la investigación porque se caracteriza por proteger el bien del mal.

En este estudio hemos trabajado con el cumplimiento con los principios y lineamientos descritos en el código de ética por la Universidad Cesar Vallejo, además cumpliendo con los principios éticos, dignidad, justicia y autonomía, asimismo se ha evitado incurrir en la copia de información de otros autores. En beneficencia, la investigación cuenta con interés a procesos científicos, lo cual los resultados aportan a futuros estudios científicos. No maleficencia, el desarrollo del estudio no existe ningún daño tanto psicológico o físicamente con los participantes que aportan con sus conocimientos. Autonomía, se respeta todas las opiniones o decisiones del participante que pueda llegar aportar a la investigación También se tiene en cuenta las normativas del reglamento MTC, ASTM y AASHTO que son necesarios para la presente investigación.

#### IV. RESULTADOS

**4.1. Resultados del primer objetivo específico:** Determinar las características físicas del caucho reciclado como material adicional, Chiclayo -2023.

El caucho reciclado para adicionar al diseño de mezcla de asfalto proviene de la Empresa Tecnillantas "El Chasqui", ubicado en: Pról. Av. Venezuela Mz. D Lote. 53. La Parada, provincia de Chiclayo -Lambayeque. Se determino las características físicas que se muestra en la tabla 2.

**Tabla 1. Características del Caucho Reciclado.**

Características Físicas del Caucho	
Descripción de las características	Valor
Peso Unitario	1.15 g/cm <sup>3</sup>
Densidad	0.241 g/cm <sup>3</sup>

Fuente: elaboración propia.

#### Interpretación:

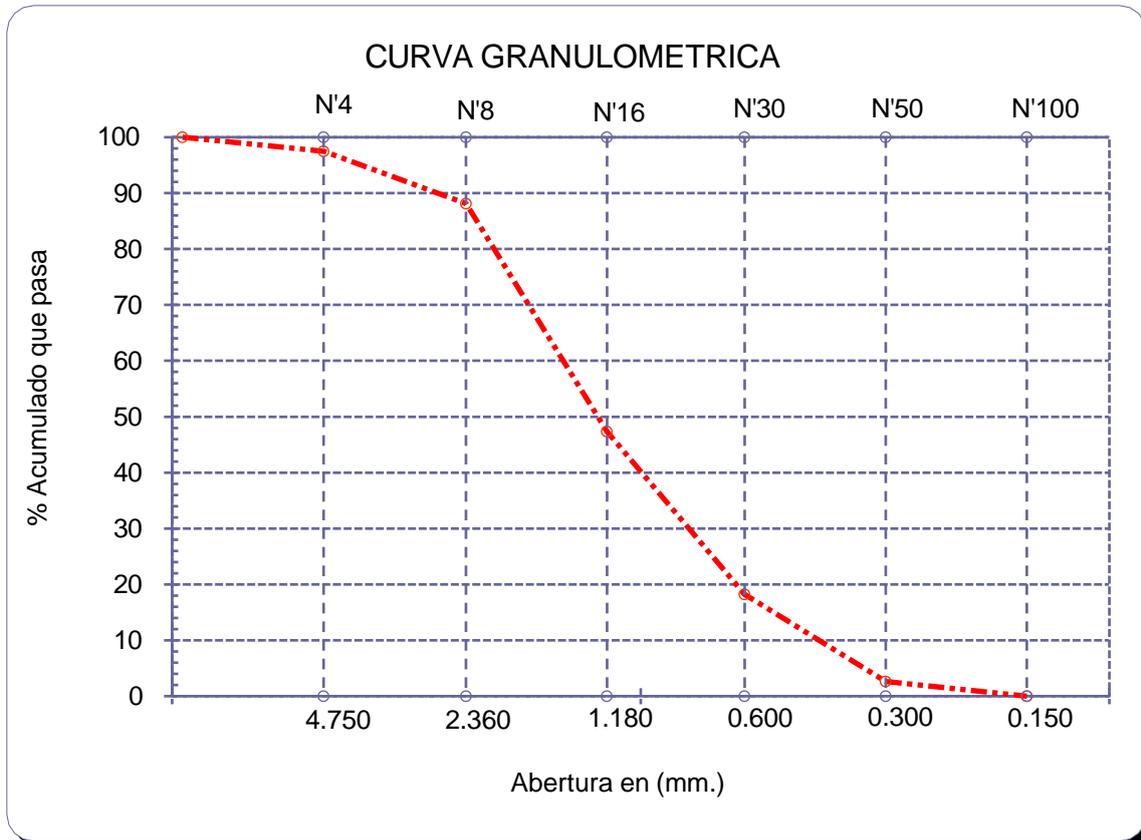
En la tabla 2 podemos observar una cifra equivalente de 1.15 g/cm<sup>3</sup> del peso unitario del caucho, de la misma madera tenemos su densidad que es 0.241 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 2. Análisis Granulométrico del Caucho Reciclado.**

Caucho Reciclado Triturado					
Malla		Peso Ret. (gr)	(% Ret.)	(% Acum Ret.	(% Acum que pasa.
Pul.	(mm.)				
3/8"	9.52	0.00	0.00	0.00	100
Nº 4	4.8	5.00	2.5	2.5	97.5
Nº 8	2.36	18.8	9.5	11.9	88.1
Nº 16	1.18	81.5	40.8	52.7	47.4
Nº 30	0.60	58.30	29.1	81.8	18.2
Nº 50	0.30	31.1	15.5	97.4	2.7
Nº 100	0.15	5.3	2.6	100	0.0
Nº 200	0.075	0.00	0.00	100	0.00
<b>Peso de muestra</b>				<b>200g</b>	

Fuente: elaboración propia.

Módulo de fineza	= 3.2
Abertura de malla de referencia	= 9.52
Tamaño máximo	= 3/8"
Tamaño máximo nominal	= N.º 04



**Figura 1.** Curva Granulométrica de caucho reciclado.

Fuente: elaboración propia.

### Interpretación

Podemos observar en la imagen en la malla número 4 con una abertura de 4.8 mm tiene un 97.5 % de acumulado que pasa de caucho reciclado, y en la malla número 16 con una abertura de 1.18 mm pasa un acumulado de 47.4 % de caucho reciclado, mientras en la malla número 100 con abertura de 0.15 mm tiene 0 % de caucho acumulado.

**4.2. Resultados del segundo objetivo específico:** Diseñar con diferentes porcentajes de caucho reciclado una mezcla de concreto asfáltico por el método de Marshall, Chiclayo 2023.

#### 4.2.1. Caracterización de los materiales

Una de las etapas iniciales de desarrollo de mezclas asfálticas, es identificar la calidad de cada uno de los elementos que conforma la mezcla estudiada, de esa manera tener buen comportamiento del producto final, realizando de acuerdo a las Normas Peruanas.

#### Ensayo de absorción

Se presenta los resultados obtenidos el peso específico y absorción del agregado fino y grueso, en donde se muestra que su peso específico de la arena es de 2,592 g/cm<sup>3</sup> y su absorción es de 1.01 %, mientras de la piedra su peso específico es 2.669 g/cm<sup>3</sup> y absorción 0.52 %.

**Tabla 3. Peso específico y absorción.**

Resultados		Agregados	
		Fino	Grueso
Peso específico de masa	(g/cm <sup>3</sup> )	2.592	2.669
Peso esp. De masa sat. Sup. Seco	(g/cm <sup>3</sup> )	2.618	2.683
Peso específico aparente	(g/cm <sup>3</sup> )	2.662	2.706
Porcentaje de absorción	(%)	<b>1.01</b>	<b>0.52</b>

Fuente: elaboración propia

#### Ensayo de abrasión

Habiendo realizado el análisis de resistencia del agregado grueso con la máquina de los ángeles, se logra tener un resultado satisfactorio al obtener un desgaste de 19.1 %, lo cual se encuentra dentro del rango de valores permitido por la norma MTC E 207 / ASTM C-131 dando un valor máximo de 25%. Esto permitió asegurar que el material pasa ¾" sigue con una buena reacción dentro del material de mezcla asfáltica y ayuda a incrementar su resistencia y sus propiedades mecánicas.

**Tabla 4. Resultados de Abrasión del agregado grueso.**

Descripción	Triturado que pasa 3/4"
Gradación	B
Peso inicial	5000
Peso final	4046.6
% de desgaste por abrasión	19.1
Norma < 25%	Cumple

Fuente: elaboración propia

### **Ensayo de durabilidad**

Esta prueba es necesaria para determinar la resistencia a la degradación de los agregados de soluciones saturadas de sulfato de sodio o magnesio para garantizar la calidad de los agregados expuestos a las influencias atmosféricas durante su tiempo de vigencia.

**Tabla 5. Resultados de durabilidad del agregado fino.**

Tamices		% de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8"	N.º 4	0.7
N.º 4	N.º 8	0.8
N.º 8	N.º 16	0.6
N.º 16	N.º 30	0.5
N.º 30	N.º 50	1.7
N.º 50	N.º 100	2.0
<b>Total</b>		<b>6.3</b>

Fuente: elaboración propia

Observamos en la tabla 6 el resultado obtenido de la durabilidad del agregado fino teniendo la desaparición del efecto de los sulfatos de magnesio de 6.3%, en donde es un valor adecuado para su uso como agregados en la mezcla asfáltica y la mezcla con adición, asimismo se considera que el máximo exigido en la norma MTC E 209 es del 12%.

**Tabla 6. Resultados de durabilidad del agregado grueso.**

Tamices		% de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 ½"	
1 ½"	¾"	3.1
¾"	½"	1.1
½"	⅜"	0.9
⅜"	N.º 4	1.4
<b>Total</b>		<b>6.5</b>

Fuente: elaboración propia

### **Equivalente de arena**

Si bien la norma MTC E-114 nos menciona que el equivalente de arena es un mínimo del 50% para mezclas densas, los resultados obtenidos el equivalente de arena es de 75%, en donde cumple con las condiciones establecidas, lo que ayuda a lograr mejores resultados en las propiedades del asfalto

**Tabla 7. Resultado de equivalente del agregado fino.**

Muestra N.º	1	2	3
Tamaño máximo (mm)	N.º 4	N.º 4	N.º 4
Altura máxima del material fino (cm)	3.50	4.70	3.50
Altura máxima de la arena (cm)	2.70	3.40	2.60
Equivalente de arena	77.14%	72.34%	74.29%
Equivalente de arena (EA)	<b>75 %</b>		

Fuente: elaboración propia

### **Análisis granulométrico**

Se somete al análisis granulométrico combinado del material propuesto para el desarrollo en este estudio, como se muestra a continuación.

Los materiales que se usa, es el agregado grueso de ¾" un 66%, agregado fino ¼" con un 34%, 2.5% de ceniza y cemento asfáltico pen 60/70.

Granulometría combinada de los materiales Según MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27.

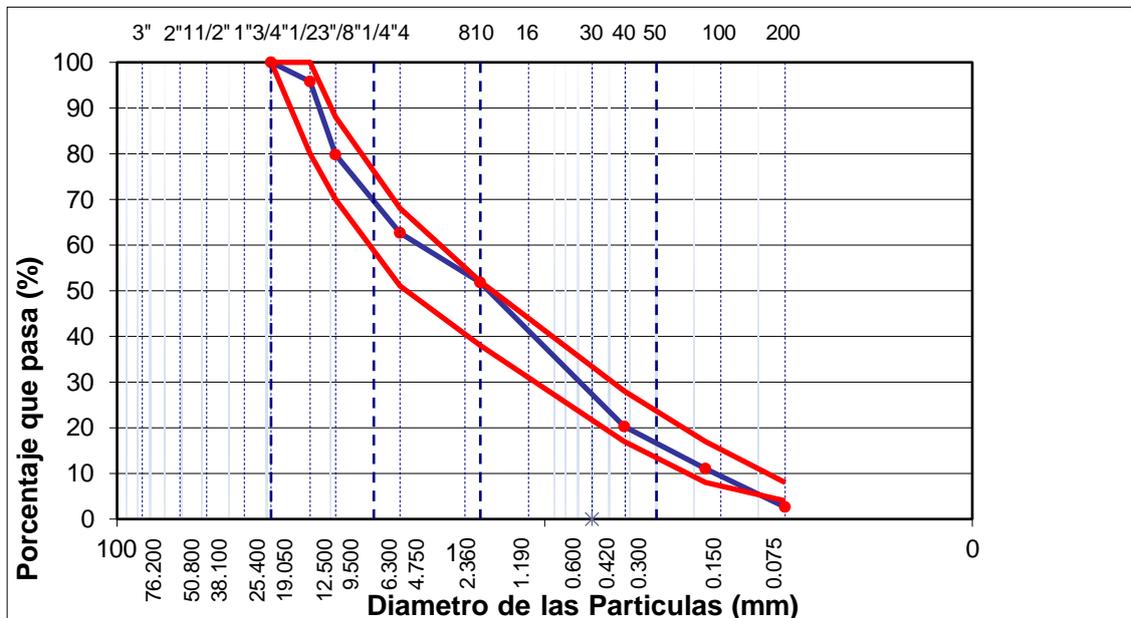
**Tabla 8. Resultados de Análisis Granulométrico Combinado.**

Malla		Peso Ret. (gr)	(% Ret.)	(% Acum Ret.)	(% Acum que pasa.)	Especificación		Condición
Pul.	(mm.)							
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100			
3/4"	19.000	1818			100	100	100	cumple
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80	100	cumple
3/8"	9.500	961	16.0	20.2	79.8	70	88	cumple
Nº 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51	68	cumple
Nº10	2.000	346.0	10.8	48.2	51.8	38	52	cumple
Nº40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17	28	cumple
Nº80	0.177	294.7	9.2	89.0	11.0	8	17	cumple
Nº200	0.075	268.2	8.4	97.4	2.6	4	8	cumple
Fondo		83.5	2.6	100.0				
<b>Peso inicial seco</b>				<b>6000 g</b>				

Fuente: elaboración propia

Módulo de fineza = 3.1

Tamaño máximo = 3/4"



**Figura 2.** Curva Granulométrica combinado

Fuente: elaboración propia

#### 4.2.2. Diseño de mezcla de concreto asfáltico

##### Ensayo Marshall

Se elabora el diseño de mezcla de concreto asfáltico patrón con 5 diferentes porcentajes de cemento asfáltico de 4.0, 4.5, 5.0, 5.5y 6.0%. Distintas probetas fueron desarrolladas de acuerdo a la norma técnica MTC con 75 golpes a cada lado de la briqueta para compactación diseñada para tráfico pesado.

**Tabla 9. Resultado de diseño de mezcla asfáltica patrón.**

<b>Cemento Asfáltico (%)</b>	<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Vacíos de la mezcla (%)</b>	<b>V.M. A (%)</b>	<b>Estabilidad (kg)</b>	<b>Flujo (mm)</b>
<b>4.0</b>	1.989	1.11	3.56	1248	2
<b>4.5</b>	2.170	2.99	3.76	1501	3.67
<b>5.0</b>	2.219	2.32	3.77	1071	2.78
<b>5.5</b>	2.207	1.42	3.49	1177	3.7
<b>6.0</b>	2.205	1.99	3.76	1250	3.01

Fuente: elaboración propia

Posteriormente pasamos a obtener los parámetros de Marshall con el porcentaje óptimo de asfalto, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 10. Parámetros del diseño Marshall.**

<b>Diseño de Marshall MTC E 504</b>			
<b>Criterios</b>	<b>Resultados</b>	<b>Según Norma</b>	<b>Especificaciones</b>
Compactación, número de golpes por lado.	75	75	Cumple
Estabilidad (min, kg)	1350	8.15 kN	Cumple
Flujo 0.01" (0.25mm)	3.68	2 – 4	Cumple
% vacíos con aire	4.23	3 – 5	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	14.78	≥14%	Cumple
Relación polvo – Asfalto	1.05	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: elaboración propia

En la tabla 11 se muestra los resultados del diseño de mezcla asfáltica patrón, se tienen una estabilidad de 1350 kilogramos, con respecto al flujo llego a 3.68, luego tenemos los resultados del porcentaje de vacíos con aire resaltando un 4.23 y 14.78 de vacíos en el agregado mineral, y la relación polvo – asfalto llega a un indicador equivalente de 1.05 en lo cual estos resultados se logran cumplir de acuerdo a la norma del diseño Marshall MTC E 504.

### **Diseño de mezcla asfáltica adicionando caucho reciclado**

Se elabora briquetas con 4 diferentes porcentajes de caucho (1, 1.5, 2 y 3.5%). Dichos resultados obtenidos de cada diseño se muestran en la siguiente tabla:

Mezcla asfáltica con la adición del 1 por ciento de caucho reciclado.

**Tabla 11. Diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 1 %.**

Diseño de Marshall MTC E 504			
Criterios	Resultados	Según Norma	Especificaciones
Compactación, numero de golpes por lado.	75	75	Cumple
Estabilidad (min, kg)	1407	8.15 kN	Cumple
Flujo 0.01" (0.25mm)	3.61	2 – 4	Cumple
% vacíos con aire	3.89	3 – 5	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	15.54	≥14%	Cumple
Relación estabilidad - flujo (kg/cm)	1873.82	1700 - 4000	Cumple
Relación polvo – Asfalto	0.98	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: elaboración propia

En la tabla 12 observamos los resultados de la adición del 1% de caucho reciclado al diseño de mezcla asfáltica, en donde se tienen una estabilidad de 1407 kilogramos, con respecto al flujo llego a 3.61, luego tenemos los resultados del porcentaje de vacíos con aire resaltando un 3.89 y 15.54 de vacíos en el agregado mineral, asimismo tenemos 1873.82 kg/cm de relación estabilidad - flujo y la relación polvo – asfalto llega a un indicador equivalente de 0.98, estos resultados se logra cumplir con las parámetros especificado del diseño Marshall MTC E 504.

Mezcla asfáltica con la adición del 1.5 por ciento de caucho reciclado.

**Tabla 12. diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 1.5 %.**

Diseño de Marshall MTC E 504			
Criterios	Resultados	Según Norma	Especificaciones
Compactación, numero de golpes por lado.	75	75	Cumple
Estabilidad (min, kg)	1479	8.15 kN	Cumple
Flujo 0.01" (0.25mm)	3.56	2 – 4	Cumple
% vacíos con aire	4.04	3 – 5	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	15.03	≥14%	Cumple
Relación estabilidad - flujo (kg/cm)	1896.20	1700 - 4000	Cumple
Relación polvo – Asfalto	0.92	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: elaboración propia

En la tabla 13 observamos los resultados con la adición del 1,5 % de caucho reciclado en la mezcla asfáltica, se logra tener una estabilidad de 1479 kg, flujo de 3.56, también un 4.04 de porcentaje de vacíos con aire, 15.03 de vacíos en el agregado mineral, llegando un 1896.20 kg/cm de relación estabilidad – flujo y finalmente 0.92 de relación polvo – asfalto.

Mezcla asfáltica con la adición del 2 por ciento de caucho reciclado.

**Tabla 13. diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 2 %.**

Diseño de Marshall MTC E 504			
Criterios	Resultados	Según Norma	Especificaciones
Compactación, numero de golpes por lado.	75	75	Cumple
Estabilidad (min, kg)	1508	8.15 kN	Cumple
Flujo 0.01" (0.25mm)	3.50	2 – 4	Cumple
% vacíos con aire	3.14	3 – 5	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	17	≥14%	Cumple
Relación estabilidad - flujo (kg/cm)	3806.35	1700 - 4000	Cumple
Relación polvo – Asfalto	0.89	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: elaboración propia

Mezcla asfáltica con la adición del 3.5 por ciento de caucho reciclado.

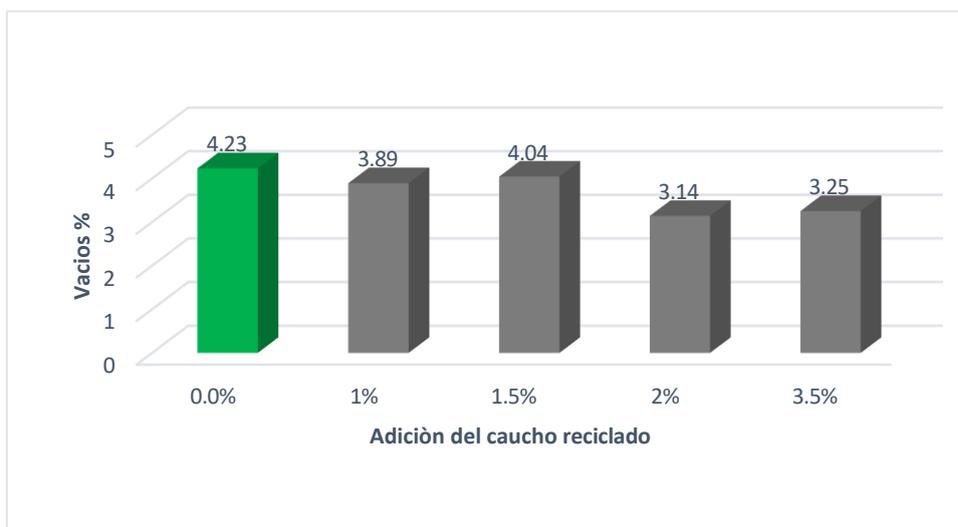
**Tabla 14. Diseño de mezcla asfáltica con adición de caucho al 3.5 %.**

Diseño de Marshall MTC E 504			
Criterios	Resultados	Según Norma	Especificaciones
Compactación, numero de golpes por lado.	75	75	Cumple
Estabilidad (min, kg)	1584	8.15 kN	Cumple
Flujo 0.01" (0.25mm)	3.48	2 – 4	Cumple
% vacíos con aire	3.25	3 – 5	Cumple
Vacíos en el agregado mineral	16.36	≥14%	Cumple
Relación estabilidad - flujo (kg/cm)	3456.35	1700 - 4000	Cumple
Relación polvo – Asfalto	0.86	0.6 – 1.3	Cumple

Fuente: elaboración propia

**4.3. Resultados del tercer objetivo específico:** Comparar las propiedades físicas de la mezcla de concreto asfáltico con la adición de caucho reciclado en relación al diseño de mezcla patrón, Chiclayo -2023.

**Porcentaje Vacíos de aire:**



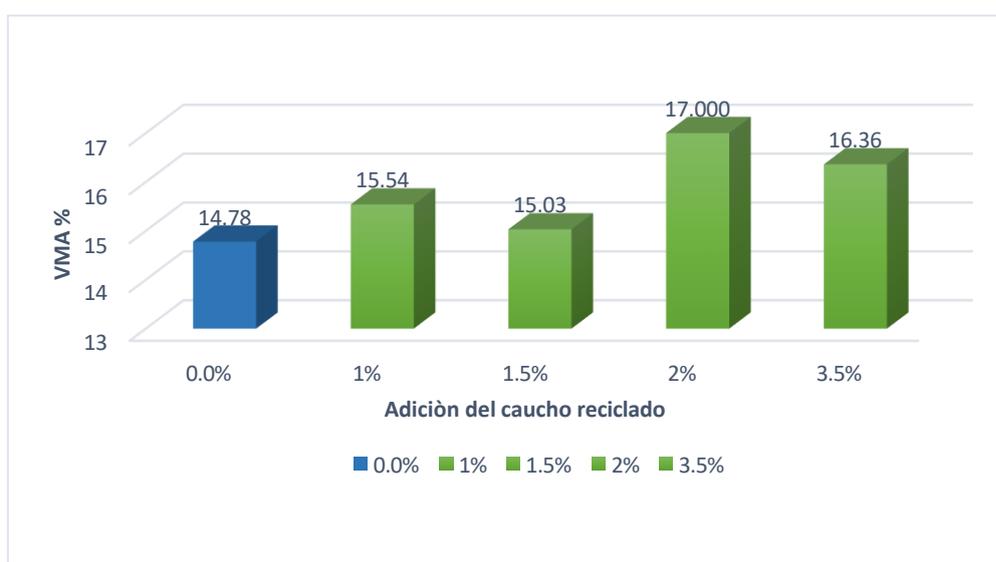
**Figura 3. Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respecto porcentaje de vacíos de aire.**

Fuente: elaboración propia

### Interpretación:

Observamos en la figura 3 muestra que los porcentajes de vacíos de aire con la adición del 1 %, 1.5% 2 % y 3.5% de cauchos reciclados los resultados son menores en comparaciones a las mezclas asfálticas patrón, logrando tener un menor porcentaje de vacíos de aire con 3.14 con la adición de un 2 % de caucho hace que el diseño de la mezcla asfáltica sea menos susceptible a la humedad, impidiendo la entrada del agua, mientras que en el diseño patrón se tiene un mayor porcentaje de vacíos de aire con 4,23, tenga en cuenta que todos los valores alcanzados están dentro de los parámetros del diseño Marshall MTC E 504 (3-5%).

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



**Figura 4.** Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respecto porcentaje de vacíos de aire.

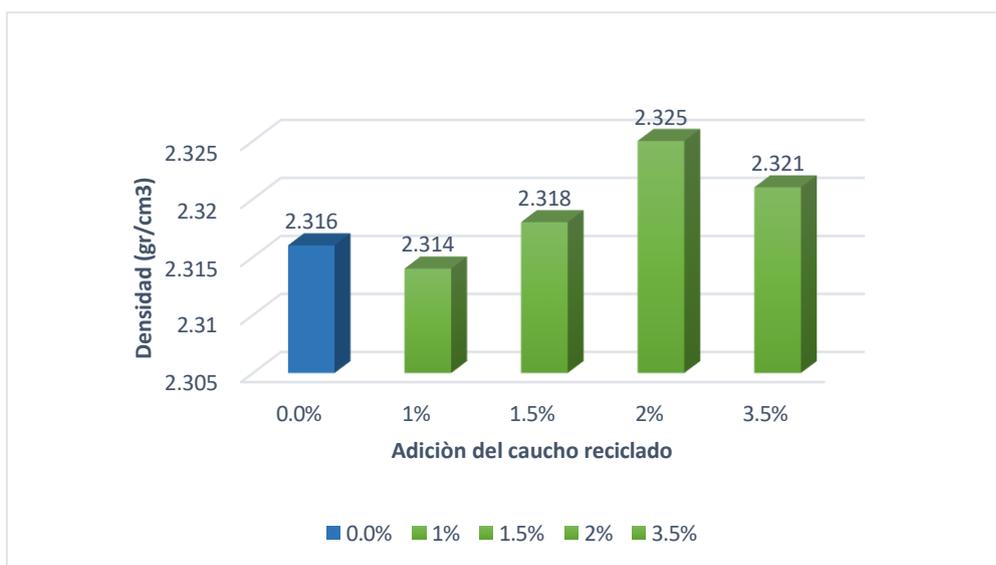
Fuente: elaboración propia

### Interpretación:

En la figura 4 podemos apreciar que al adicionar 1 %, 1.5% 2 % y 3.5% caucho reciclado tienen mayores resultados de porcentaje de vacíos en el agregado mineral en comparación a la mezcla patrón, todos estos resultados están cumpliendo con la norma del diseño Marshall en donde nos menciona que el VMA tiene que tener un mínimo de 14%. La mezcla asfáltica convencional tiene 14.78 %

de VMA siendo menor, en la cual si se tiene menor porcentaje de vacíos en el agregado mineral tendrá la película de asfalto delgada y la mezcla será susceptible a oxidación. Por otro lado, tenemos un 15.54 % con la adición del 1 % de caucho, con el 1.5 % tenemos un 15.03 % VMA, con el 3.5% adicionando caucho tenemos un 16.36 VMA y con la adición del 2% de caucho tenemos mayor VMA de 17 en donde se dice que si hay mayor VMA, la película asfáltica es más gruesa y la mezcla más duradera.

### Densidad:



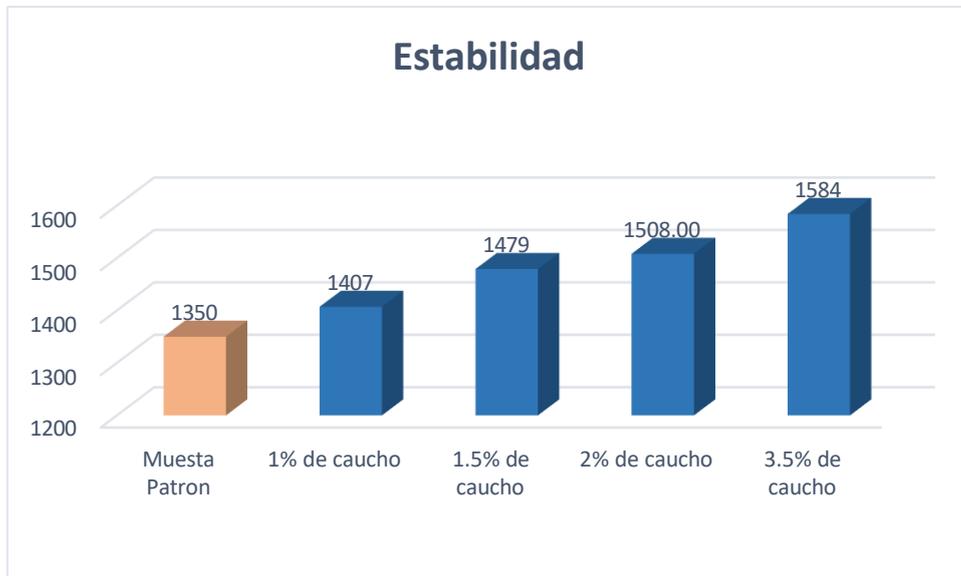
**Figura 5.** Barra comparativa de densidad de la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica modificada con la adición del caucho reciclado.

Fuente: elaboración propia

### Interpretación

En la gráfica se observa, un 2.316 gr/cm<sup>3</sup> de la densidad del diseño de mezcla asfáltico patrón con el 0.0 % de caucho, en comparación a la mezcla asfáltica adicionando caucho al 1 % se tiene una menor densidad con 2.314 gr/cm<sup>3</sup> y al adicionar caucho al 1.5% aumenta la densidad a 2.318 gr/cm<sup>3</sup>, asimismo se logra tener una mayor densidad de 2.325 gr/cm<sup>3</sup> con la adición de 2 % de caucho reciclado en la mezcla asfáltica con una diferencia de 9 gr/cm<sup>3</sup> respecto a la mezcla asfáltica patrón y por ultimo con el 3.5% de la adición de caucho disminuye a 2.321 gr/cm<sup>3</sup> de su densidad.

**4.4. Resultados del cuarto objetivo específico:** Identificar que propiedad mecánica mejora más al adicionar el caucho reciclado en comparación a la mezcla patrón, Chiclayo -2023.

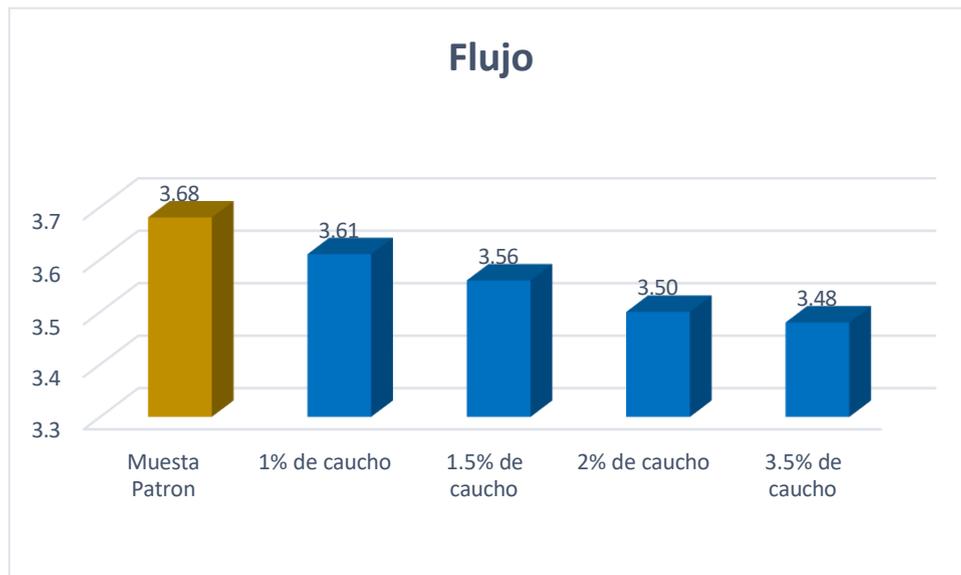


**Figura 6.** Barra comparativa de la mezcla asfáltica patrón vs mezcla modificada con respecto a la estabilidad.

Fuente: elaboración propia

#### **Interpretación:**

En la figura 6 se puede apreciar que el diseño de mezcla asfáltica patrón sin la adición del caucho tienen menos estabilidad con un 1350 kg en comparación a las mezclas con la adición del caucho tienen mayor estabilidad en donde con el 3.5 % tiene mayor estabilidad de 1584 kg logrando la mezcla asfáltica mantener su forma bajo cargas de tráfico y es más resistente a deformaciones y desplazamientos. Todos los resultados obtenidos están dentro de las especificaciones del diseño Marshall teniendo por cumplir un mínimo de 8.15 KN de estabilidad. Por otra parte, podemos ver que cuando mayor es el porcentaje de la adición del caucho mayor tenemos la estabilidad.



**Figura 7.** Comparación del flujo entre la mezcla patrón versus la mezcla patrón + la adición de caucho.

Fuente: elaboración propia

### **Interpretación:**

El parámetro de flujo en la mezcla con la adición del 1, 1.5, 2, 3.5 % de caucho reciclado disminuye respecto al diseño de mezcla patrón, tenemos un 3.68 de flujo en la mezcla patrón y un 3.48 con la adición del 3.5 % de caucho, en la cual disminuye 5.44% con respecto a la mezcla convencional. Indicando que la deformación de probetas disminuye bajo la carga generada en la mezcla, sin embargo, estos valores no deben exceder mucho al límite inferior, porque al pavimento se le considera demasiado rígido, tampoco se debe exceder el límite superior, porque la mezcla se considera demasiado plástica o inestable.

## Validación de hipótesis mediante análisis estadístico.

Los parámetros Marshall de tres porcentajes (1 %, 1,5 %, 2 % y 3,5 %) de caucho de neumático reciclado se compararon mediante pruebas estadísticas. Un aspecto muy importante de estos contrastes es que se debe valorar si cumple dos criterios:

- Debe distribuirse según la Ley Normal en cada uno de los grupos que se comparan, CRITERIO DE NORMALIDAD.
- Las varianzas de la distribución de la variable cuantitativa en las poblaciones de las que se extraen los grupos comparados deben ser homogéneas de CRITERIO DE HOMOCEASTICIDAD.

### Variable respuesta: Estabilidad

- Criterio de Normalidad.

**Tabla 15 Prueba de normalidad para la Estabilidad.**

	CAUCHO	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ESTABILIDAD	0%	.161	10	.200*	.931	10	.454
	1.5%	.257	10	.059	.923	10	.386
	1%	.212	10	.200*	.873	10	.108
	2%	.215	10	.200*	.856	10	.068
	3.5%	.187	10	.200*	.895	10	.192

Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó la prueba de normalidad realizada por el programa SPSS. Tenemos que considerar la significancia estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución, si el nivel 'p' no es significativo (es decir,  $p > 0.05$ ) entre los 5 grupos. Entonces podemos asumir normalidad para la variable cuantitativa "estabilidad" dentro del grupo.

➤ Criterio de Homocedasticidad.

**Tabla 16 Prueba de Homocedasticidad para la Estabilidad.**

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
ESTABILIDAD	Se basa en la media	2.357	4	45	.068
	Se basa en la mediana	2.329	4	45	.070
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.329	4	17.704	.096
	Se basa en la media recortada	2.472	4	45	.058

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). El programa hace la comparación y nos da la significancia estadística, o valor "p" asociado a la hipótesis nula de que la varianza de la variable de estabilidad es homogénea. Cuando este valor de "p" no es significativo ( $p > 0,05$ ), podemos confirmar la homogeneidad de la varianza.

➤ Post Hoc (Prueba de Contraste).

Por tanto, siguiendo los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, se procedió a emplear la prueba de Bonferroni.

**Tabla 17 Comparación múltiple para la variable de Estabilidad.**

Variable dependiente: ESTABILIDAD

		(I) CAUCHO	(J) CAUCHO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
HSD Tukey							Límite inferior	Límite superior
0%	1.5%	0%	1.5%	-129.30*	7.826	<.001	-151.54	-107.06
		1%	1.5%	-57.40*	7.826	<.001	-79.64	-35.16
		2%	1.5%	-158.00*	7.826	<.001	-180.24	-135.76
		3.5%	1.5%	-234.00*	7.826	<.001	-256.24	-211.76
	1.5%	0%	1.5%	129.30*	7.826	<.001	107.06	151.54
		1%	1.5%	71.90*	7.826	<.001	49.66	94.14
		2%	1.5%	-28.70*	7.826	.006	-50.94	-6.46
		3.5%	1.5%	-104.70*	7.826	<.001	-126.94	-82.46
	1%	0%	1.5%	57.40*	7.826	<.001	35.16	79.64
		1.5%	1.5%	-71.90*	7.826	<.001	-94.14	-49.66
		2%	1.5%	-100.60*	7.826	<.001	-122.84	-78.36
		3.5%	1.5%	-176.60*	7.826	<.001	-198.84	-154.36
2%	0%	1.5%	158.00*	7.826	<.001	135.76	180.24	
	1.5%	1.5%	28.70*	7.826	.006	6.46	50.94	
	1%	1.5%	100.60*	7.826	<.001	78.36	122.84	
	3.5%	1.5%	-76.00*	7.826	<.001	-98.24	-53.76	
3.5%	0%	1.5%	234.00*	7.826	<.001	211.76	256.24	
	1.5%	1.5%	104.70*	7.826	<.001	82.46	126.94	

		1%	176.60*	7.826	<.001	154.36	198.84
		2%	76.00*	7.826	<.001	53.76	98.24
Bonferroni	0%	1.5%	-129.30*	7.826	<.001	-152.40	-106.20
		1%	-57.40*	7.826	<.001	-80.50	-34.30
		2%	-158.00*	7.826	<.001	-181.10	-134.90
		3.5%	-234.00*	7.826	<.001	-257.10	-210.90
	1.5%	0%	129.30*	7.826	<.001	106.20	152.40
		1%	71.90*	7.826	<.001	48.80	95.00
		2%	-28.70*	7.826	.006	-51.80	-5.60
		3.5%	-104.70*	7.826	<.001	-127.80	-81.60
	1%	0%	57.40*	7.826	<.001	34.30	80.50
		1.5%	-71.90*	7.826	<.001	-95.00	-48.80
		2%	-100.60*	7.826	<.001	-123.70	-77.50
		3.5%	-176.60*	7.826	<.001	-199.70	-153.50
	2%	0%	158.00*	7.826	<.001	134.90	181.10
		1.5%	28.70*	7.826	.006	5.60	51.80
		1%	100.60*	7.826	<.001	77.50	123.70
		3.5%	-76.00*	7.826	<.001	-99.10	-52.90
	3.5%	0%	234.00*	7.826	<.001	210.90	257.10
		1.5%	104.70*	7.826	<.001	81.60	127.80
		1%	176.60*	7.826	<.001	153.50	199.70
		2%	76.00*	7.826	<.001	52.90	99.10

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de estabilidad según porcentaje de caucho se compara con los otros dos grupos, obteniendo la diferencia de medias, IC 95%, error estándar y valor “p” asociado para cada comparación, lo cual es significativo en el caso de 3.5% de caucho versus 1%, 1,5 y 2% de caucho, como ya sabemos que sucede por los análisis realizados.

### Variable respuesta: Flujo

- Criterio de Normalidad.

**Tabla 18 Prueba de normalidad para el Flujo.**

	CAUCHO	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
FLUJO	0%	.108	10	.200*	.992	10	.998
	1.5%	.209	10	.200*	.920	10	.356
	1%	.213	10	.200*	.942	10	.573
	2%	.213	10	.200*	.948	10	.639
	3.5%	.176	10	.200*	.939	10	.538

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba de normalidad realizada por el programa SPSS. Tenemos que considerar la significancia estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución, si el nivel 'p' no es significativo (es decir,  $p > 0.05$ ) entre los 5 grupos. Entonces podemos asumir normalidad para la variable cuantitativa "Flujo" dentro del grupo.

- Criterio de Homocedasticidad.

**Tabla 19 Prueba de homogeneidad de varianza para el flujo.**

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
FLUJO	Se basa en la media	1.832	4	45	.139
	Se basa en la mediana	1.386	4	45	.254
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.386	4	32.647	.260
	Se basa en la media recortada	1.759	4	45	.154

Fuente: Elaboración propia.

Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). El programa hace la comparación y nos da la significancia estadística, o valor "p" asociado a la hipótesis nula de que la varianza de la variable flujo es homogénea. Cuando este valor de "p" no es significativo ( $p > 0,05$ ), podemos confirmar la homogeneidad de la varianza.

- Post Hoc (Prueba de Contraste).

Por tanto, siguiendo los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, se procedió a emplear la prueba de Bonferroni.

**Tabla 20 Comparación múltiple para la variable Flujo.**

Variable dependiente: Flujo

	(I) CAUCHO	(J) CAUCHO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0%	1.5%	12		.206	-.04	.28
		1%	1%	.07	.690	-.09	.23
		2%	2%	.18*	.021	.02	.34
		3.5%	3.5%	.20*	.006	.04	.36
	1.5%	0%	0%	-.12	.206	-.28	.04
		1%	1%	-.05	.904	-.21	.11

		2%	2%	.06	.854	-.10	.21
		3.5%	3.5%	.08	.601	-.08	.24
1%		0%	0%	-.07	.690	-.23	.09
		1.5%	1.5%	.05	.904	-.11	.21
		2%	2%	.10	.344	-.05	.26
		3.5%	3.5%	.13	.156	-.03	.29
2%		0%	0%	-.18*	.021	-.34	-.02
		1.5%	1.5%	-.06	.854	-.21	.10
		1%	1%	-.10	.344	-.26	.05
		3.5%	3.5%	.02	.991	-.13	.18
3.5%		0%	0%	-.20*	.006	-.36	-.04
		1.5%	1.5%	-.08	.601	-.24	.08
		1%	1%	-.13	.156	-.29	.03
		2%	2%	-.02	.991	-.18	.13
Bonferroni	0%	1.5%	1.5%	.12	.345	-.04	.29
		1%	1%	.07	1.000	-.09	.24
		2%	2%	.18*	.027	.01	.34
		3.5%	3.5%	.20*	.007	.04	.37
	1.5%	0%	12		206	-.04	.28
		1%	1%	.07	<.001	48.80	.23
		2%	2%	.18*	.006	-51.80	.34
		3.5%	3.5%	.20*	<.001	-127.80	.36
	1%	0%	0%	-.12	<.001	34.30	.04
		1.5%	1.5%	-.08	.601	-.24	.11
		2%	1%	-.13	.156	-.29	.21
		3.5%	2%	-.02	.991	-.18	.24
	2%	0%	1.5%	.12	.345	-.04	.09
		1.5%	1%	.07	1.000	-.09	.21
		1%	2%	.18*	.027	.01	.26
		3.5%	3.5%	.20*	.007	.04	.29
	3.5%	0%	12		206	-.04	-.02
		1.5%	1%	.07	<.001	48.80	.10
		1%	2%	.18*	.006	-51.80	.05
		2%	1.5%	-.08	.601	-.24	.18

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de flujo según porcentaje de caucho se compara con los otros dos grupos, obteniendo la diferencia de medias, IC 95%, error estándar y valor “p” asociado para cada comparación, lo cual es significativo en el caso de 2% de caucho versus 1%, 1,5 y 3,5% de caucho, como ya sabemos que sucede por los análisis realizados.

### Variable respuesta: %Vacíos de aire

- Criterio de Normalidad.

**Tabla 21 Prueba de normalidad.**

	CAUCHO	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk	
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl
VACIOS_CON_AIRE	0%	.155	10	.200*	.928	10
	1.5%	.118	10	.200*	.950	10
	1%	.159	10	.200*	.941	10
	2%	.205	10	.200*	.930	10
	3.5%	.161	10	.200*	.935	10

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba de normalidad realizada por el programa SPSS. Tenemos que considerar la significancia estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución, si el nivel 'p' no es significativo (es decir,  $p > 0.05$ ) entre los 5 grupos. Entonces podemos asumir normalidad para la variable cuantitativa "%Vacíos de aire" dentro del grupo.

- Criterio de Homocedasticidad.

**Tabla 22 Prueba de homogeneidad de varianza.**

		Estadístico de	gl1	gl2	Sig.
		Levene			
VACIOS_CON_AIRE	Se basa en la media	1.465	4	45	.229
	Se basa en la mediana	1.090	4	45	.373
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1.090	4	35.061	.377
	Se basa en la media recortada	1.368	4	45	.260

Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). El programa hace la comparación y nos da la significancia estadística, o valor "p" asociado a la hipótesis nula de que la varianza de la variable %vacíos de aire es homogénea. Cuando este valor de "p" no es significativo ( $p > 0,05$ ), podemos confirmar la homogeneidad de la varianza.

- Post Hoc (Prueba de Contraste).

Por tanto, siguiendo los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, se procedió a emplear la prueba de Bonferroni.

**Tabla 23. Comparación múltiple para la variable Vacíos de aire.**

Variable dependiente: Vacíos con aire.

	(I) CAUCHO	(J) CAUCHO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
HSD Tukey	0%	1.5%	12		.206	-.04	.28	
		1%	1%	.07	.690	-.09	.23	
		2%	2%	.18*	.021	.02	.34	
		3.5%	3.5%	.20*	.006	.04	.36	
	1.5%	0%	0%	-.12	.206	.206	-.28	.04
		1%	1%	-.05	.904	.904	-.21	.11
		2%	2%	.06	.854	.854	-.10	.21
		3.5%	3.5%	.08	.601	.601	-.08	.24
	1%	0%	0%	-.07	.690	.690	-.23	.09
		1.5%	1.5%	.05	.904	.904	-.11	.21
		2%	2%	.10	.344	.344	-.05	.26
		3.5%	3.5%	.13	.156	.156	-.03	.29
	2%	0%	0%	-.18*	.021	.021	-.34	-.02
		1.5%	1.5%	-.06	.854	.854	-.21	.10
		1%	1%	-.10	.344	.344	-.26	.05
		3.5%	3.5%	.02	.991	.991	-.13	.18
	3.5%	0%	0%	-.20*	.006	.006	-.36	-.04
		1.5%	1.5%	-.08	.601	.601	-.24	.08
		1%	1%	-.13	.156	.156	-.29	.03
		2%	2%	-.02	.991	.991	-.18	.13
Bonferroni	0%	1.5%	1.5%	.12	.345	-.04	.29	
		1%	1%	.07	1.000	-.09	.24	
		2%	2%	.18*	.027	.01	.34	
		3.5%	3.5%	.20*	.007	.04	.37	
	1.5%	0%	12		.206	.206	-.04	.28
		1%	1%	.07	<.001	<.001	48.80	.23
		2%	2%	.18*	.006	.006	-51.80	.34
		3.5%	3.5%	.20*	<.001	<.001	-127.80	.36
	1%	0%	0%	-.12	<.001	<.001	34.30	.04
		1.5%	1.5%	-.08	.601	.601	-.24	.11
		2%	1%	-.13	.156	.156	-.29	.21
		3.5%	2%	-.02	.991	.991	-.18	.24
	2%	0%	1.5%	.12	.345	.345	-.04	.09
		1.5%	1%	.07	1.000	1.000	-.09	.21
		1%	2%	.18*	.027	.027	.01	.26
		3.5%	3.5%	.20*	.007	.007	.04	.29
	3.5%	0%	12		.206	.206	-.04	-.02
		1.5%	1%	.07	<.001	<.001	48.80	.10
		1%	2%	.18*	.006	.006	-51.80	.05
		2%	1.5%	-.08	.601	.601	-.24	.18

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia

**Variable respuesta: %VMA.**

- Criterio de Normalidad.

**Tabla 24. Prueba de normalidad.**

	CAUCHO	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
VMA	0%	.162	10	.200*	.967	10	.863
	1.5%	.204	10	.200*	.938	10	.536
	1%	.208	10	.200*	.870	10	.099
	2%	.329	10	.003	.828	10	.032
	3.5%	.177	10	.200*	.908	10	.267

\*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Se realizó la prueba de normalidad realizada por el programa SPSS. Tenemos que considerar la significancia estadística de estos contrastes, asumiendo la normalidad de la distribución, si el nivel 'p' no es significativo (es decir,  $p > 0.05$ ) entre los 5 grupos. Entonces podemos asumir normalidad para la variable cuantitativa "%VMA" dentro del grupo.

- Criterio de Normalidad.

**Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianza de %VMA.**

		Estadístico de	gl1	gl2	Sig.
		Levene			
VMA	Se basa en la media	2.714	4	45	.042
	Se basa en la mediana	2.636	4	45	.046
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2.636	4	43.489	.047
	Se basa en la media recortada	2.718	4	45	.041

Fuente: Elaboración propia

Prueba de homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). El programa hace la comparación y nos da la significancia estadística, o valor "p" asociado a la hipótesis nula de que la varianza de la variable %VMA es homogénea. Cuando este valor de "p" no es significativo ( $p > 0,05$ ), podemos confirmar la homogeneidad de la varianza.

➤ Post Hoc (Prueba de Contraste).

Por tanto, siguiendo los dos criterios de normalidad y homogeneidad de varianzas, se procedió a emplear la prueba estadística de Bonferroni.

**Tabla 26. Comparación múltiple para la variable %VMA.**

Variable dependiente: %VMA.

	(I) CAUCHO	(J) CAUCHO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%		
						Límite inferior	Límite superior	
Bonferroni	0%	1.5%	15%	.12	.345	-.04	.29	
		1%	11%	.07	1.000	-.09	.24	
		2%	12%	.18*	.027	.01	.34	
		3.5%	15%	.20*	.007	.04	.37	
	1.5%	0%	12		206		-.04	.28
		1%	1%	.07	<.001	48.80	.23	
		2%	2%	.18*	.006	-51.80	.34	
		3.5%	3.5%	.20*	<.001	-127.80	.36	
	1%	0%	0%	-.12	<.001	34.30	.04	
		1.5%	1.5%	-.08	.601	-.24	.11	
		2%	1%	-.13	.156	-.29	.21	
		3.5%	2%	-.02	.991	-.18	.24	
	2%	0%	1.5%	.12	.345	-.04	.09	
		1.5%	1%	.07	1.000	-.09	.21	
		1%	2%	.18*	.027	.01	.26	
		3.5%	3.5%	.20*	.007	.04	.29	
	3.5%	0%	12		206		-.04	-.02
		1.5%	1%	.07	<.001	48.80	.10	
		1%	2%	.18*	.006	-51.80	.05	
		2%	1.5%	-.08	.601	-.24	.18	

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla de comparaciones múltiples vemos que cada grupo de %VMA según porcentaje de caucho se compara con los otros dos grupos, obteniendo la diferencia de medias, IC 95%, error estándar y valor “p” asociado para cada comparación, lo cual es significativo en el caso de 2% de caucho versus 1%, 1,5 y 3,5% de caucho, como ya sabemos que sucede por los análisis realizados

## V. DISCUSIÓN

En esta sección, usamos datos relevantes previamente propuestos y analizados en detalle para este estudio, para organizar nuestra discusión, donde se adiciono porcentajes de 1%, 1.5%, 2% y 3.5% de caucho pulverizado en el diseño de mezcla concreto asfáltico posteriormente compararemos los resultados obtenidos en laboratorio y evaluaremos sus propiedades físicas y mecánicas.

Determinar las características físicas de adición de caucho lo cual se evaluó la granulometría del caucho reciclado en su forma natural tamizado con malla N°50 y tamaño nominal 0,30 mm y asimismo en los resultados encontramos su peso unitario de caucho de 1.15 g/cm<sup>3</sup> y obtuvimos su densidad de 0.241 kg/m<sup>3</sup>. Asimismo, en su estudio de Chinguel y Flores (2019) nos indica que la granulometría mencionada es suficiente para compatibilizar el asfalto y mejorar las propiedades, buena compatibilidad con el asfalto, fácil de mezclar y no causa mucho daño en el diseño convencional de mezcla asfáltica en caliente.

Caucho de llanta en combinación con el método Marshall, el cual fue estudiado con los porcentajes de caucho de 1 %, 1.5 %, 2 %, 3.5 %. Los resultados de la adición del 1% de caucho reciclado al diseño de mezcla asfáltica, en donde se tienen una estabilidad de 1407 kilogramos, con respeto al flujo llego a 3.61, luego tenemos los resultados del porcentaje de vacíos con aire resaltando un 3.89 y la relación polvo – asfalto llega a un indicador equivalente de 0.98. se puede concluir que el reciclado de caucho mejora las propiedades físico-mecánicas dentro del proceso Marshall, como la estabilidad y fluidez en mezclas en caliente, incluso a valores inferiores al 6% de contenido de asfalto, esto ha sido confirmado por nuestro diseño de asfalto modificado usando 2% de caucho reciclado con agregados secos, resultando en un ligante de asfalto óptimo de 5.3%, estabilidad 1508 kg y un flujo de 3.50. Se obtiene un valor preferencial de 4.0 mm que da Propiedades físicas mejoradas. Los resultados mostrados difieren con la investigación de Shin et al. (2019), dado que al incorporar el caucho en el diseño de mezcla asfáltica mejoro su resistencia a la deformación en un 77,4% y tambien aumento su estabilidad en un 12 % por lo que es claro que la calidad de la mezcla asfáltico es mejor obteniendo una mayor estabilidad.

La comparación en las propiedades físicas de la mezcla de concreto asfáltico adicionando caucho reciclado en la mezcla asfáltica patrón los resultados que hemos obtenido están de acuerdo a las normas técnicas MTC, NTP y ASTM Al agregar 2% de caucho reciclado al diseño de mezcla asfáltico, la estabilidad aumentó en un 1508 kg y el vacío de aire libre aumentó en un 3.14 %. El aumento de estabilidad y vacíos de aire es mayor ya que al agregar más porcentajes con la adición de 3.5% de caucho, la estabilidad aumentó mucho mas a 1584 kg y vacíos de aire a 3.25%, por lo que es claro que la calidad de la mezcla asfáltico es mejor obteniendo una mayor estabilidad. Este estudio nos llevó a concluir que los mejores resultados óptimo de diseño de mezcla de asfáltico patrón con un contenido de cemento asfáltico de 4.5% tiene las siguientes propiedades: Estabilidad 1501 kg, Vacíos 2.99%, Relación Estabilidad-Fluencia 2174, esta También se utilizó un diseño con reducción de 2% GCR y 5% CA, se obtuvieron los siguientes resultados: Estabilidad 1071 kg, fluencia 3.81 mm, vacíos 3.14%, Relación Estabilidad-Fluencia 3173, el diseño cumple con la normativa. Por lo tanto, podemos ver cuando sea mayor el porcentaje del caucho mayor será la estabilidad en mezcla asfáltica. Estos resultados se asemejan con el estudio de Capcha Espinoza (2018), Al utilizar del grano de caucho reciclado (GCR) como componente, para un modelo de asfaltos modificado, en cual concluye que al incorporar GCR se obtiene un diseño de mezcla asfáltica con mayor durabilidad, resistencia a la fatiga y al envejecimiento a las deformaciones plásticas, mediante los ensayos que realizo se logra tener mejores resultados en una mezcla asfáltica modificada ofreciendo mejores propiedades físicas y una mejor rigidez con un 57% en relación de una mezcla asfáltica patrón, mejora resistencia a la deformación en un 87.6% y ofrece un mejor servicio al tránsito vehicular. Estos resultados nos muestran que, según el porcentaje de la adición de caucho mejora las propiedades físicas de la mezcla asfáltica patrón en caliente, aumenta la estabilidad y se mantiene dentro de los límites el flujo y el porcentaje de vacíos.

Las propiedades mecánicas se logran identificar al adicionar el caucho a la mezcla que la propiedad que mejora más es la estabilidad de 1584 kg, con el 3.5 % de caucho y un flujo de 3.48; Comparado con la mezcla patrón, logra una estabilidad de 1350 kg y su flujo 3.68 milímetros. La granulación de los granos de caucho tiene un efecto importante en el comportamiento mecánica de la mezcla asfáltica, ya que

es capaz de asegurar que su uso mejora sus propiedades mecánicas, lo que demuestra que al mismo tiempo un contenido óptimo de asfalto de 6 % en la mezcla MARSHALL la estabilidad es mayor, Aumento en comparación con otras muestras con aditivos de polvo de caucho y también La estabilidad de MARSHALL mejora el comportamiento de fatiga y formación de surcos, por lo que se puede concluir que al utilizar el caucho en mezclas asfálticas mejora las propiedades y el comportamiento de los pavimentos frente al ahuellamiento y la fatiga por el tránsito continuo de vehículos. Estos resultados se pueden corroborar con la investigación de Portocarrero Gomez (2019), En su estudio se utilizó diferentes cargas de caucho de 8% y 10%, y los autores encontraron que al agregar 8% de caucho reciclado, al diseño de la mezcla mejoró positivamente el asfalto, llegando a la conclusión de que da buenas propiedades al asfalto 76.5° aumenta la durabilidad, mejora las propiedades mecánicas y la resistencia a la deformación, previene diversos tipos de daños en donde la utilización del caucho ayuda mucho a aumentar sus características mecánicas de la mezcla. Dentro de este proyecto con caucho recicladas se ha demostrado que, si mejora las características físicas de la mezcla asfáltica, según las pruebas realizadas, las propiedades del asfalto cumplen con las normas establecidas.

Según Ubidia (2019), Este estudio de investigación se basa en una mezcla asfáltica en caliente, donde utilizamos cemento y agregado asfáltico normal a una temperatura de 190°C precalentado o mezcla con la adición de polvo de llantas de desecho. El producto elaborado se basa en la experiencia comprobada, el uso de neumáticos usados mejora la calidad de las mezclas asfálticas, lo que permite reducir la contaminación, lo más importante es aumentar la resistencia de la capa rodante, la resistencia a la deformación y reducir fisuras y alargamiento.

Este se desarrolló a través de una investigación experimental realizada en el FERMATI SAC constructora y servicios generales, en la que se realizaron varios diseños de las mezclas asfálticas con y sin caucho reciclado, los cuales confirman los resultados de mejora del diseño de mezcla, nos da conocer Gonzales y Quispe (2019) En su investigación, llegó a la conclusión de que el caucho es un material altamente contaminante después de su uso y se ha demostrado que su uso confiable en el diseño de mezclas asfálticas reduce significativamente el impacto

ambiental. En nuestro estudio, es beneficioso utilizar caucho reciclado porque aumenta positivamente las propiedades mecánicas como físicas del compuesto al mejorar el porcentaje de vacíos, la estabilidad y la durabilidad en comparación, nuestra investigación se centra más en las propiedades físico- mecánicas del diseño de mezcla asfáltica en caliente y esto aporta grandes beneficios a este material reciclado.

## VI. CONCLUSIONES

1. En esta investigación se analizó el comportamiento de la adición del caucho proveniente de llantas recicladas en mezclas asfálticas, considerando sus parámetros Marshall, una composición eficaz que permite que esta mezcla logre mejorar las propiedades y solucionar el problema medioambiental que provocan los neumáticos fuera de uso. Asimismo, concluimos que al adicionar caucho reciclado a la mezcla asfáltica en el costo económico no representa mayor beneficio ya que es 39,57% mayor a lo tradicional, sin embargo, de un punto de vista ambientalista tiene una gran contribución al medio ambiente.
2. Se determina las características físicas del caucho como material adicional a la mezcla asfáltica, se realizó el análisis granulométrico por tamaño de malla N° 50, es decir un tamaño nominal de 0,30 mm; Asimismo, el peso unitario es de 1,15 gr/cm<sup>3</sup> y la densidad del caucho que se determinó es 0.241 gr/cm<sup>3</sup>.
3. El diseño de mezcla asfáltica se realizó siguiendo estudios y ensayos en el laboratorio FERMATI SAC constructora y servicios generales. Se logra determinar en la prueba Marshall que con la adición del 1%, 1,5%, 2% y 3,5% de caucho reciclado, presentan mejoras en sus propiedades de la mezcla asfáltica, Así mismo todos los resultados obtenidos cumplen con el parámetro del diseño Marshall, se presentó mejores resultados con el 2 %, así como aumentar la resistencia a la deformación, lo que demostramos en una mayor estabilidad de 1508 kg. En la cual concluimos que al construir una infraestructura vial con las propiedades de esta mezcla de concreto asfáltico tienen mejor durabilidad y resistencia a sustancias agresivas. Por otro lado, se determinó el diseño de pavimento flexible con el caucho reciclado, teniendo un espesor en la estructura de la carpeta asfáltica de 9 cm, siendo un 10 % menor de dimensión al diseño de pavimento convencional.
4. La comparación en cuanto a las características físicas de la mezcla de concreto asfáltico adicionando caucho reciclado con respecto a la mezcla asfáltica patrón: los resultados están de acuerdo a los límites mínimos y máximos respecto a las normas técnicas MTC, NTP y ASTM, se logra

alcanzar un menor porcentaje de vacíos de aire con 3.14 con la adición del 2 % de caucho, siendo este menor a la mezcla patrón con un 25.77 %, así mismo se obtiene una mayor densidad de 2.325 con el 2 % de caucho siendo este mayor en cuanto a los demás porcentajes de caucho y mezcla patrón y con el mismo porcentaje de adición de caucho tenemos un mayor VMA de 17 % respecto a la mezcla patrón con un 14.78 %.

5. Para las características mecánicas se logra identificar al adicionar el caucho a la mezcla que la propiedad que mejora más es la estabilidad de 1584 kg, con el 3.5 % de caucho y un flujo de 3.48; Comparado con la mezcla patrón, logra una estabilidad de 1350 kg y su flujo 3.68 milímetros.

## VII. RECOMENDACIONES

Para culminar esta investigación se presentan las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones que van destinadas para los responsables de generar bienestar en la sociedad a través de proyectos como la infraestructura vial, asimismo con la finalidad de reducir los desechos que afectan el medio ambiente.

Se recomienda darles buen uso a las llantas usadas y no desecharlas de manera inadecuada ya que contaminan el aire y la comunidad, liberan gases químicos y alteran el ecosistema.

Considerar un porcentaje mayor al 4% de caucho reciclado para futuras investigaciones, ya que permite determinar el nivel óptimo de materiales adecuados y así obtener nuevos resultados que cumpla con la especificación MTC.

Se debe seguir investigando el uso de métodos de granulometría tradicionales para la producción de mezclas asfálticas con asfalto de caucho reciclado para compararlos con los resultados obtenidos por granulometría.

Se recomienda realizar diseños con diferentes porcentajes de caucho reciclado, ya que si al adicionar otros porcentajes disminuirá los espesores la carpeta asfáltica de un pavimento flexible y mejorar la resistencia, asimismo obtener menos costos.

## REFERENCIAS

- Arias Gonzáles, J., & Covinos Gallardo, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting EIRL. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>
- Al-Subari, L., Ekinci, A., & Aydin, E. (2021). *The utilization of waste rubber tire powder to improve the mechanical properties of cement-clay composites*. [en línea]. *Construction and Building Materials*, 300, 124-306. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124306>
- ASTM, 2015, ASTM D 1559, Método Marshall. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2023]. Disponible en <https://1library.co/article/metodo-marshall-astm-d-dise%C3%B1omezcla-asf%C3%A1ltica-caliente.q5w3pdwq>
- Blasi, G., & Leone, M. (2022). Inverse analysis-based model for the tensile behaviour of fibre-reinforced concrete with manufactured and waste tyres recovered fibres. *Case Studies in Construction Materials*, 17, 1297. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de noviembre de 2022]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01297>
- Borja Suárez, M. (2018). *Metodología de la Investigación Científica*. Chiclayo, Perú. Retrieved from [https://libreriafavorita.blogspot.com/2017/09/metodologia-de-la-investigacion\\_20.html](https://libreriafavorita.blogspot.com/2017/09/metodologia-de-la-investigacion_20.html)
- Campos, C., Rafael, R., Lazo, J., & Neyter, L. *Diseño estructural del pavimento flexible incorporando caucho reciclado en la Avenida el Sol, Chorrillos 2021*. Tesis (título profesional de ingeniería civil). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2021. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/73972>
- Céspedes Ojeda, A. *Proceso de producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente empleando una planta de asfalto móvil*. Tesis (Grado Bachiller de ingeniería civil). Perú: Universidad de Piura, Piura, 2019. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP\\_ICI\\_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4265/TSP_ICI_016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Chandra, R., Veeraragavan, A., & Krishnan, J. (2018). Evaluation of Mix Design Methods for Reclaimed Asphalt Pavement Mixes with Foamed Bitumen. *ScienceDirect*. <https://doi.org/10.16/j.sbspro.2013.11.092>
- Cohen, N., & Gómez Rojas, G. (2019). *Metodología de la investigación*. Buenos Aires, Argentina: Teseo -Hecho el depósito que previene la ley 11.723. Retrieved from [http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20190823024606/Metodologia\\_para\\_que.pdf](http://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/se/20190823024606/Metodologia_para_que.pdf)
- Cortez., & Aldair, D. *Estudio estratégico para una planta recicladora de llantas en desuso para la obtención de caucho reutilizable*. Tesis (Grado Bachiller de ingeniería civil). Perú: Universidad Católica del Perú, Trujillo, 2022. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18229>
- Díaz., Enrique, D., López, V., & Antonia. (2021). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto utilizando caucho reciclado, aditivo plastificante y microsílíce en pavimentos rígidos móvil*. Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84671>
- Dognani, G., da Silva, A., Camargo Cabrera, F., Luiz Faita, F., Tello Saéñz, C., Helmulth Bechtold, I., Eloízo Job, A., & da Silva Agostini, D. (2020). Electrospun natural rubber fibers-based flexible conductive membranes. *conductive membranes*, 25. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620200003.1116>
- Elisa Sofía, C., & Hanz Ezio, V. (2019). Influencia del caucho reciclado en la mejora de la resistencia y durabilidad de una mezcla asfáltica en caliente, Lima 2019. *Universidad Cesar Vallejo*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/54170>
- Flores Jiménez, N., & Lobato Mendoza, G. (2021). *Diseño de mezcla asfáltica SMA modificada con polímeros SBS para mejorar la resistencia del pavimento de la Av. Chiclayo Lambayeque*. Tesis de grado, Universidad César Vallejo, Chiclayo, Lambayeque. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88532>

- Gamage, S., Palitha, S., Meddage, D., Mendis, S., Azamathulla, H., & Rathnayake, U. (2022). Influence of Crumb Rubber and Coconut Coir on Strength and Influence of Crumb Rubber and Coconut Coir on Strength and. *buildings*, 12, 1001. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.3390/buildings12071001>
- Halil Akın, M., & Polat, R. (2022). *The effect of vehicle waste tires on the mechanical, hardness and stress–strain properties of polyester-based polymer concretes*. *Construction and Building Materials*, 325, 126741. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126741>
- Hernández Sampieri, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mc Graw Hill. Education.
- Jiménez, J., Fontes Vieira, C., & Colorado, H. (2022). Composite Soil Made of Rubber Fibers from Waste Tires, Composite Soil Made of Rubber Fibers from Waste Tires,. *sustainability*, 14, 2239. <https://doi.org/10.3390/su14042239>
- Klinsky Gutiérrez, L., Kaloush, K., Faria, V., & Dos Santos Bardini, V. (2018). *Performance characteristics of fiber modified hot mix asphalt*. *Construction and Building Materials*, 176, 747-752. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.221>
- Li, H., Feng, Z., Liu, H., Temitope Ahmed, A., Zhang, M., Zhao, G., Sheng, Y. (2022). *Performance and inorganic fume emission reduction of desulfurized rubber powder/styrene–butadiene–styrene composite modified asphalt and its mixture*. *Journal of Cleaner Production*, 364, 132690. [en línea]. [Fecha de consulta: 27 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132690>
- Liu, Y., Chen, H., Wu, S., Gao, J., Li, Y., An, Z., Mao, B., Tu, R., & Li, T. (2022). Impact of vehicle type, tyre feature and driving behaviour on tyre wear under real-world driving conditions. *Science of the Total Environment*, 842, 156950. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de febrero de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156950>

- Mendoza, & Alexander, K. (2019). *Resistencia a la compresión axial del adobe compactado con la incorporación de porcentajes de caucho triturado de neumáticos*. Tesis de grado. Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21030>
- Montejo Fonseca, A. (2018). *Ingeniería de Pavimentos (2da ed.)*. Retrieved from <https://www.libreriaingeniero.com/2018/02/ingenieria-de-pavimentos-alfonso-montejo.html>
- Mantilla Forero., & Castañeda Pinzón, E. (2019). *Evaluación de la incorporación simultánea de caucho granulado y asfáltica en ligantes asfálticos*. Dyna rev.fac.nac. minas, 86(208), 257-263
- Marathe, S., Shetty, T. S., Mithun, B., & Ranjith, A. (2021). *Estudios de resistencia y durabilidad en mezclas de concreto de calidad para pavimento activado con álcali curado al aire que incorporan agregados reciclados*. Case Studies in Construction Materials, 15, 173. [en línea]. [Fecha de consulta: 25 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00732>
- Mehrdad, S.-A., Kusenberg, M., Hamed, M., Goshayeshi, B., & Van Geem, K. (2022). *Towards full recyclability of end-of-life tires: Challenges and opportunities*. Journal of Cleaner Production, 374, 134036. [en línea]. [Fecha de consulta: 23 de mayo de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134036>
- Montaña Sanabria, H. A. (2021). *Uso de residuos de caucho en pavimento de asfalto para el mejoramiento de*. Tesis de grado. Universidad militar nueva granada, Bogotá. Retrieved from Downloads/MontañaSanabriaHugoArmando2021.pdf
- Nurun Nabi, M., Wisam, K., Hasan, M., Adib, B., Jahidul, I., & A.N.M, M. (2022). *Investigation of engine performance, combustion, and emissions using waste tire Oil-Diesel-Glycine max biodiesel blends in a diesel engine*. Case Studies in Thermal Engineering, 39, 102435. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102435>.

- Peláez Arroyave, G. J., Velásquez Restrepo, S. M. Y Giraldo Vásquez, D. H. Applications of recycled rubber: A literature review. *Revista de Ciencia e ingeniería Neogranadina*. Vol. 27, no 2, 2017. Pp. 27-50. [Fecha de Consulta: 1 mayo de 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2143>
- Portocarrero Gomez, M. (2019). *Influencia del caucho reciclado en la mezcla asfáltica en frío para el uso en el parchado de la carpeta asfáltica*. Tesis (Titulacion de ingeniero civil). Universidad Cesar Vallejo, Lima. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42729>
- Prado, G., & Gustavo, E. (2020). *Mejoramiento de la carpeta asfáltica del pavimento del Aeropuerto de Ayacucho usando mezclas asfálticas en caliente modificada con polímeros – 2020*. Universidad Cesar Vallejo.
- Quispe, M., & Anthony, A. (2022). *Implementación de grano de caucho reciclado para el mejoramiento de la mezcla asfáltica para un pavimento flexible en Ica, 2021*. Universidad Cesar Vallejo.
- Quilca, C., Adbel, Roque, M., & Raúl, M. (2021). *Efecto del uso de caucho reciclado en adoquines de concreto*. Universidad Cesar Vallejo. Retrieved from <https://hdl.handle.net/20.500.12692/84400>
- Rivera., & Miguel, L. (2020). *Aplicación de mezclas asfálticas con emulsión asfáltica catiónica, en la conservación vial de la carretera Cusco-Ollantaytambo en el 2020*. Tesis (Titulacion de ingeniero civil). Peru: Universidad Cesar Vallejo.
- Rondon Quintana Hugo, Molano Mora Yennifer y Tenjo Lancheros Angelica. *Influencia de la Temperatura de Compactación Sobre la Resistencia Bajo Carga Monotónica de Mezclas Asfálticas Modificadas con Grano de Caucho Reciclado de Llantas*. [en línea]. Número 29. Publicado Diciembre 2015. Disponible en [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992012000200002](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992012000200002) ISSN 2256-5337
- Ruiz., Paul, J., Payano, C., & Roberto, E. (2021). *Aplicación de caucho reciclado para la mejora de las propiedades de la carpeta asfáltica de la carretera Playa Lobos, Eten, Chiclayo 2021*. Tesis (Titulacion de ingeniero civil). Perú:

- Sánchez Córdova, H. (2021). *Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura*. Tesis (Titulación de ingeniero civil). Perú: Universidad de Piura. Piura. Retrieved from <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4871>
- Shin, H.-O., Yoo, D.-Y., Lee, J.-H., Lee, S.-H., & Yoon, Y.-S. (2019). Optimized mix design for 180 MPa ultra-high-strength concrete. *Transportation Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.07.027>
- Sofi, A. (2018). *Effect of waste tyre rubber on mechanical and durability properties of concrete [Efecto del caucho de llantas de desecho en las propiedades mecánicas y de durabilidad de hormigón]*. *Ain Shams Engineering Journal*, 9(4), 2691-2700. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.144>
- Villa, B., García, E., Pradena, M., Flores, P., Medina, C., Campos-Requena, V. H., & Urbano, B. F. (2020). *Surface modification of rubber from end-of-life tires for use in concrete: a design of surface modification of rubber from end-of-life tires for use in concrete: a design of experiments approach*. *J. Chil. Chem. Construction and Building Materials*, 319, 126122. [en línea]. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126122>
- Xin Lu, J., Shen, P., Asad Ali, H., & Sun Poon, C. (2022). Mix design and performance of lightweight ultra high-performance concrete. *Materials & Design*. [en línea]. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2023]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110553>
- Ziari, H., & Hajiloo, M. (2023). The effect of mix design method on performance of asphalt mixtures containing reclaimed asphalt pavement and recycling agents: Superpave versus balanced mix design. *Case Studies in Construction Materials*. [en línea]. [Fecha de consulta: 07 de abril de 2023]. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01931>

## ANEXOS

### Anexo N°1. Operacionalización de Variables.

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	Escala de medición
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> CAUCHO RECICLADO	Caucho reciclado según Quilca et al. (2021), nos menciona que son anillos circulares de caucho que envuelven la llanta, los cuales a su vez este elemento esta fuera de su uso, en lo cual esto puede ser utilizado para la incorporación de campos de gras sintético, asimismo para la adición de mezclas asfálticas.	El Caucho reciclado pulverizado, adicionando porcentajes en la mezcla asfáltica, su instrumento de medición, de granulometría, peso unitario del caucho se registra en fichas de los ensayos del laboratorio.	Características físicas	Peso unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Intervalo
				Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
				Granulometría	
			porcentaje de caucho pulverizado	1 %	Razón
				1.5 %	
				2 %	
				3.5 %	
<b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO	La mezcla asfáltica es la combinación de los materiales pétreos, en lo cual esta mezcla es aplicada para la construcción de vías, aeropuertos, pavimentos industriales etc. Asimismo, este diseño de mezcla debe ser capaz de soportar una buena resistencia, durabilidad, estabilidad a los distintos pavimentos expuestos a distintos climas, Prado & Gustavo, (2020).	Las propiedades físicas, y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica se han determinado a través de los diseños Marshall.	Propiedades Físicas.	Vacíos (%)	Razón
				VMA (%)	
				Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	
			Propiedades mecánicas	Flujo (mm)	
				Estabilidad (KN)	

## Anexo N°2. Matriz de Consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b><u>PROBLEMA GENERAL:</u></b></p> <p>¿Cómo influye la adición del caucho reciclado en el diseño de mezcla de concreto asfáltico en caliente, Chiclayo 2023?</p>	<p><b><u>OBJETIVOS GENERALES:</u></b></p> <p>Analizar de qué manera la adición del caucho reciclado influye en el diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo - 2023</p>	<p><b><u>HIPOTESIS GENERALES:</u></b></p> <p>La adición del caucho reciclado mejora las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo 2023</p>	<p><b>VARIABLES INDEPENDIENTE:</b> Caucho Reciclado</p>	<p><b>D1:</b> Características físicas</p>	<p>Peso Unitario Densidad Granulometría</p>	<p><b><u>TIPO DE INVEST:</u></b> Aplicada</p> <p><b><u>DISEÑO DE INVEST:</u></b> Cuasi experimental</p> <p><b><u>POBLACIÓN:</u></b> mezcla de concreto asfáltico en lo cual de desarrollara 70 briquetas</p> <p><b><u>MUESTREO:</u></b> No probabilístico.</p> <p><b><u>MUESTRA:</u></b> 40 briquetas con adición de CR y 30 briquetas sin CR</p> <p><b><u>TECNICA:</u></b> Observación Directa</p> <p><b><u>INSTRUMENTOS</u></b> Ficha de ensayo de laboratorio y fotografías.</p>
	<p><b><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</u></b></p> <p>1) Determinar las características físicas del caucho reciclado como material adicional, Chiclayo 2023.</p> <p>2) Diseñar con diferentes porcentajes de caucho reciclado una mezcla de concreto asfáltico por el método de Marshall, Chiclayo 2023.</p> <p>3) Comparar las propiedades físicas de la mezcla de concreto asfáltico con la adición de caucho reciclado en relación al diseño de mezcla patrón, Chiclayo - 2023.</p> <p>4) Identificar que propiedad mecánica mejora más al adicionar del caucho reciclado en comparación a la mezcla patrón, Chiclayo -2023</p>			<p><b>VARIABLES DEPENDIENTE:</b> Mezcla de concreto asfáltico</p>	<p><b>D2:</b> propiedades físicas</p> <p><b>D3:</b> propiedades mecánicas</p>	



Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
 Tesistas : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
 : MANAYAY REYES, SILVA  
 Universidad : CESAR VALLEJOS  
 Tesis : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
 Lugar : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de ensayo : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

**ENSAYO** : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

**REFERENCIA** : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

**Cantera** : Tres tomas - Ferreñafe.

**Muestra** :

MUESTRA	: M - 1		
GRADUACION	"B"		
PESO DE LA MUESTRA			
1 1/2" - 1"			
1" - 3/4"			
3/4" - 1/2"			
1/2" - 3/8"			
3/8" - 1/4"			
1/4" - N° 4			
N° 4 - N° 8			
<b>TOTAL DESGASTE</b>			
Peso Inicial			
Retenido en la malla N° 12			
Que pasa en la malla N° 12			
% Desgaste			
<b>PROMEDIO</b>			

<b>% de desgaste por abrasión</b>	%	
<b>% de uniformidad</b>	%	

Requerimiento : 40 % Maximo

**OBSERVACIONES :**

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C

(Pág. 01 de 02)

Tesistas : HUAMAN FARSEQUE, FLORELA

: MANAYAY REYES, SILVA

Universidad : CESAR VALLEJOS

Tesis : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

Ubicación : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque

Fecha de ensayo : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

### EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas

Muestra : Piedra chancada

I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	Nº 4	
9.5 mm	4.75 mm	

II.- RESULTADO :

DESGASTE TOTAL (%)	
--------------------	--

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
Tesis : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
: MANAYAY REYES, SILVA  
Universidad : CESAR VALLEJOS  
Tesis : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLADE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
Lugar : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

Ensayo : SUELOS. Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.  
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

### EQUIVALENTE DE ARENA

Muestra : Arena  
Cantera : Tres Tomas

#### I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (mm.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)			
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)			
EQUIVALENTE DE ARENA			
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)			
ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000): Minimo : 45% Minimo			

#### OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

**Expediente N°** : 2425 - 2023 L.E.M. FERMAT S.A.C  
**Tesistas** : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
 : MANAYAY REYES, SILVA  
**Universidad** : CESAR VALLEJOS  
**Tesis** : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
**Lugar** : Chiclayo - Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 13 de Mayo del 2023

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

### **I.- Datos.**

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)		
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Fra	(g)		
3.- Peso del Agua	(g)		
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del F	(g)		
5.- Peso del Frasco	(g)		
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)		
7.- Volumen del frasco	(g)		

### **II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

### **I.- Datos.**

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)		
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)		
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del	(g)		
4.- Peso de la canastilla	(g)		
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)		

### **II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	

**Expediente N°** : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
**Tesistas** : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
: MANAYAY REYES, SILVA  
**Universidad** : CESAR VALLEJOS  
**Tesis** : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
**Lugar** : Chiclayo - Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 13 de Mayo del 2023

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado fino

**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)		
B.- Peso de muestra seca	(gr.)		
C.- Peso de recipiente	(gr.)		
D.- Contenido de humedad	(%)		
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)		

**Ensayo** : Contenido de humedad del agregado grueso

**Referencia** : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)		
B.- Peso de muestra seca	(gr.)		
C.- Peso de recipiente	(gr.)		
D.- Contenido de humedad	(%)		
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)		

Tesistas : HUAMAN FARSEQUE FIORELA, MANAYAY REYES SILVIA

Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS

Proyecto :“ADICION DE CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO – 2023”

### DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO

#### METODO MARSHALL – ASTM – D 1559 AASTHO T – 245

Grava Chancada ¾”	
Arena Chancada 1/4”	
Cemento (filer)	
Caucho	
<b>CEMENTO ASFALTICO 60/70</b>	

	Material	% Mezcla	% Diseño
<b>A</b>	Grava Triturada		
<b>B</b>	Arena		
<b>C</b>	Cemento (filer)		

% Que pasa al tamiz								
1”	¾”	½”	3/8”	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200

		#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta					
2	CA. en peso de la mezcla	%				
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor % 4)	%				
4	% de arenas combinados en peso de la mezcla (menor % 4)	%				
5	% de filer en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla nº 200)	%				
6	Peso específico aparente de cemento asfaltico	gr/cc.				
7	Peso específico Bulk de la grava (>%4) (ASTMC 127, AASHTO T 85, MTCE 206)	gr/cc				
8	Peso específico Aparente de la grava (>%4) (ASTMC 127, AASHTOT 85, MTCE 206)	gr/cc				
9	Peso específico Bulk de la arenal<ME) (ASTM C128, AASHTO T 84, MTCE 205)	gr/cc				
10	Peso específico Aparente de la arena (>%4) (ASTM C 228, AASHTO T 84, MTCE 205)	gc/cc				
11	Peso específico aparente Filer	gc/cc				
12	Altura promedio de la briqueta	cm				
13	Peso de la briqueta en el aire	gr				
14	Pesa de la briqueta saturada superficialmente seca	gr				
15	Peso de la briqueta en el agua 25°C	gr				

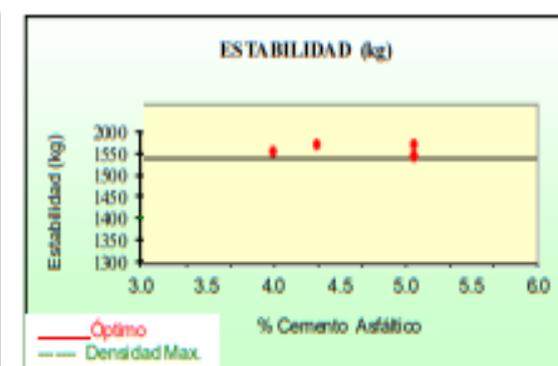
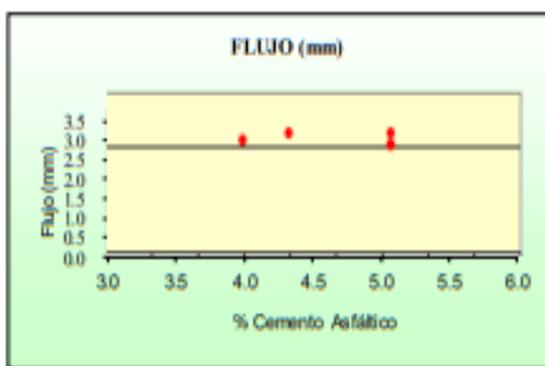
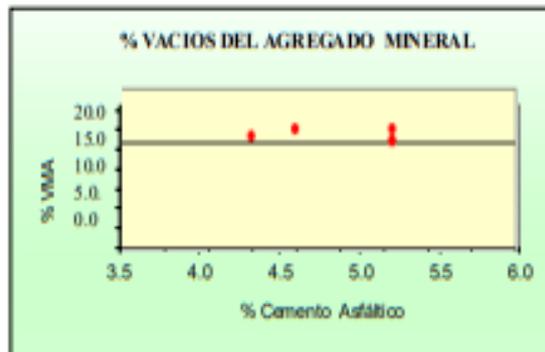
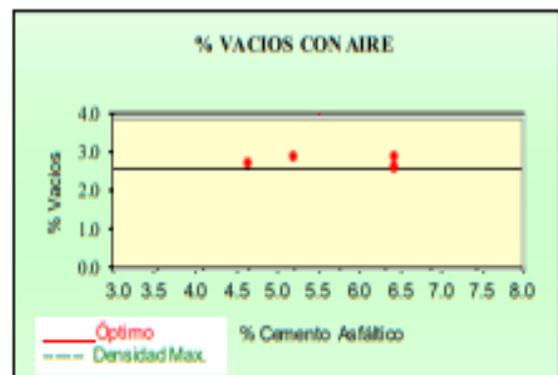
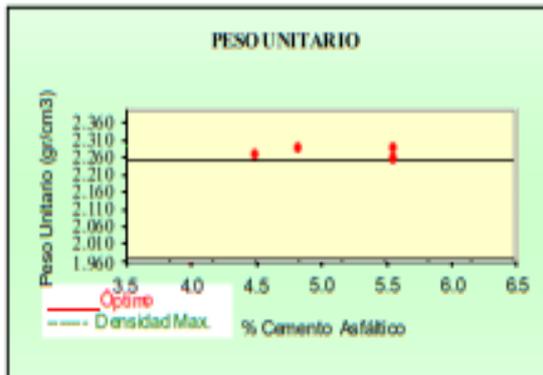
16	volumen de la briqueta 14-15	cc				
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 524)	gr/cc				
18	Peso especifico tedrico máximo (Rice) (ASTM D 2011, AASHTOT 209, MTCE 508)	gr/cc				
19	Maxima densidad teórica de las agregados $100/12/6)+(3^*2/(7+8)+(4^*2/(9+10)$	gr/cc				
20	% de vacios con aire $100^*(1+17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%				
21	Peso especifico Builk del Agregado Total $(100\ 23/1(3/7)+(47+(5/11)$	gr/cc				
22	Peso especifico Aparente del agregado total $(200-21)(3/8\ 14/10/11))$	gr/cc				
23	Peso especifico efectiva del agregado total $(3+4)\ 3/4^*P-10)$	gr/cc				
24	Asfalta absorbido por el agregado total $200-6(23-21)/23^*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%				
25	% del voldel Agregado/ Volumen Bruto de la briquets $(3+4)^*17/21$	%				
26	% del volumen de asfalto efectivo/volumen de briquets $100-(25-20)$	%				
27	% vacias del agregado mineral 100-25	%				
28	Asfalto efectivo /peso de la mezcla 2- $(24/100)^*(3+4)$	%				
29	Relación betun vacios $(26/27)\ *100$	%				
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anito)	%				
31	Factor de estabilidad	kg				
32	Estabilidad coregida $31^*32$	kg				
33	lectura del feximetro $(001^*)\ (35/0.254)$	pd				
34	Fluencia	m.m				
35	Relación Estabilidad/Fluencia	m.m				

Tesista  
 Universidad  
 Proyecto

: HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO-2023"

### REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

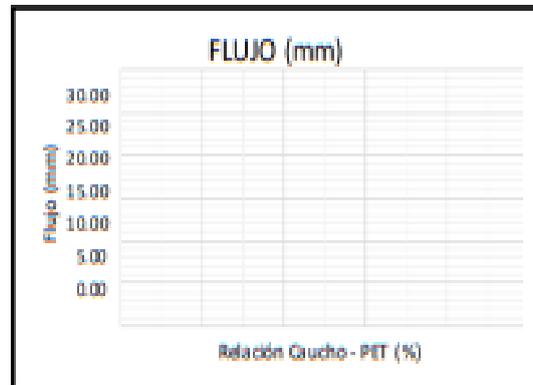
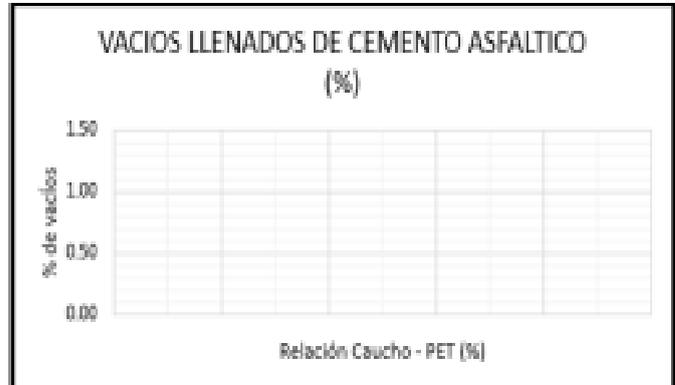
RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	
Peso Unitario (g/cm <sup>2</sup> )	
Vacios (%)	
Vacios del Agregado mineral (%)	
Vacios Llenados de C.A (%)	
Flujo (mm)	
Estabilidad (Kg)	
Relación Polvo Asfalto	

Tesista  
 Universidad  
 Proyecto

: HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET

RESULTADOS								
Relación Póvilier	Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Póvilier Asfalto	Relación Estabilidad Flujo



## Anexo N°4. Instrumento de Validación.

### GUÍA DE JUICIO DE EXPERTOS

#### 1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: *Nestor Raul Salinas Vasquez*

Centro laboral: *U.C.V Filial Chiclayo.*

Título profesional: *Ingeniero Civil*

Grado: *Magister*      Mención: *Gerencias de obras y Construcción.*

Institución donde lo obtuvo: *U.N.P.P.G*

Otros estudios: *Doctorado Ciencias Ambientales.*

#### 2. Instrucciones

Estimado especialista, a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tiene que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N.º 1).

Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

**1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente**

#### 3. Evaluación de juicio del experto

INDICADORES	CATEGORÍA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables(coherencia)				X	
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)				X	
9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular(orden)					X
10. Los ítems del instrumento son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
<b>Puntaje parcial</b> (sumar los puntos donde marca el aspa)					X
<b>Puntaje total</b>					<b>73</b>

**Nota:** Índice de validación del juicio de experto (IVJE) =  $[\text{puntaje obtenido} / 75] \times 100 = 97\%$

#### 4. Escala de validación

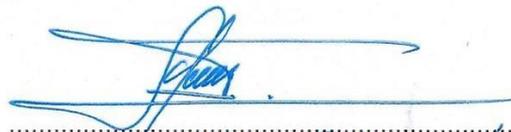
Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80%	81-100%
El instrumento de investigación está observado			El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación	El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

#### 5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado):

Se concluye que los Instrumentos de Recolección de Datos son idóneos para realizar y desarrollar la Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

#### 6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe, *Nestor R. Salinas Vazquez* identificado con DNI. N.º *16577244* certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por las tesisistas Fiorela Huaman Farsequé y Silvia Manayay Reyes en la investigación denominada: ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO -2023.

  
Mg. Ing. *Nestor Salinas Vazquez*  
CIP 30694  
DNI: *16577244*

## GUÍA DE JUICIO DE EXPERTOS

### 1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: Villegas Granados, Luis Mariano.

Centro laboral: – Filial Chiclayo

Título profesional: *Ingeniero Civil*

Grado: *Magister* Mención: *Gestión Pública*

Institución donde lo obtuvo: *Universidad Cesar Vallejo.*

Otros estudios:

### 2. Instrucciones

Estimado especialista, a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tiene que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N.º 1).

Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

**1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente**

### 3. Evaluación de juicio del experto

INDICADORES	CATEGORÍA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)				X	
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables (coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)				X	
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X
9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular (orden)					X
10. Los ítems del instrumento son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)				X	
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)				X	
<b>Puntaje parcial</b> (sumar los puntos donde marca el aspa)					X
<b>Puntaje total</b>					<b>71</b>

**Nota:** Índice de validación del juicio de experto (IVJE) = [puntaje obtenido / 75] x 100 = 94 %

#### 4. Escala de validación

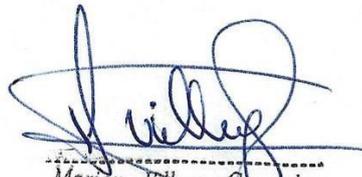
Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80%	81-100%
El instrumento de investigación está observado			El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación	El instrumento de investigación está apto para su aplicación
<b>Interpretación:</b> Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

#### 5. Conclusión general de la validación y sugerencias (en coherencia con el nivel de validación alcanzado):

Revisados los Instrumentos de recolección de datos, se concluye que son aptos para su aplicación.

#### 6. Constancia de Juicio de experto

El que suscribe, Villegas Granados, Luis Mariano identificado con DNI. N.º 16665065 certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por las tesisistas Fiorela Huaman Farseque y Silvia Manayay Reyes en la investigación denominada: ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO -2023.



Mariano Villegas Granados  
INGENIERO CIVIL  
CIP 75063

Mg. Ing. Villegas Granados, Luis Mariano

DNI: 16665065

## GUÍA DE JUICIO DE EXPERTOS

### 1. Identificación del Experto

Nombre y Apellidos: Carolina Ortiz Vargas.

Centro laboral: Independiente

Título profesional: Ingeniero Civil

Grado: Magister

Mención: Gestión Pública

Institución donde lo obtuvo: Universidad Cesar Vallejo.

Otros estudios:

### 2. Instrucciones

Estimado especialista, a continuación, se muestra un conjunto de indicadores, el cual tiene que evaluar con criterio ético y estrictez científica, la validez del instrumento propuesto (véase anexo N.º 1).

Para evaluar dicho instrumento, marca con un aspa (x) una de las categorías contempladas en el cuadro:

**1: Inferior al básico 2: Básico 3: Intermedio 4: Sobresaliente 5: Muy sobresaliente**

### 3. Evaluación de juicio del experto

INDICADORES	CATEGORÍA				
	1	2	3	4	5
1. Las dimensiones de la variable responden a un contexto teórico de forma (visión general)					X
2. Coherencia entre dimensión e indicadores (visión general)					X
3. El número de indicadores, evalúan las dimensiones y por consiguiente la variable seleccionada (visión general)					X
4. Los ítems están redactados en forma clara y precisa, sin ambigüedades (claridad y precisión)					X
5. Los ítems guardan relación con los indicadores de las variables (coherencia)					X
6. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la prueba piloto (pertinencia y eficacia)					X
7. Los ítems han sido redactados teniendo en cuenta la validez de contenido					X
8. Presenta algunas preguntas distractoras para controlar la contaminación de las respuestas (control de sesgo)					X
9. Los ítems han sido redactados de lo general a lo particular (orden)					X
10. Los ítems del instrumento son coherentes en términos de cantidad (extensión)					X
11. Los ítems no constituyen riesgo para el encuestado (inocuidad)					X
12. Calidad en la redacción de los ítems (visión general)					X
13. Grado de objetividad del instrumento (visión general)					X
14. Grado de relevancia del instrumento (visión general)					X
15. Estructura técnica básica del instrumento (organización)					X
Puntaje parcial (sumar los puntos donde marca el aspa)					X
Puntaje total					75

**Nota:** Índice de validación del juicio de experto (IVJE) = [puntaje obtenido / 75] x 100 = 100 %

  
 Ing. Carolina Ortiz Vargas  
 CIP: 111872

**4. Escala de validación**

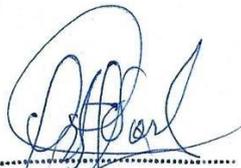
Muy baja	Baja	Regular	Alta	Muy Alta
00-20 %	21-40 %	41-60 %	61-80%	81-100%
El instrumento de investigación está observado			El instrumento de investigación requiere reajustes para su aplicación	El instrumento de investigación está apto para su aplicación
Interpretación: Cuanto más se acerque el coeficiente a cero (0), mayor error habrá en la validez				

**5. Conclusión general de la validación y sugerencias** (en coherencia con el nivel de validación alcanzado):

El instrumento de validación es apto para su aplicación.

**6. Constancia de Juicio de experto**

El que suscribe, Carolina Ortiz Vargas identificado con DNI. N.º 16803529 certifico que realicé el juicio del experto al instrumento diseñado por las tesisistas Fiorela Huaman Farseque y Silvia Manayay Reyes en la investigación denominada: ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO -2023.



Ing. Carolina Ortiz Vargas  
CIP: 111872

Mg. Ing. Carolina Ortiz Vargas.

DNI: 16803529

## Anexo N°5. Certificado de calibración de equipos



PERÚ

Presidencia  
del Consejo de Ministros

INDECOPI

# Registro de la Propiedad Industrial

## Dirección de Signos Distintivos

### CERTIFICADO N° 95052

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 12978-2016/DSD - INDECOPI de fecha 03 de Agosto de 2016, ha quedado inscrita en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo : La denominación FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo

Distingue : Servicios de construcción; servicios de reparación e instalación; albañilería; alquiler de máquinas de construcción; montaje de andamios; servicios de carpintería estructural; pavimentación de carreteras; información sobre construcción; supervisión (dirección) de obras de construcción; demolición de construcciones; consultoría sobre construcción; limpieza de bienes inmuebles; trabajos de pintura para interiores y exteriores

Clase : 37 de la Clasificación Internacional.

Solicitud : 657576-2016

Titular : FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.

País : Perú

Vigencia : 03 de agosto de 2026

Tomo : 476

Folio : 66

RAY MELONI GARCIA  
Director  
Dirección de Signos Distintivos  
INDECOPI





**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**N° LMA-028-2023**

Fecha de emisión	2023/01/26
Solicitante	<b>FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.</b>
Dirección	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Instrumento de medición	<b>BALANZA</b>
Identificación	NO INDICA
Intervalo de indicación	30000 g
División de escala Resolución	1 g
División de verificación (e)	1 g
Tipo de indicación	Digital
Marca / Fabricante	TSCALE
Modelo	QHW-30
N° de serie	02402047011
Procedencia	CHINA
Ubicación	Laboratorio de suelos
Lugar de calibración	CAL. JOSE GALVEZ NRO. 120 CERCADO DE CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Fecha de calibración	2023/01/26

**Método/Procedimiento de calibración**

"Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase III y IIII" (PC-001) del SNM-INDECOPI, 3era edición Enero 2009 y la Norma Metrológica Peruana "Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático (NMP 003-2009)

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.  
775 N° JOSE GALVEZ CERREJO  
METROLOGÍA



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN  
N° LMA-028-2023

**Arsou Group**  
Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1mg a 1kg	1226-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Juego de Pesas de 1g a 1kg	1227-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 5kg	1228-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 10 kg	1229-MPES-C-2022
PESATEC PERÚ S.A.C.	Pesa Patrón de 20kg	1230-MPES-C-2022

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 26,6 °C	Final: 28,7 °C
Humedad Relativa	Inicial: 62 %hr	Final: 59 %hr

Resultados

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición N°	Carga L1= 15000 g			Carga L1= 30000 g		
	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)	I (g)	$\Delta L$ (g)	E (g)
1	14999,0	0,07	-0,11	30000	0,03	-0,1
2	14999,0	0,04	-0,12	29999	0,05	-0,11
3	14999,0	0,03	-0,1	29999	0,02	-0,11
4	14999,0	0,04	-0,1	29999	0,01	-0,12
5	14999,0	0,03	-0,11	29999	0,01	-0,11
6	14999,0	0,01	-0,11	29999	0,09	-0,18
7	14999,0	0,01	-0,11	29999	0,03	-0,11
8	14999,0	0,05	-0,1	29999	0,02	-0,1
9	14999,0	0,03	-0,15	29999	0,01	-0,11
10	14999,0	0,01	-0,12	29999	0,01	-0,11
Carga (g)	Diferencia Máxima Encontrada (g)		Error Máximo Permitido (g)			
14999	0		1			
29999	0		5			



ARSOU GROUP S.A.C

Ing. H. [Signature]



**Arsou Group**

Laboratorio de Metrología

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**N° LMI-023-2022**

Fecha de emisión	2022/06/01
Solicitante	<b>FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES SAC</b>
Dirección	CAL. FRANCISCO CABRERA NRO. 1277 CERCADO CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Instrumento de medición	<b>HORNO</b>
Identificación	NO INDICA
Marca	PYS EQUIPOS EIRL
Modelo	STHX-2A
Serie	157103
Cámara	136 LITROS
Ventilación	NATURAL
Pirómetro	DIGITAL
Procedencia	CHINA
Ubicación	LABORATORIO DE SUELOS
Lugar de calibración	CAL. FRANCISCO CABRERA NRO. 1277 CERCADO CHICLAYO LAMBAYEQUE - CHICLAYO - CHICLAYO
Fecha de calibración	2022/06/01

**Método/Procedimiento de calibración**

- SNM – PC-018 2da Ed. 2009 – Procedimiento para la calibración de medios isoterms con aire como medio termostático. INACAL.
- ASTM D 2216, MTC E 108 – Método de ensayo para determinar el contenido de humedad del suelo.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento recalibrar sus instrumentos a intervalos regulares, los cuales deben ser establecidos sobre la base de las características propias del instrumento, sus condiciones de uso, el mantenimiento realizado y conservación del instrumento de medición o de acuerdo a reglamentaciones vigentes.

ARSOU GROUP S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en este documento.

Este certificado no podrá ser reproducido o difundido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito de ARSOU GROUP S.A.C.



ARSOU GROUP S.A.C.  
*H. Arevalo*  
Ing. Hugo Luis Arevalo Carnicero  
METROLOGÍA



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
N° LMI-023-2022

**Arsou Group**

Laboratorio de Metrología

Patrones e Instrumentos auxiliares

Trazabilidad	Patrón Utilizado	Certificado de Calibración
CADENT S.A.C.	Termómetro con sonda MARCA: EZOOO	0015-LT-2021

Condiciones ambientales durante la calibración

Temperatura Ambiental	Inicial: 24,2 °C	Final: 21,8 °C
Humedad Relativa	Inicial: 46 %hr	Final: 43%hr
Presión Atmosférica	Inicial: 1015 mbar	Final: 1015 mbar

Resultados

**TEMPERATURA**

Tiempo (hh:mm)	Pímetro °C	INDICACIONES CORREGIDAS DE CADA TERMOCUPLA ° C										T° Prom. °C	Tmax - Tmin °C	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
00:00	110	111.0	110.8	110.7	111.0	110.3	110.1	110.0	110.5	110.5	110.6	110.6	110.6	1.0
00:02	110	110.5	110.5	111.0	110.6	110.8	110.7	110.5	110.9	110.1	110.4	110.8	110.8	0.9
00:04	110	110.7	110.4	110.6	110.7	110.5	110.4	110.5	110.1	110.5	111.0	110.5	110.5	0.9
00:06	110	110.8	110.9	110.4	110.6	110.7	110.3	110.0	110.6	110.1	110.5	110.5	110.5	0.9
00:08	110	110.5	110.0	110.5	110.5	110.1	110.7	110.2	110.5	110.6	110.7	110.7	110.4	0.7
00:10	110	110.3	110.6	110.8	110.0	110.8	110.1	110.7	110.1	110.1	110.1	110.4	110.4	0.8
00:12	110	110.7	111.0	110.3	110.3	110.5	110.3	110.0	110.1	110.1	110.7	110.4	110.4	1.0
00:14	110	110.6	110.5	110.5	110.3	110.1	110.8	110.2	110.8	110.1	110.9	110.4	110.4	0.8
00:16	110	110.2	110.0	110.2	110.7	110.3	110.3	111.0	110.4	110.5	110.9	110.5	110.5	1.0
00:18	110	110.4	110.3	110.8	110.0	110.7	110.1	110.0	110.8	110.2	110.2	110.4	110.4	0.8
00:20	110	110.1	110.1	110.8	110.9	110.8	110.5	110.7	110.5	111.0	110.7	110.6	110.6	0.9
00:22	110	110.4	110.7	110.7	110.7	110.4	110.1	110.3	110.1	110.5	111.0	110.5	110.5	0.9
00:24	110	110.8	110.8	110.5	110.6	110.0	110.4	110.9	110.5	110.1	110.7	110.4	110.4	0.8
00:26	110	110.3	110.4	110.5	110.3	110.0	110.7	110.7	110.3	110.5	110.7	110.4	110.4	0.7
00:28	110	110.9	110.5	110.1	110.9	110.4	110.7	110.9	110.4	111.0	110.7	110.7	110.7	0.9
00:30	110	110.4	110.2	110.0	110.7	110.9	110.2	110.4	110.0	110.2	110.9	110.4	110.4	0.9
00:32	110	110.7	110.5	110.4	110.7	110.7	110.4	110.8	110.4	110.7	110.5	110.6	110.6	0.4
00:34	110	110.5	110.1	110.5	110.5	110.3	110.5	110.1	110.7	110.0	110.8	110.4	110.4	0.7
00:36	110	110.8	110.7	110.7	110.6	110.4	110.8	110.5	110.2	110.1	110.4	110.5	110.5	0.7
00:38	110	110.5	110.1	110.5	110.9	110.6	110.6	110.7	110.2	110.4	110.4	110.5	110.5	0.8
00:40	110	110.2	111.0	110.4	110.2	110.9	110.2	110.5	110.5	110.5	110.5	110.5	110.5	0.8
00:42	110	110.0	110.5	110.8	110.8	110.3	110.3	110.1	110.1	110.1	110.9	110.4	110.4	0.9
00:44	110	110.1	110.6	111.0	110.9	110.1	110.9	110.6	110.2	110.5	110.7	110.8	110.8	0.9
00:46	110	110.2	110.5	110.2	110.9	110.4	110.7	110.8	110.3	110.3	111.0	110.5	110.5	0.8
00:48	110	110.1	110.8	110.1	110.8	110.7	110.4	110.6	110.0	110.4	110.5	110.4	110.4	0.8
00:50	110	110.8	110.8	110.4	110.7	110.7	110.2	110.8	111.0	110.1	110.5	110.6	110.6	0.9
T. PROM.	110	110.5	110.5	110.5	110.6	110.5	110.4	110.5	110.4	110.4	110.6	110.5	110.5	
T. MAX.	110	111.0	111.0	111.0	111.0	110.9	110.9	111.0	111.0	111.0	111.0	111.0	111.0	
T. MIN.	110	110.0	110.0	110.0	110.0	110.0	110.1	110.0	110.0	110.0	110.1	110.1	110.1	

Nomenclatura:

- T. P Promedio de indicaciones corregidas de los sensores para un instante de tiempo.
- Tm Diferencia entre máxima y mínima temperatura para un instante de tiempo.
- T. P Promedio de indicaciones corregidas para a cada termocupla durante el tiempo total.
- T. M La Máxima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total
- T. M La Mínima de las indicaciones para cada termocupla durante el tiempo total.



**ARSOU GROUP S.A.C.**

Asoc. Viv. Las Flores de San Diego Mz C Lote 01, San Martín de Porres, Lima, Perú  
Tel: +51 496-8887 / + 51 301-1680 / Cel: +51 928 196 793 / Cel: +51 925 151 437  
ventas@arsougroup.com  
www.arsougroup.com

**ARSOU GROUP S.A.C.**  
*[Signature]*  
Ing. Hugo Luis Arevalo  
METROLOGÍA



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL  
DE CHICLAYO

# LICENCIA DE FUNCIONAMIENTO

LEY DE MARCO DE LICENCIA EN FUNCIONAMIENTO  
LEY N° 28976  
ORDENANZA MUNICIPAL N° 015-2016-MPCH/A

GERENCIA DE DESARROLLO  
ECONÓMICO LOCAL  
Dpto. de Licencias de  
Funcionamiento

**CERTIFICADO N° 1889**

## CONCEDE A:

Nombres y Apellidos / Razón Social: **FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.** R.U.C: **20561114502**

Representante Legal: **GERMAN OSCAR GASTELO CHIRINOS** D.N.I.: **42643084**

Nombre Comercial: **FERMATI SAC**

Dirección: **CALLE JOSE GALVEZ N° 120 - CHICLAYO**

Giro: **OFICINA ADMINISTRATIVA – LABORATORIO DE SUELOS Y CONSTRUCCION**

Área: **50.00** M2, Horario de Atención: **LUNES A SABADO 8:00 AM. – 5:30 PM.**

Expediente N° **467695** Aprobado por Resolución N° **1889-2021** MPCH/GDEL./DLF

Queda inscrito en el Registro de Licencias con el N° **1889-2021**, Chiclayo, **02 DE DICIEMBRE DEL 2021.**

AUTORIZADO POR

  
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CHICLAYO  
SU GERENCIA DE LICENCIAS Y  
FORMALIZACIÓN EMPRESARIAL  
Abg. Raúl Y. Paredes Quispe  
SUB GERENTE

Si realiza alguna modificación o cierra el establecimiento deberá renovar el certificado de Funcionamiento o cancelarlo respectivamente

**ES OBLIGATORIO QUE SE EXHIBA EN UN LUGAR VISIBLE. NO AUTORIZA EL USO DE LA VIA PUBLICA N 1702**

**Anexo N°6. Consentimiento de la compra del Caucho reciclado.**



**Chiclayo, 15 de junio de 2023**

**CARTA DE ACEPTACION**

**PARA : HUAMAN FARSEQUE FIORELA Y MANAYAY REYES SILVIA**, de la escuela profesional de Ing. Civil Universidad César vallejo – Chiclayo

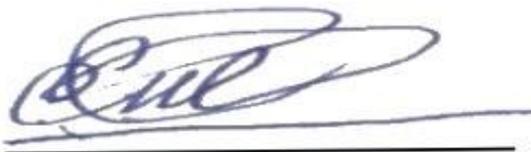
**DE : Sr. ENCARNACION CHAPOÑAN CRUZ**  
Representante legal de la empresa Tecnillantas "EL CHASQUI"

**ASUNTO: ACEPTACIÓN DE COMPRA DE CAUCHO PARA SU PROYECTO DE INVESTIGACION DE TESIS**

Tengo el agrado de dirigirme a Usted, con la finalidad de hacer de su conocimiento que las Srtas. **Huaman Farseque, Fiorela** identificado con **DNI 74407297**, y **Manayay Reyes, Silvia** identificado con **DNI 60237438**, alumnas de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Filia Chiclayo perteneciente a la Universidad César Vallejo, ha sido admitida para realizar su compra de caucho en nuestra **empresa Tecnillantas "EL CHASQUI"**, teniendo como fecha de entrega el 20 de abril del 2023.

Agradeciendo la atención al presente, aprovecho la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración.

**Atentamente;**



**Sr. ENCARNACION CHAPOÑAN CRUZ**  
Representante legal de empresa Tecnillantas "EL CHASQUI"



# Anexo N°7. Ensayo granulométrico del caucho reciclado



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

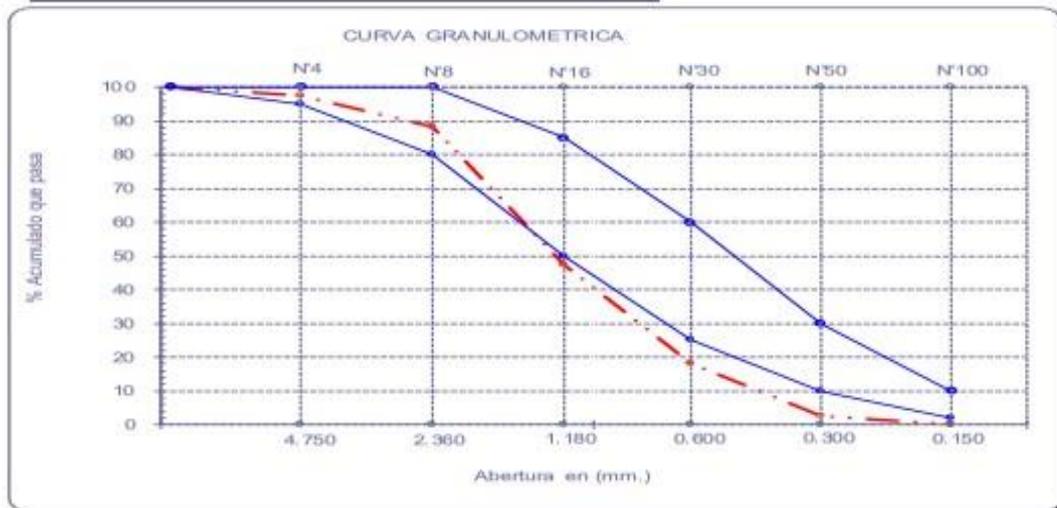
## INFORME DE ENSAYO N° 4445

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
 Testbas : HUAMAN FARSEQUE FIORELA  
 Universidad : MANAYAY REYES, SILVA  
 Tesis : CESAR VALLEJO  
 Lugar : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
 Fecha : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
 : Chiclayo, 13 de Mayo del 2023

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del caucho

Muestra : Caucho P. Inicial H. 200.0 % de Humedad = 0.00  
 P. Inicial S. 200.0

Malla	Peso Ret.	Peso (%) Ret.	Peso (%) Acum. Ret.	Peso (%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
					Pulg.	(mm.)
1/2"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	5	2.5	2.5	97.5	95	100
N° 08	18.8	9.4	11.9	88.1	80	100
N° 16	81.5	40.8	52.7	47.4	50	85
N° 30	58.3	29.2	81.8	18.2	25	60
N° 50	31.1	15.6	97.4	2.7	10	30
N° 100	5.3	2.7	100.0	0.0	2	10
N° 200	0.0	0.0	100.0	0.0		
Fondo	4.54	0.0	100.0	0.0		
Módulo de Fineza	3.462					
Abertura de malla de referencia	9.520					
Tamaño máximo	3/8"					
Tamaño máximo nominal	N° 04					



German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
 FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES

Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatissac@gmail.com

www.fermatissac.cf

## Anexo N°8. Caracterización de los materiales para el diseño de mezcla asfáltica: Ensayo de Absorción

### INFORME DE ENSAYO N° 4445

**Expediente N°** : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
**Testistas** : HJAMAN FARSEQUE, FIORELA  
 : MANAYAY REYES, SILVA  
**Universidad** : CESAR VALLEJOS  
**Tesis** : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
**Lugar** : Pimentel - Chiclayo - Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 13 de Mayo del 2023

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado fino

**Referencia** : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

#### I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco -	(g)	<b>951.8</b>	<b>951.8</b>
2.- Pesc. Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Fra	(g)	642.77	642.77
3.- Peso del Agua	(g)	309.03	309.03
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del F	(g)	637.77	637.77
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>142.77</b>	<b>142.77</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>495</b>	<b>495</b>
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

#### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.592</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.618
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.662
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>1.01</b>

**Ensayo** : Peso específico y Absorción del agregado grueso

**Referencia** : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Tres Tomas - Ferreñafe

#### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>3870</b>	<b>3870</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>3890</b>	<b>3890</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del	(g)	<b>3340</b>	<b>3340</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>900</b>	<b>900</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	2440	2440

#### II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.669</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm <sup>3</sup> )	2.683
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm <sup>3</sup> )	2.706
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.52</b>

German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351



964423859 - 943011231



Ca. José Galvez N° 120



fermatisac@gmail.com



www.fermatisac.cl

## Ensayo de Abrasión



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

### INFORME DE ENSAYO Nº 4445

Expediente Nº : 2425 - 2023 I.E.M. FERMATI S.A.C  
Tesis : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
MANAYAY REYES, SILVA  
Universidad : CESAR VALLEJOS  
Tesis : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
Lugar : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque  
Fecha de ensayo : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

**ENSAYO** : RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

**REFERENCIA** : Norma MTC E 207 / ASTM C-131

**Cantera** : Cantera San Miguel – Cayatí – Lambayeque

**Muestra** : Agregado grueso

% de desgaste por abrasión	%	19.1
% de uniformidad	%	0.6

Requerimiento : 40 % Maximo

#### OBSERVACIONES :

- Muestras provistas e identificadas por el solicitante.
- Método de ensayo a usar: Gradación "B", Nº de esferas : 11, Revoluciones : total 500

German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES  
FERMATI CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES S.A.C.

Juan Carlos Fermo Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

# Ensayo de Durabilidad de agregado fino



## INFÓRME DE ENSAYO N° 4445

**Expediente N°** : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C. (Pág. 01 de 01)  
**Tesistas** : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
: MANAYAY REYES, SILVA  
**Universidad** : CÉSAR VALLEXOS  
**Tesis** : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
**Lugar** : Pimentel - Chiclayo - Lambayeque  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 13 de Mayo del 2023

**Ensayo** : A GREGADOS. Determinación de la materialidad  
**Referencia** : de agregados por método de sulfato de sodio o sulfato de magnesio  
**Referencia** : NORMA N.T.P. 400.010 ASTM C-88

### EXAMEN CUANTITATIVO

**Cantera** : Cartera Patapo

**Muestra** : Arena gruesa

#### I.- DATOS

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
3/8" 9.5 mm	N° 4 4.75 mm	0.7
N° 4 4.75 mm	N° 8 2.36 mm	0.8
N° 8 2.36 mm	N° 16 1.18 mm	0.6
N° 16 1.18 mm	N° 30 600 µm	0.5
N° 30 600 µm	N° 50 300 µm	1.7
N° 50 300 µm	N° 100 150 µm	2.0

#### II.- RESULTADO

DESGASTE TOTAL	(%)	6.3
----------------	-----	-----

#### OBSERVACIONES :

- La identificación y procedencia de la muestra fue realizada por el solicitante.
- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.

  
German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



  
Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

# Ensayo de Durabilidad de agregado grueso



## INFORME DE ENSAYO N° 4445

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C. (Pág. 01 de 02)  
Tesis : HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
: MANAYAY REYES, SILVA  
Universidad : CESAR VALLEJOS  
Tesis : ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023  
Ubicación : Pimentel - Chiclayo - Lambayeque  
Fecha de ensayo : Chidayo 13 de Mayo del 2023

Ensayo : AGREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio  
Referencia : NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

### EXAMEN CUANTITATIVO

Cantera : Tres Tomas  
Muestra : Piedra chancada

#### I.- DATOS :

TAMICES		Porcentaje de pérdida pesado
Pasa	Retiene	
2"	1 1/2"	3.1
50 mm	37.5 mm	
1 1/2"	3/4"	1.1
37.5 mm	19 mm	
3/4"	1/2"	0.9
19 mm	12.5 mm	
1/2"	3/8"	1.4
12.5 mm	9.5 mm	
3/8"	N° 4	
9.5 mm	4.75 mm	

#### II.- RESULTADO :

DESGASTE TOTAL (%)	6.5
--------------------	-----

#### OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.

  
German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



  
Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

INFORME DE ENSAYO N° 4445

Expediente N° :2425 -2023 L.E.M. FERMATI S.A.C (Pág. 02 de 02)  
 Tesistas :HUAMAN FARSEQUE, FIORELA  
 :MANAYAY REYES, SILVA  
 Tesis :"ADICION DEL CAUCHO REICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
 Ubicación :Pimentel - Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de ensayo :Chiclayo 13 de Mayo del 2023

Ensayo :A GREGADOS. Determinación de la inalterabilidad de agregados por metodo de sulfato de sodio o sulfato de magnesio  
 Referencia :NORMA N.T.P. 400.016 ASTM C-88

EXAMEN CUALITATIVO DEL AGREGADO GRUESO EN PARTÍCULAS QUE EXHIBEN FALLA

Cantera :Tres Tomas  
 Muestra :Piedra chancada

Tamices		Rajadas		Desmoronadas		fracturadas		Astilladas		N° total de partículas antes del ensayo
pasa	retiene	N°	%	N°	%	N°	%	N°	%	
2 1/2"	2"	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2"	1 1/2"	0	0	0	0	0	0	0	0	
1 1/2"	3/4"	0	0	5	25	0	0	0	0	

OBSERVACIONES :

- La solución de SULFATO DE MAGNESIO fue usada para el ensayo.
- Los ciclos transcurridos de inicio al final del ensayo son 5.



German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Juan Carlos Firme Ojeda Agesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

## Equivalente de arena



### INFORME DE ENSAYO N° 4445

(Pag. 01 de 01)

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C  
Tesis : HUAMAN FARS EQU, FIORELA  
 : MANAYAY REYES, SILVA  
Universidad : CESAR VALLEJOS  
Tesis : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
Lugar : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque  
Fecha de emisión : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

Ensayo : SUELOS, Metodo de ensayo estándar para el valor equivalente de arena de suelos y agregado fino.  
Referencia : NTP 339,146 - EG - 2000

### EXAMEN CUANTITATIVO

Muestra : Arena  
Cantera : Tres Tomas

#### I.- DATOS

MUESTRA N°	1	2	3
TAMAÑO MAXIMA (m.m.)	N° 4	N° 4	N° 4
ALTURA MAXIMA DEL MATERIAL FINO (cm.)	3.50	4.70	3.50
ALTURA MAXIMA DE LA ARENA (cm.)	2.70	3.40	2.60
EQUIVALENTE DE ARENA	77.14 %	72.34 %	74.29 %
EQUIVALENTE DE ARENA (EA)	75 %		

ESPECIFICACION DE ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA MTC E-114 (Ref. EG-2000):  
Mínimo : 45 % Mínimo

#### OBSERVACIONES :

- Muestreo e identificación realizados por el Solicitante.
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio.

  
German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C



  
Juan Carlos Forno Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

# Análisis granulométrico combinado



INFORME DE ENSAYO N° 4445

Expediente N° : 2425 - 2023 L.E.M. FERMATI S.A.C.  
 Testistas : HUANAN FARSEQUE, FIORELA  
 : MANAY REYES, SILVA  
 Universidad : CESAR VALLEJOS  
 Tests : "ADICION DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"  
 Lugar : Chiclayo - Chiclayo - Lambayeque  
 Fecha de ensayo : Chiclayo 13 de Mayo del 2023

## ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS MTC E204 - ASTM C136 - AASHTO T27

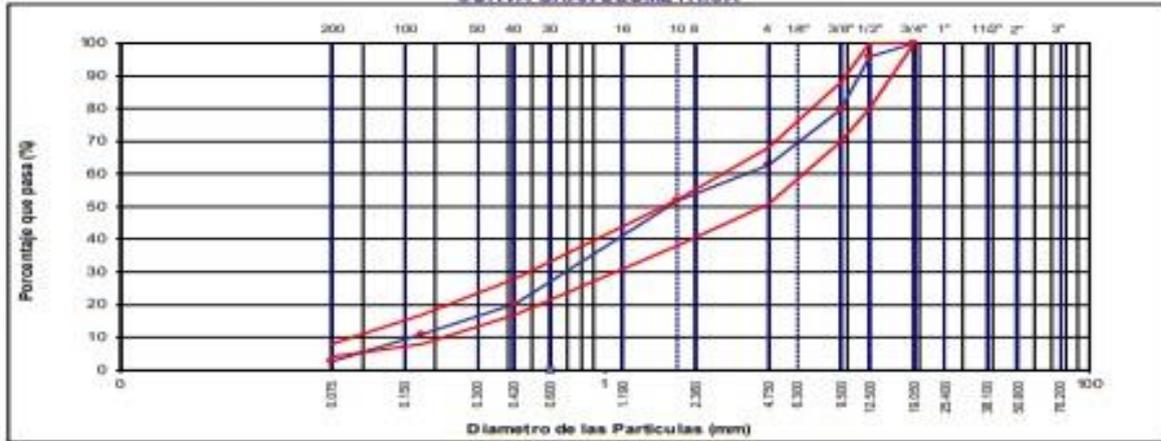
**DATOS DE DISEÑO**

Grava Chancada 3/4"	66%
Areia Chancada 1/8"	34%
Ceniza	2.8%
CEMENTO ASFALTICO EN GRANO	

TAMAÑO MAXIMO : 3/4"  
 Peso inicial seco : 6000 g

TAMIZ	AASHTO T-27 (mm)	PESO RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO	RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACION	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200				100.0	MAC - 2	
3/4"	19.000	1818			100.0	100	
1/2"	12.500	252	4.2	4.2	95.8	80 - 100	
3/8"	9.500	981	16.0	20.2	79.8	70 - 88	
N° 4	4.750	1027	17.1	37.3	62.7	51 - 68	
N° 10	2.000	345.0	10.8	48.2	51.8	38 - 52	Observación:
N° 40	0.425	1007.7	31.6	79.7	20.3	17 - 28	
N° 80	0.177	294.7	9.2	89.0	11.0	8 - 17	
N° 200	0.075	266.2	8.4	97.4	2.6	4 - 8	
< N° 200	FONDO	83.5	2.8	100.0			

**CURVA GRANULOMETRICA**



*German Gastelo Chirinos*  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



*Juan Carlos Fimo Ojeda Ayesta*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

## Anexo N°9. Diseño de mezcla asfáltica convencional.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO-2023"

### DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

Grava Chancada 3/4"	60%
Arena Chancada 1/4"	39%
Cemento (Filer)	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1425
Peso de C.A	60
Peso del Cemento	15
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1500

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	81.8	73.5	69.2	48.6	20.8	10.9	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

		#	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta					
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	29.54	29.54	29.54	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	51.10	51.10	51.10	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	14.40	14.40	14.40	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.9	6.8	6.9	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1180	1170	1210.0	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1180	1190	1220.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	590.0	605	605	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	590.0	585	615	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	2.000	2.000	1.967	1.989
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.012	2.012	2.012	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc.	2.833	2.833	2.833	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	4.67	4.08	4.00	4.23
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	3.028	3.028	3.028	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	3.077	3.077	3.077	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc.	2.075	2.075	2.075	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	15.52	15.52	-15.52	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17/21$	%	62.78	62.78	61.76	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25 + 20)$	%	32.55	33.14	34.24	
27	% vacíos del agregado mineral 100 - 25	%	15.89	13.98	14.00	14.62
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3 + 4)$	%	16.51	16.51	16.51	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	70.61	70.82	71.43	70.95
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	1392	1299	1358	
31	Factor de estabilidad		0.81	0.83	FALSO	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1392	1299	1358	1350
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	3.67	3.54	3.09	3.68
34	Fluencia	m.m.	0.93	0.90	0.78	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	14933	14446	17302	15561

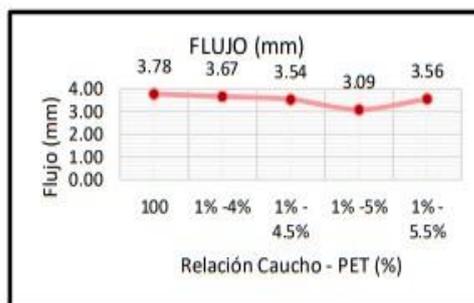
German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA FERMATI S.A.C.



Juan Carlos Pardo Ojeda Agosti  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP. 123361

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAYREYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.3
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.302
Vacios (%)	4.23
Vacios del Agregado mineral (%)	14.78
Vacios Llenados de C.A (%)	79.00
Flujo (mm)	3.68
Estabilidad (Kg)	1350
Relación Polvo Asfalto	0.95

German Gustavo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C



Juan Carlos Firme Ojeda Agüero  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP: 123351

# Anexo N°10. Diseño de mezcla asfáltica con la adición de 1 % de caucho reciclado.



Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO  
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

Grava Chancada 3/4"	60%
Arena Chancada 1/4"	39%
Cemento (Filer )	4%
Caucho	1%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

	Material	% Mezcla	% Diseño
A	Grava Triturada	30.77	29.54
B	Arena	65.23	48.22
C	Cemento (Filer )	4	22.24

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
	100	81.8	73.5	69.2	48.6	20.8	10.9	5.6
	100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8

#	Descripción	Unidad	1	2	3	Prom.
1	Número de briqueta	#				
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	29.54	29.54	29.54	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	48.22	48.22	48.22	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	14.40	14.40	14.40	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc.	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc.	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc.	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc.	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.6	6.4	6.8	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1200	1090	1170.0	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1200	1100	1180.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	590.0	550	580	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	610.0	550	600	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc.	1.967	1.982	1.950	1.966
18	Peso específico teórico máximo (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc.	2.005	2.005	2.005	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^2 / (7+8)) + (4^2 / (9+10)))$	gr/cc.	2.925	2.925	2.925	
20	% de vacíos con aire $100 * ((1-17/18))$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.87	2.14	3.73	3.89
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc.	3.044	3.044	3.044	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-2.1) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc.	3.190	3.190	3.190	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P-8) + (4^*P-10))$	gr/cc.	2.005	2.005	2.005	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-2.1) / (23^*2.1)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-17.42	-17.42	-17.42	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3+4) * 17/21$	%	59.56	60.00	59.04	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueta $100 - (25+20)$	%	38.57	38.86	38.23	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	14.44	14.00	15.96	15.54
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	17.55	17.55	17.55	
29	Relación betún vacíos $(26/27) * 100$	%	95.38	97.15	93.34	95.29
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración de la anilla)	kg	2506	1594	1364	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.89	0.95	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1306	1094	1264	1407
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35 / 0.254)$	pul.	2.98	3.87	3.01	3.61
34	Fluencia	m.m.	5.08	5.08	6.86	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1933	1738	1989	1873

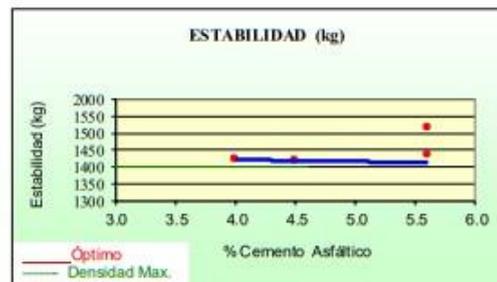
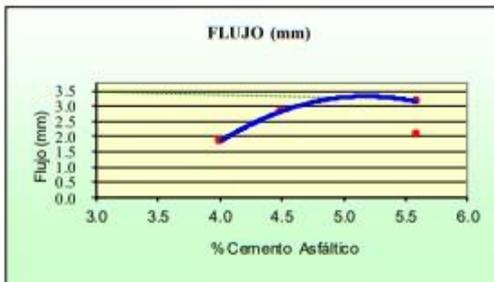
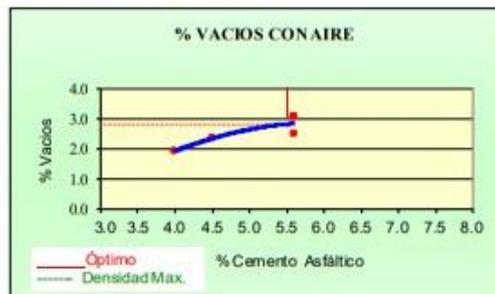
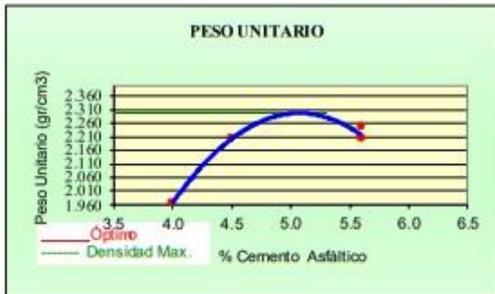
German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

**REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO**  
 METODO MARSHALL - ASTM - D1559 AASTHOT - 245



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.4
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.300
Vacios (%)	3.89
Vacios del Agregado mineral (%)	15.54
Vacios Llenados de C.A (%)	95.00
Flujo (mm)	3.61
Estabilidad (Kg)	1407
Relación Polvo Asfalto	0.98

German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



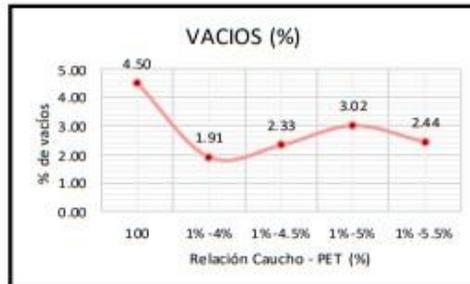
Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

Tesista  
 Universidad  
 Proyecto

: HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% -4%	1.97	1.91	14.47	95.29	22.33	1321.33	1.23	1353.26
1% -4.5%	2.20	2.33	14.42	96.01	26.33	1318.17	0.97	2833.13
1% -5%	0.00	3.02	15.30	94.91	27.67	1413.99	0.08	2789.07
1% -5.5%	2.20	2.44	15.08	95.92	23.33	1408.72	1.09	3090.70
1% -6%	2.24	3.04	14.38	94.90	31.67	1301.53	1.23	2302.94



German Gasteo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATISAC



Juan Carlos Forno Oueda Ajesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123391

# Anexo N°11. Diseño de mezcla asfáltica con la adición de 1.5 % de caucho reciclado.



Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO-2023"

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFÁLTICO  
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASHTO T - 245

Grava Chancada 3/4"	60%
Arena Chancada 1/4"	39%
Cemento (Filer )	4%
Caucho	1.5%
CEMENTO ASFÁLTICO PEN 60/70	

Material	% Mezcla	% Diseño
A Grava Triturada	30.77	29.54
B Arena	69.19	52.03
C Cemento (Filer )	4%	18.4

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	81.8	73.5	69.2	48.6	20.8	10.9	5.6	
100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8	

1	Número de briqueta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	29.54	29.54	29.54	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.03	52.03	52.03	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	14.40	14.40	14.40	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueta	cm.	6.7	6.8	6.7	
13	Peso de la briqueta en el aire	gr.	1.210	1.240	1.200.0	
14	Peso de la briqueta saturada superficialmente seca	gr.	1.220	1.250	1.230.0	
15	Peso de la briqueta en el agua 25 °C	gr.	610.0	620	610	
16	Volumen de la briqueta 14-15	c.c.	610.0	630	620	
17	Peso unitario de la briqueta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	1.984	1.968	1.935	1.962
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.017	2.017	2.017	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3 * 2 / (7 + 8)) + (4 * 2 / (9 + 10)))$	gr/cc	2.805	2.805	2.805	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 1 / 7 / 18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	3.65	3.41	4.03	4.04
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 * 2) / ((3 / 7) + (4 / 9) + (5 / 11))$	gr/cc	3.023	3.023	3.023	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 * 21) / ((3 / 8) + (4 / 10) + (5 / 11))$	gr/cc	3.042	3.042	3.042	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3 + 4) / ((3 / P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc	2.101	2.101	2.101	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 * 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-14.85	-14.85	-14.85	
25	% del vol. del Agregado / Volumen Bruto de la briqueta $(3 + 4) * 17 / 21$	%	12.97	62.48	11.44	
26	% del volumen de asfalto efectiva / volumen de briqueta $100 * (25 + 20)$	%	15.38	15.11	14.53	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.03	14.52	14.56	15.03
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24 / 100) * (3 + 4)$	%	16.11	16.11	16.11	
29	Relación betún vacíos $(26 / 27) * 100$	%	95.55	93.58	89.54	92.89
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2281	2101	2323	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.95	
32	Estabilidad corregida $31 * 32$	kg	1281	1401	1423	1479
33	Lectura del flexómetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	17	25	19	20
34	Fluencia	m.m.	4.32	6.35	4.83	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	1783	1809	1814	1896.20

German Gastelo Christos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C

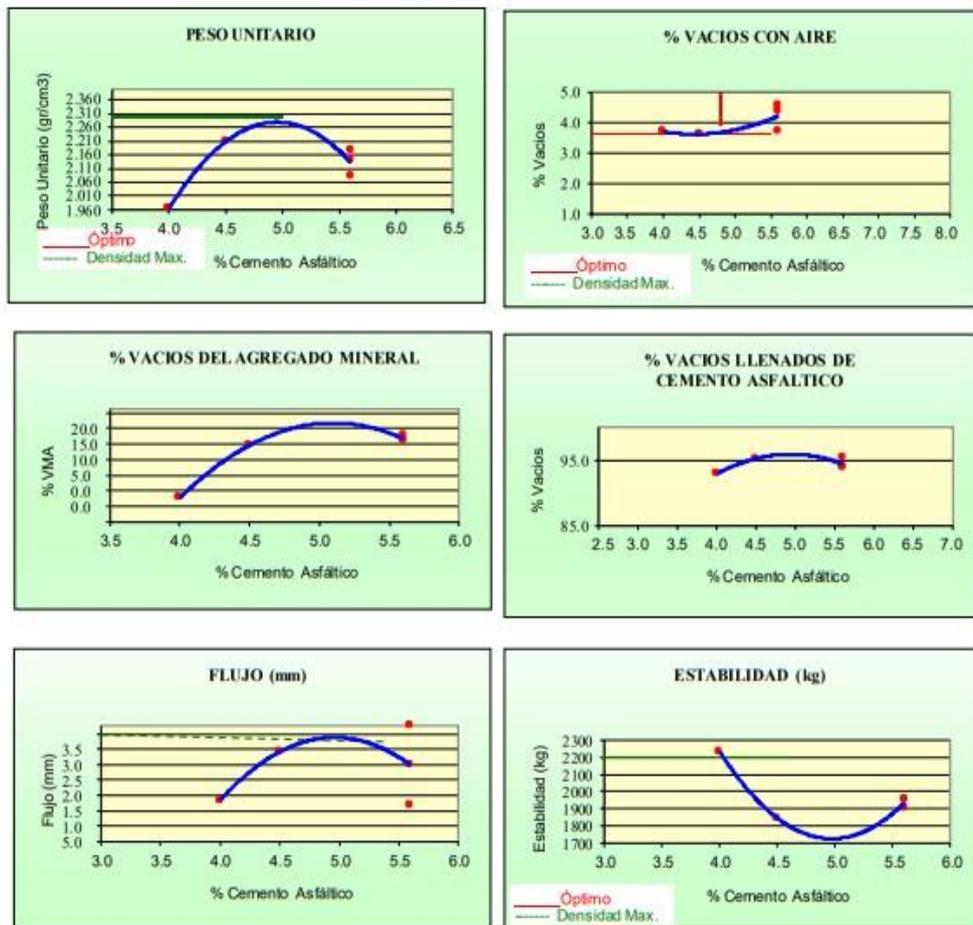


Juan Carlos Fierro Ojeda Agesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

### REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacíos al aire y Estabilidad

#### RESULTADOS

Óptimo Contenido C.A	5.4
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.300
Vacios (%)	4.04
Vacios del Agregado mineral (%)	15.03
Vacios Llenados de C.A (%)	95.00
Flujo (mm)	3.56
Estabilidad (Kg)	1896.20
Relación Polvo Asfalto	0.92

German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.

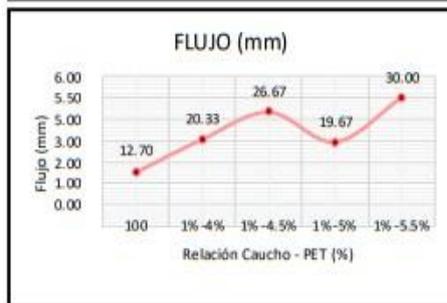


Juan Carlos Firme Ojeda Agesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAYREYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios Llenados de CA (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% -4%	1.96	4.70	14.70	92.89	2.33	1735.00	1.23	1768.24
1% -4.5%	2.21	4.62	14.69	95.23	3.67	1843.98	1.23	1741.73
1% -5%	0.00	3.57	15.82	93.69	2.67	1950.90	1.23	1788.18
1% -5.5%	2.08	2.72	15.81	95.30	3.00	1899.46	1.23	1898.59
1% -6%	2.14	2.35	16.67	94.11	2.00	1951.12	1.23	1834.26



German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATISAC



Juan Carlos Forno Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

# Anexo N°12. Diseño de mezcla asfáltica con la adición de 2 % de caucho reciclado.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO  
 METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T -245

Grava Chancada 3/4"	60%
Arena Chancada 1/4"	39%
Cemento (Filer )	1%
Caucho	2%
CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70	

Peso de Muestra	1470
Peso de CA	15
Caucho	30
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1515

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	N#4	N#10	N#40	N#80	N#200
	100	81.8	73.5	69.2	48.6	20.8	10.9	5.6
	100	80 - 100	70 - 88	51 - 68	38 - 52	17 - 28	8 - 17	4 - 8

1	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	29.54	29.54	29.54	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	47.26	47.26	47.26	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	14.40	14.40	14.40	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASHTO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena(<#4) (ASTM C 128, AASHTO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.4	6.7	6.5	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1300	1200	1180.0	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1140	1210	1190.0	
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr.	590.0	665	655	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	590.0	545	535	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.203	2.202	2.206	2.204
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASHTO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.258	2.258	2.258	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3^*2 / (7+8)) + (4^*2 / (9+10)))$	gr/cc	2.957	2.957	2.957	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.43	3.86	3.13	3.14
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100 - 2) / ((3/7) + (4/9) + (5/11))$	gr/cc	3.050	3.050	3.050	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100 - 21) / ((3/8) + (4/10) + (5/11))$	gr/cc	3.230	3.230	3.230	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4) / ((3/P - 8) + (4 * P - 10))$	gr/cc	2.259	2.259	2.259	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100 - 6(23 - 21) / (23 * 21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-11.74	-11.74	-11.74	
25	% del vol.de l Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4) * 17/21$	%	65.89	65.85	65.96	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100 - (25 + 20)$	%	31.68	31.66	31.71	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	17.12	17.17	16.70	17
28	Asfalto efectiva / peso de la mezcla $2 - (24/100) * (3+4)$	%	13.02	13.02	13.02	
29	Relación betán vacíos $(26/27) * 100$	%	92.88	92.69	93.16	92.91
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2172	2393	2365	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.95	
32	Estabilidad corregida 31 * 32	kg	1450	1520	1554	1508
33	Lectura del flexímetro (0.01") (35 / 0.254)	pul.	3.01	3.67	2.89	3.50
34	Fluencia	m.m.	5.84	4.83	4.83	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	3674	3843	3902	3806.35

German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



Juan Carlos Firma Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

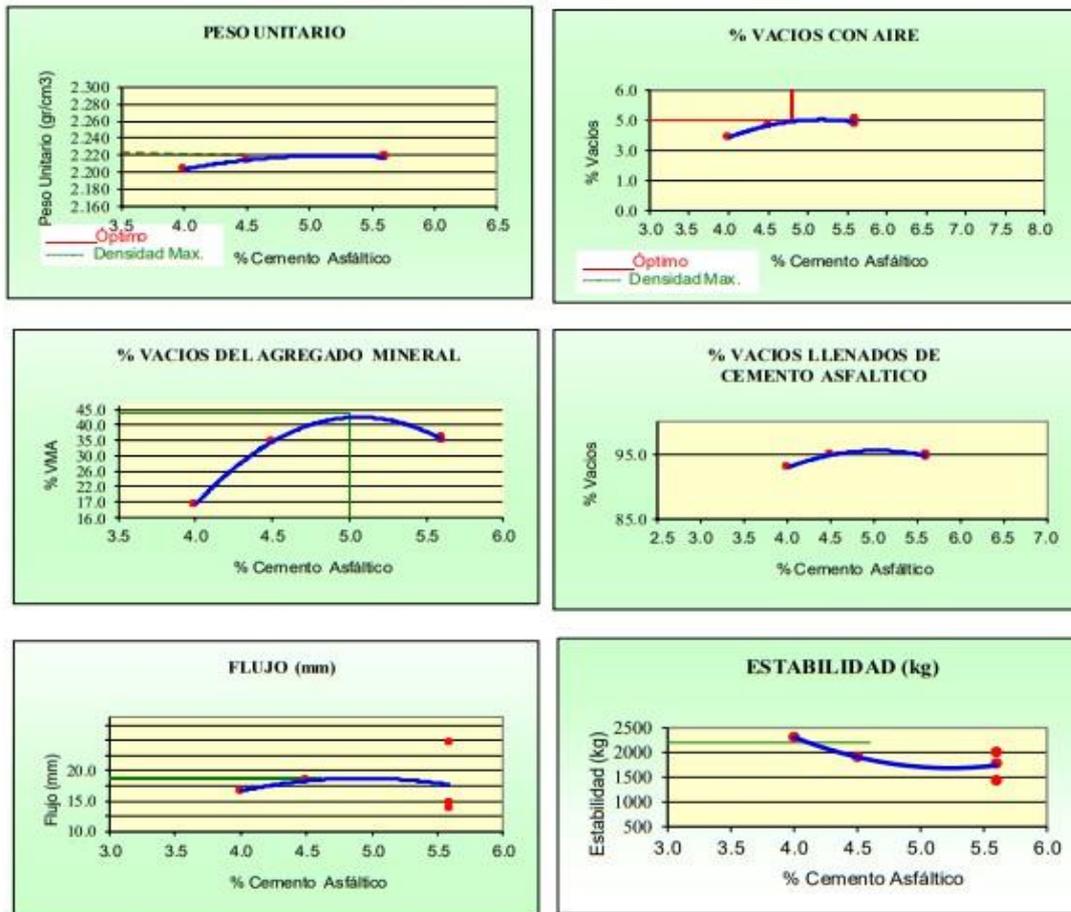
964423859 - 943011231  
 Ca. José Galvez N° 120

fermatisac@gmail.com  
 www.fermatisac.cf

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

**REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO**

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.4
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.230
Vacios (%)	3.14
Vacios del Agregado mineral (%)	17
Vacios Llenados de C.A (%)	96.00
Flujo (mm)	3.50
Estabilidad (Kg)	1508
Relación Polvo Asfalto	0.89

German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.



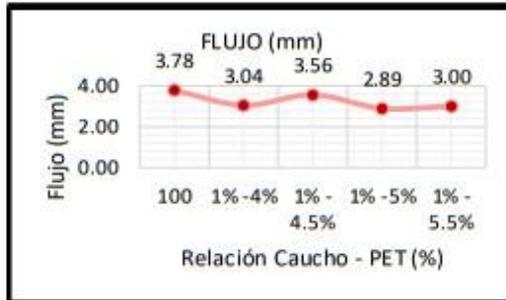
Juan Carlos Fierro Ojeda Agreda  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

Tesista  
 Universidad  
 Proyecto

: HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAYREYES SILVA  
 : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios llenados de C.A (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad Flujo
1% -4%	2.20	2.42	15.10	92.91	3.04	1697.67	1.23	4525.67
1% -4.5%	2.21	2.82	16.58	94.84	3.56	1907.97	1.23	3673.96
1% -5%	0.00	2.93	17.01	94.68	2.89	1578.90	1.23	4501.11
1% -5.5%	2.22	3.02	16.06	94.52	3.00	1435.09	1.23	4005.51
1% -6%	2.22	2.86	16.82	94.88	6.00	1590.89	1.23	2325.51



German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA FERMATIS S.A.C



Juan Carlos Fimo Ojeda Agesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351



964423859 - 943011231



Ca. José Galvez N° 120



fermatisac@gmail.com



www.fermatisac.cf

# Anexo N°13. Diseño de mezcla asfáltica con la adición de 3.5 % de caucho reciclado.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

### DOSIFICACION DE CONCRETO ASFALTICO METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHO T - 245

Grava Chancada 3/4"	60%
Arena Chancada 1/4"	39%
Cemento (Filer)	4%
Caucho	3.5%

Peso de Muestra	1380
Peso de C.A	60
Peso del Cemento	52.5
Peso Total de la Mezcla Asfáltica	1492.5

CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70

% Que Pasa el Tamiz								
1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200
100	81.8	73.5	69.2	48.6	20.8	10.9	5.6	
100	80-100	70-88	51-68	38-52	17-28	8-17	4-8	

I	Número de briqueeta	#	1	2	3	Prom.
2	C.A. en peso de la mezcla	%	4.0	4.0	4.0	
3	% de grava triturada en peso de la mezcla (mayor #4)	%	29.54	29.54	29.54	
4	% de arenas combinadas en peso de mezcla (menor #4)	%	52.03	52.03	52.03	
5	% de filler en peso de mezcla (mínimo 65% pasa malla #200)	%	14.40	14.40	14.40	
6	Peso específico aparente de cemento asfáltico	gr/cc	1.023	1.023	1.023	
7	Peso específico Bulk de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.504	2.504	2.504	
8	Peso específico Aparente de la grava (>#4) (ASTM C 127, AASTHO T 85, MTC E 206)	gr/cc	2.565	2.565	2.565	2.535
9	Peso específico Bulk de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.583	2.583	2.583	
10	Peso específico Aparente de la arena (<#4) (ASTM C 128, AASTHO T 84, MTC E 205)	gr/cc	2.596	2.596	2.596	2.590
11	Peso específico aparente del filler	gr/cc	1.47	1.47	1.47	
12	Altura promedio de la briqueeta	cm.	6.6	6.6	6.4	
13	Peso de la briqueeta en el aire	gr.	1170	1170	1170.0	
14	Peso de la briqueeta saturada superficialmente seca	gr.	1180	1170	1180.0	
15	Peso de la briqueeta en el agua 25 °C	gr.	650.0	630	645	
16	Volumen de la briqueeta 14-15	c.c.	530.0	540	535	
17	Peso unitario de la briqueeta 13/16 (ASTM D 2726, MTC E 514)	gr/cc	2.208	2.167	2.187	2.187
18	Peso específico teórico máxima (Rice) (ASTM D 2041, AASTHO T 209, MTC E 508)	gr/cc	2.243	2.243	2.243	
19	Máxima densidad teórica de los agregados $100 / ((2/6) + (3*2/(7+8)) + (4*2/(9+10)))$	gr/cc	2.805	2.805	2.805	
20	% de vacíos con aire $100 * (1 - 17/18)$ (ASTM D 3203, MTC E 505)	%	2.46	4.27	3.02	3.25
21	Peso específico Bulk del Agregado Total $(100-2)/((3/7)+(4/9)+(5/11))$	gr/cc	3.023	3.023	3.023	
22	Peso específico Aparente del agregado total $(100-21)/((3/8)+(4/10)+(5/11))$	gr/cc	3.042	3.042	3.042	
23	Peso específico efectivo del agregado total $(3+4)/((3/P-8)+(4*P-10))$	gr/cc	2.359	2.359	2.359	
24	Asfalto absorbido por el agregado total $100-6(23-21)/(23*21)$ (ASTM D 4469, MTC E 511)	%	-9.52	-9.52	-9.52	
25	% del vol del Agregado / Volumen Bruto de la briqueeta $(3+4)*17/21$	%	70.08	68.78	69.42	
26	% del volumen de asfalto efectivo / volumen de briqueeta $100-(25+20)$	%	28.34	27.82	28.08	
27	% vacíos del agregado mineral 100-25	%	15.70	17.12	16.26	16.36
28	Asfalto efectivo / peso de la mezcla $2 - (24/100)*(3+4)$	%	11.76	11.76	11.76	
29	Relación betún vacíos $(26/27)*100$	%	94.72	89.10	91.82	91.88
30	Estabilidad sin corregir (tabla de calibración del anillo)	kg	2290	1930	2406	
31	Factor de estabilidad		0.96	0.96	0.95	
32	Estabilidad corregida $31*32$	kg	1595	1394	1763	1584
33	Lectura del flexímetro (0.01") $(35/0.254)$	pu.	12	13	14	13
34	Fluencia	m.m.	3.05	3.30	3.56	
35	Relación Estabilidad / Fluencia	m.m.	4201	3408	3810	3596.35

German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

964423859 - 943011231

Ca. José Galvez N° 120

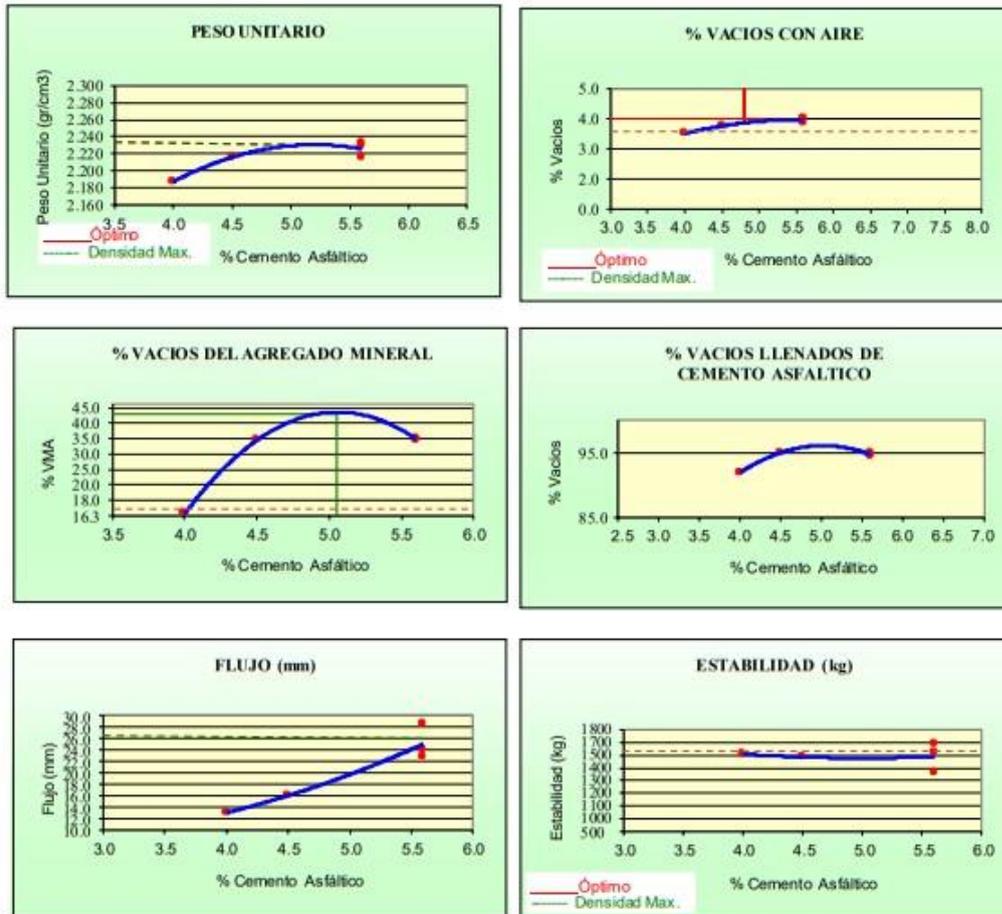
fermatisac@gmail.com

www.fermatisac.cf

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA- MANAYAY REYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

**REPRESENTACION GRAFICA DEL DISEÑO ASFALTICO**

METODO MARSHALL - ASTM - D 1559 AASTHOT - 245 3.25



Nota: El Óptimo de Cemento Asfáltico se obtiene del Peso unitario, Vacios al aire y Estabilidad

RESULTADOS	
Óptimo Contenido C.A	5.3
Peso Unitario (gr/cm <sup>2</sup> )	2.240
Vacios (%)	3.25
Vacios del Agregado mineral (%)	16.36
Vacios Llenados de C.A (%)	96.00
Flujo (mm)	3.48
Estabilidad (Kg)	1584
Relación Polvo Asfalto	0.86

German Gastelo Chirinos  
 LABORATORISTA-FERMATI S.A.C.

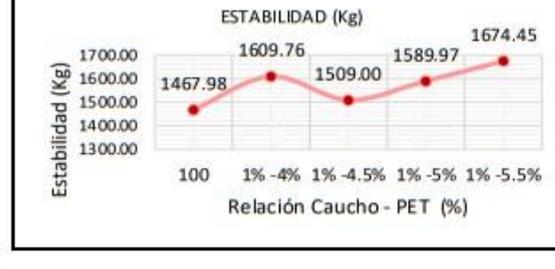
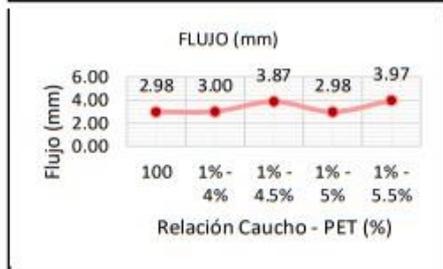


Juan Carlos Fimo Ojeda Ayesta  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

Tesista : HUAMAN FARSEQUE FIORELLA - MANAYAYREYES SILVA  
 Universidad : UNIVERSIDAD CESAR VALLEJOS  
 Proyecto : "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICAS Y MECANICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO, CHICLAYO-2023"

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS VARIANDO EL % DE CAUCHO Y PET

RESULTADOS								
Relación Pen-Filler	Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup> )	Vacios (%)	Vacios del agregado Mineral (%)	Vacios llenados de CA (%)	Flujo (mm)	Estabilidad (Kg)	Relación Polvo Asfalto	Relación Estabilidad d Flujo
1% -4%	2.19	2.50	16.09	91.88	3.00	1609.76	1.23	3708.03
1% -4.5%	2.22	2.75	15.40	94.97	3.87	1509.00	1.23	2510.74
1% -5%	0.00	2.85	16.00	94.82	2.98	1589.97	1.23	3855.23
1% -5.5%	2.23	3.00	17.01	94.54	3.97	1674.45	1.23	2836.81
1% -6%	2.23	3.01	15.98	94.52	2.89	1679.00	1.23	3863.21



German Gastelo Chirinos  
 LABORATORIO FERMATI S.A.C



Juan Carlos Pizarro Ojeda Aguiar  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 123351

## Anexos N°14. Diseño de pavimento flexible (Muestra Patrón)

### Paso 1: Estudio de tráfico

Cálculo del f.IMDA



#### CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)

TIPO DE VEHICULOS	IMDA 2024	CARGA DE VEH. EJE	EJE EQUIVALENTE (EE 8.2 $I_n$ )	F.IMDA
AUTOS, CAMIONETAS Y COMBIS.	80	1	0.000527017	0.04
	80	1	0.000527017	0.04
B2	0	7	1.265366749	0.00
	0	10	2.211793566	0.00
B3	0	7	1.265366749	0.00
	0	16	1.260585019	0.00
C2	17	7	1.265366749	20.92
	17	10	2.211793566	36.57
C3	10	7	1.265366749	13.10
	10	16	1.260585019	13.05
C4	13	7	1.265366749	17.01
	13	21	1.057720453	14.22
	8	7	1.265366749	9.89
T2S1	8	10	2.211793566	17.28
	8	10	2.211793566	17.28
	11	7	1.265366749	14.02
T2S2	11	10	2.211793566	24.51
	11	16	1.260585019	13.97
	8	7	1.265366749	10.35
T2S3	8	10	2.211793566	18.08
	8	23	1.232418575	10.08
	4	7	1.265366749	4.60
3S1	4	16	1.260585019	4.58
	4	10	2.211793566	8.04
	13	7	1.265366749	15.86
3S2	13	16	1.260585019	15.80
	13	16	1.260585019	15.80
	11	7	1.265366749	14.25
3S3	11	16	1.260585019	14.20
	11	23	1.232418575	13.88
	6	7	1.265366749	7.36
2T2	6	10	2.211793566	12.86
	6	10	2.211793566	12.86
	6	10	2.211793566	12.86
	5	7	1.265366749	6.44
2T3	5	10	2.211793566	11.25
	5	10	2.211793566	11.25
	5	16	1.260585019	6.41
	3	7	1.265366749	3.68
3T2	3	16	1.260585019	3.66
	3	10	2.211793566	6.43
	3	10	2.211793566	6.43
	4	7	1.265366749	5.29
3T3	4	16	1.260585019	5.27
	4	10	2.211793566	9.24
	4	16	1.260585019	5.27
		$\Sigma$	<b>f.IMDA</b>	<b>484.01023</b>

Factores de distribución direccional y de carril

Numero de Calzadas	Numero de Sentidos	Número de carriles por Sentido	Factor Direccional (fd)	Factor Carril (fc)	Factor Ponderado fd x fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDA total de la Calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central. (para IMDA total de las dos Calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

Cálculo y determinación de Esal

$$ESAL = (F \cdot IMDA) \times 365 \times F_d \times F_c \times \left( \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right)$$

DIAS DEL AÑO	365.00
FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	0.50
FACTOR CARRIL (Fc)	1.00
Tasa de crecimiento anular (r %)	0.03
Periodo de diseño (n°)	20.00

$$ESAL = 484.01023 \times 365 \times 0.50 \times 1.00 \times \left( \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} \right)$$

ESAL = 2378414.188

## Paso 2: Determinación de parámetros de confiabilidad (R%)

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R%)
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP0	75,000	150,000	65%
	TP1	150,001	300,000	70%
	TP2	300,001	500,000	75%
	TP3	500,001	750,000	80%
	TP4	750,001	1,000,000	80%
Resto de caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	85%
	TP6	1,500,001	3,000,000	85%
	TP7	3,000,001	5,000,000	85%
	TP8	5,000,001	7,500,000	90%
	TP9	7,500,001	10,000,000	90%
	TP10	10,000,001	12,000,000	90%
	TP11	12,500,001	15,000,000	90%
	TP12	15,000,001	20,000,000	95%
	TP13	20,000,001	25,000,000	95%
	TP14	25,000,001	30,000,000	95%
	TP15		>30,000,000	95%

## Paso 3: Determinación de la Desviación Estándar Normal (Z<sub>R</sub>)

Se obtuvo la Desviación Estándar Normal (Z<sub>R</sub>) con un valor de -1.036.

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z <sub>R</sub> )
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP0	75,000	150,000	-0.385
	TP1	150,001	300,000	-0.524
	TP2	300,001	500,000	-0.674
	TP3	500,001	750,000	-0.842
	TP4	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	TP6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	TP7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	TP8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	TP9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	TP10	10,000,001	12,000,000	-1.282
	TP11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	TP12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	TP13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	TP14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	TP15		>30,000,000	-1.645

## Paso 4: Determinación de la Desviación Estándar Combinada (S<sub>0</sub>)

Como el Proyecto es una construcción nueva, ya que no se encuentra pavimentada, se considera un S<sub>0</sub> de 0.45.

$$S_0 = 0.45$$

PROYECTO DE	S <sub>0</sub>	
	FLEXIBLE	RÍGIDO

TIPO DE CAMINO	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP0	75,000	150,000	2.00
	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750,001	1,000,000	2.00
Resto de caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	2.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	2.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	2.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	2.50
	TP9	7,500,001	10,000,000	2.50
	TP10	10,000,001	12,000,000	2.50
	TP11	12,500,001	15,000,000	2.50
	TP12	15,000,001	20,000,000	3.00
	TP13	20,000,001	25,000,000	3.00
	TP14	25,000,001	30,000,000	3.00
	TP15	$\Delta PSI = P_i - P_t$	100	100

$\Delta PSI = 1.5$

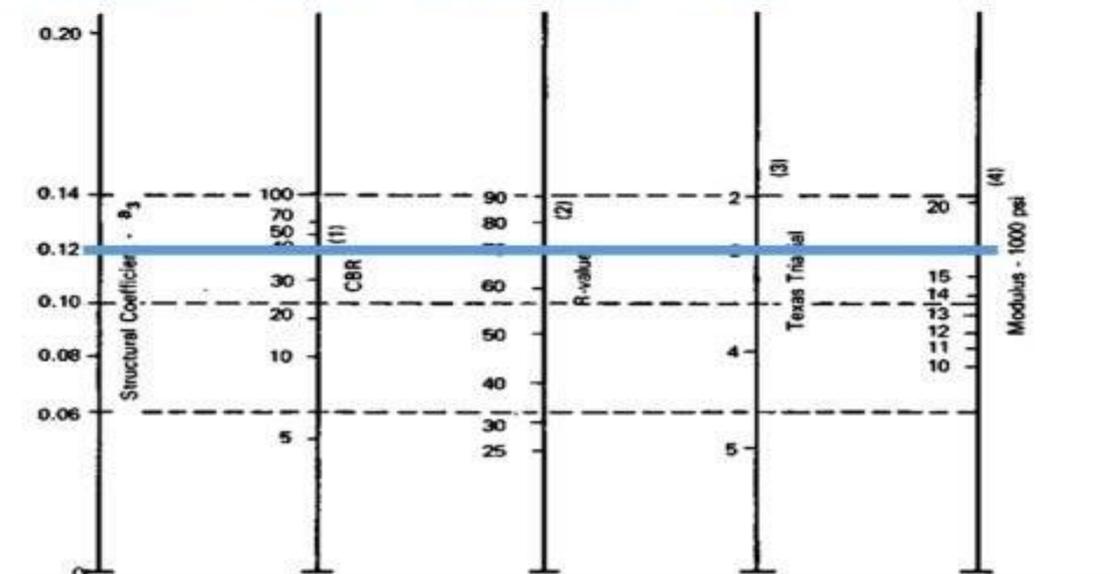
**Paso 6: Determinación del Módulo de Resiliencia (MR) de la Subrasante**

$$MR = 1500 \times CBR$$

$$MR = 1500 \times 7.1 = 10650 \text{ psi}$$

**Paso 7: Determinación del Módulo de Resiliencia (MR) de la subbase**

**Coeficiente de Capa Sub-Base**





Carretera de Tercera Clase

193 Veh/día

Velocidad de diseño (v)

60 Km/h

$$f = \frac{v}{2\pi} \quad \longrightarrow \quad f = \frac{60}{2\pi} \quad \longrightarrow \quad F = 94.248$$

F =            9.425    HZ                            10    HZ

$$Ts = (-0.0093 \times Ta^2 + 1.569 \times Ta - 1.578)(-0.084 \times \ln(hs) + 1.55)$$

Ecuación de la temperatura efectiva Anexo 1436. Certificado de calibración de la prensa CBR

Dónde:

**Ts:** Temperatura efectiva de la capa asfáltica

**Ta:** Temperatura media del aire, °C

**hs:** Espesor de la capa asfáltica, mm

**Estudio pluviométrico**

De acuerdo a la información brindada por SENAMHI, se conoce las temperaturas mensuales y anuales en la zona de estudio. Para ello, se obtuvo la información de la estación Huarangal, en el Distrito de Ancón, siendo la más cercana al estudio. Se obtuvo registro de la temperatura máxima y mínima (°C) desde el año 1991-2011, con un periodo de retorno de 20 años.

La temperatura máxima y mínima promedio desde el año 1991-2011 es de 20.35 °C, valor que tomaremos como referencia para los cálculos a considerar.



**Ta = 20.35 °C**

**ESAL = 2378414.188**

W18	ESPEORES MÍNIMOS EN PULGADAS	
	Capa asfáltica	Base granular
<50,000	-	4.0
50,000 – 150,000	2.0	4.0
150,000 – 500,000	2.5	4.0
50,000-2,000,000	3.0	6.0
2,000,000-7,000,000	3.5	6.0
>7,000,000	4.0	6.0

**Fuente:** Manual de Carreteras, sección suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014)

hs = 3.5 pulg

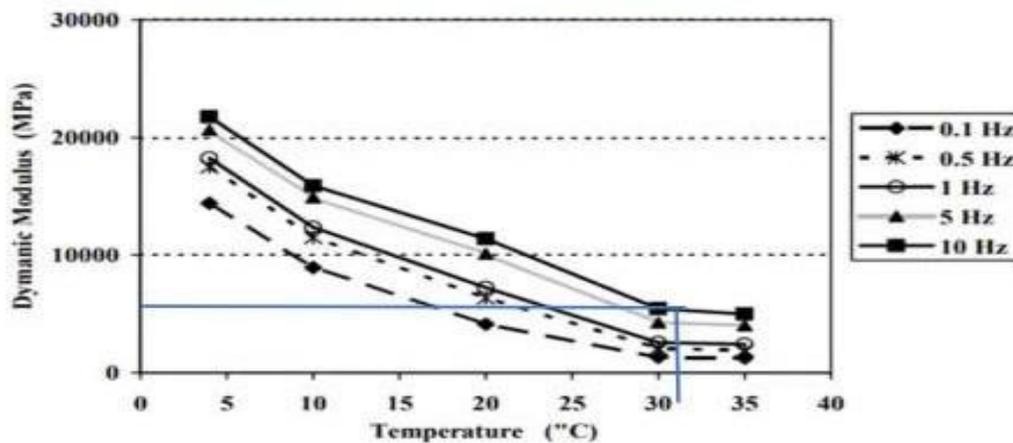
hs = 88.9 mm

Ts = 31.09 °C

Ts = 31 °C

Se ubica la curva de Frecuencia de carga (f) que es igual a 10Hz, después se ubica la Temperatura efectiva de la capa asfáltica (Ts) que es igual a 31 °C, se realiza una perpendicular desde el valor de Ts hasta llegar a f, por último, se traza una línea a la izquierda.

Ábaco para determinar el MR de la carpeta asfáltica



Mr = 5,500 Mpa

Mr = 797,500.00 Psi

$$a1 = 0.184 \times \ln(Mr) - 1.9547$$

$$a1 = 0.54572$$

### Paso 10: Cálculo del coeficiente de drenaje

$$\% \text{días de lluvia} = \frac{120}{365} \rightarrow \% \text{días de lluvia} = 33\%$$

Cálculo del coeficiente de drenaje

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1-5%	5-25%	Mas del 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
<b>Regular</b>	<b>1.25-1.15</b>	<b>1.15-1.05</b>	<b>1.00-0.80</b>	<b>0.80</b>
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy malo	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Por lo tanto, la capa de la base y subbase serán las siguientes:

$$m2 \text{ y } m3 = 0.8$$

Dónde:

m2: coeficiente de drenaje de la Base.

m3: Coeficiente de drenaje de la Subbase.

### Paso 11: Cálculo del número estructural (SN1) requerido para la "Capa Asfáltica"

$$\log(w18) = Zr \times so + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SNi+1)^{5.19}}\right)} \right) + \text{Anexo 1438.}$$

Resumen del IMDA

Donde :

W18 =	2,373,510.20
Zr =	-1.036.
So =	0.45
PSI =	1.50
Mr(base) =	28,500.00
a1 =	0.55

$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SN1 + 1) - 0.20 + \left( \frac{\log\left(\frac{1.50}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN1 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(28500) - 8.1$$

SN1 = 2.32 Por formula

### Paso 12: Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$h1 = \frac{SN1}{a1} \quad \longrightarrow \quad h1 = \frac{2.32}{0.546} \quad H1 = 4.25 \quad 4$$

$$H1 = 10.16$$

$$SN * 1 = a1 \times h1 \quad \longrightarrow \quad SN * 1 = 0.546 \times 4 \quad SN*1 = 2.183$$

### Paso 13: Cálculo del número estructural requerido de la "Base Granular"

$$\log(w18) = Zr \times so + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SNi+1)^{5.19}}\right)} \right) + \text{Anexo 1438.}$$

Resumen del IMDA

Donde :

W18 = 2,373,510.20  
 Zr = -1.036.  
 So = 0.45  
 PSI = 1.50  
 Mr(Subbase) = 17.00  
 a2 = 0.13  
 m2 = 0.8

$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SN1 + 1) - 0.20 + \left( \frac{\log\left(\frac{1.50}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN1 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(28500) - 8.1$$

SN2 = 2.849 Por formula

### Paso 14: Cálculo del espesor de la base granular

$$h2 = \frac{SN2 - SN + 1}{a2 \times m2} \rightarrow h2 = \frac{2.849 - 2.18}{0.133 \times 0.80} \quad H2 = 6.26 \quad 6.00$$

H2 = 15.24

$$SN + 2 = a2 \times h2 \times m2 \times SN + 1 \rightarrow SN + 2 = 0.133 \times 6 \times 0.80 \times 2.18 \quad SN^*2 = 1.394$$

### Paso 15: Cálculo del número estructural requerido de la "Subbase Granular"

$$\log(w18) = Zr \times so + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + \left( \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SNi + 1)^{5.24}}\right)} \right) + \text{Anexo 1438.}$$

Resumen del IMDA

Donde :

W18 = 2,373,510.20  
 Zr = -1.036.  
 So = 0.45  
 PSI = 1.50  
 Mr(Subbase) = 10,650.00  
 a3 = 0.12  
 m3 = 0.80

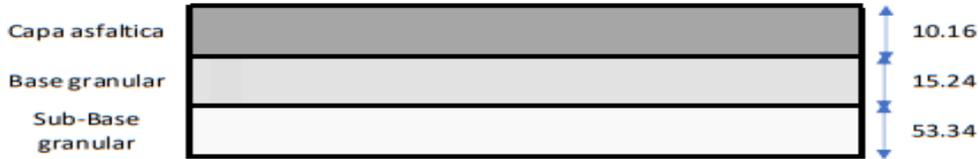
$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SN1 + 1) - 0.20 + \left( \frac{\log\left(\frac{1.50}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN1 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(28500) - 8.1$$

SN3 = 3.439 Por formula

**Paso 14: Cálculo del espesor de la base granular**

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2 + 2}{a_3 \times m_3} \Rightarrow h_3 = \frac{3.44 - 1.39}{0.12 \times 0.80} \Rightarrow h_3 = 21.31$$

H2 = 21.31                      21.00  
H2 = **53.34**



**Anexos N°15. Diseño de pavimento flexible (con caucho reciclado)**

**Paso 1: Estudio de tráfico**

Cálculo y determinación de Esal

$$ESAL = (F \cdot IMDA) \times 365 \times F_d \times F_c \times \left( \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \right)$$

DIAS DEL AÑO	365.00
FACTOR DIRECCIONAL (Fd)	0.50
FACTOR CARRIL (Fc)	1.00
Tasa de crecimiento anual (r %)	0.03
Periodo de diseño (n <sup>a</sup> )	20.00

$$ESAL = 484.01023 \times 365 \times 0.50 \times 1.00 \times \left( \frac{(1 + 0.03)^{20} - 1}{0.03} \right)$$

ESAL = 2378414.188

**Paso 2: Determinación de parámetros de confiabilidad (R%)**

Nivel de confiabilidad : R(%) = 85%

**Paso 3: Determinación de la Desviación Estándar Normal (ZR)**

Se obtuvo la Desviación Estándar Normal (ZR) con un valor de -1.036.

**Paso 4: Determinación de la Desviación Estándar Combinada (SO)**

Como el Proyecto es una construcción nueva, ya que no se encuentra pavimentada, se considera un SO de 0.45.

SO = 0.45

**Paso 5: Determinación del Índice de Servicio (ΔPSI)**

$$\Delta PSI = P_i - P_t$$

ΔPSI = 1.5

**Paso 6: Determinación del Módulo de Resilencia (MR) de la Subrasante**

$$MR = 4326 \times \ln(CBR) + 241$$

MR = 4326 x ln(cbr) + 241  
MR = 13690.79771 psi

**Paso 7: Determinación del Módulo de Resilencia (MR) de la subbase**

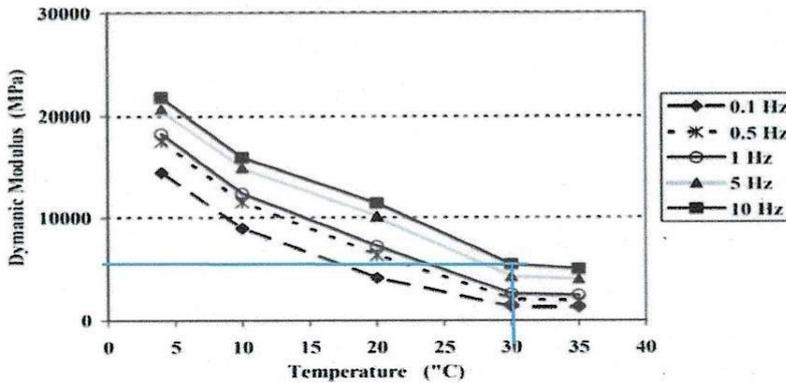
MR = 17,000 psi                      a3 = 0.12

**Paso 8: Determinación del Módulo de Resiliencia (MR) de la base**

MR = 28,500 psi      a3 = 0.133

**Paso 9: Determinación del Módulo de Resiliencia (MR) de la capa asfáltica**

Se ubica la curva de Frecuencia de carga (f) que es igual a 10Hz, después se ubica la Temperatura efectiva de la capa asfáltica (Ts), se realiza una perpendicular desde el valor de Ts hasta llegar a f, por último, se traza una línea a la izquierda.



Mr = 5.487 Mpa

Mr = 796,707.6 Psi

$\alpha 1 = 0.184 \times \ln(Mr) - 1.9547$

a1 = 0.54452

**Paso 10: Cálculo del coeficiente de drenaje**

$\% \text{días de lluvia} = \frac{120}{365} \rightarrow \% \text{días de lluvia} = 33\%$

Por lo tanto, la capa de la base y subbase serán las siguientes:

m2 y m3 = 0.8

Dónde:

m2: coeficiente de drenaje de la Base.

m3: Coeficiente de drenaje de la Subbase.

**Paso 11: Cálculo del número estructural (SN1) requerido para la "Capa Asfáltica"**

$\log(w18) = Zr \times so + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + \left( \log\left(\frac{\Delta PSI}{\Delta x}\right) \right) + \text{Anexo 1438.}$

Resumen del IMDA

$$0.40 + \left( \frac{1094}{(SNI+1)^{524}} \right)$$

Resumen del IMDA

Donde :  
 W18 = 2,373,510.20  
 Zr = -1.036.  
 So = 0.45  
 PSI = 1.50  
 Mr(base) = 28,500.00  
 a1 = 0.55

$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SN1 + 1) - 0.20 + \left( \frac{\log\left(\frac{1.50}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN1 + 1)^{5.19}}\right)} \right) + 2.32 \times \log(28500) - 8.0$$

SN1 = 2 Por formula

### Paso 12: Cálculo del espesor de la capa asfáltica

$$h1 = \frac{SN1}{a1} \quad \longrightarrow \quad h1 = \frac{2.52}{0.54} \quad H1 = 3.67 \quad 3.6$$

H1 = 9.144

### Paso 13. Cálculo del número estructural requerido de la “base granular”

$$\log(w18) = Zr \times so + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{\Delta x}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094.524}{(SNI+1)}\right)} \right) + \text{Anexo 1438.}$$

Resumen del IMDA

Donde:

W18 = 2,373,510.20

Zr = - 1.036

So = 0.45

PSI = 1.50

Mr(Subbase) = 17.00

a 2 = 0.13

m2 = 0.8

$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SNi + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{1.50}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SNI+1)^{5.24}}\right)} \right)$$

SN2 = 2.849 por formula

$$+2.32 \times \log(28500) - 8.02$$

$$\text{SN2} = 2.849 \quad \text{por formula}$$

**Paso 14: Cálculo del espesor de la base granular**

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1 + 1}{a_2 \times m_2} \Rightarrow h_2 = \frac{2.849 - 2.18}{0.133 \times 0.80} \quad H_2 = 8.32 \quad 6.00$$

$$H_2 = 15.24$$

$$SN_1 + 2 = a_2 \times h_2 \times m_2 \times SN_1 + 1 \Rightarrow SN_1 + 2 = 0.133 \times 6 \times 0.80 \times 2.18 \quad SN_1 + 2 = 1.254$$

**Paso 15: Cálculo del número estructural requerido de la "Subbase Granular"**

$$\log(w_{18}) = Z_r \times s_o + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{\Delta x}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.24}}\right)} \right) + \text{Anexo 1438.}$$

Resumen del IMDA

Donde:

$$W_{18} = 2,373,510.20$$

$$Z_r = -1.036$$

$$s_o = 0.45$$

$$PSI = 1.50$$

$$Mr(\text{Subbase}) = 17.00$$

$$a_2 = 0.13$$

$$m_2 = 0.8$$

$$\log(2373510.198) = -1.036 \times 0.45 + 9.36 \times \log(SN_i + 1) - 0.20 + = \left( \frac{\log\left(\frac{150}{42 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.24}}\right)} \right)$$

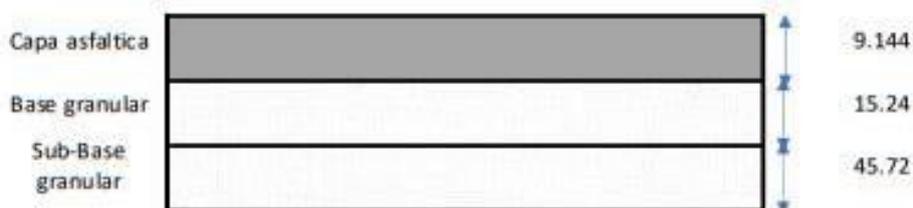
$$+ 2.32 \times \log(28500) - 8.02$$

$$SN_2 = 2.849 \quad \text{por formula}$$

**Paso 14: Cálculo del espesor de la base granular**

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2 + 1}{a_3 \times m_3} \Rightarrow h_3 = \frac{3.44 - 1.39}{0.12 \times 0.80} \Rightarrow \quad H_2 = 19.34 \quad 18.00$$

$$H_2 = 45.72$$





## Mezcla asfáltica adicionando caucho.

S10

Página : 3

### Análisis de precios unitarios

Presupuesto	0203002 "ADICIÓN DEL CAUCHO RECICLADO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO ASFÁLTICO, CHICLAYO -2023"						
Subpresupuesto	001 MEZCLA DE CONCRETO ASFALTICO CON CAUCHO TRITURADO				Fecha presupuesto	208/2023	
Partida	3.03 CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE E-2"						
Rendimiento	m2/DIA	150.0000	EQ. 150.0000	Costo unitario directo por : m2		98.88	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio SI.	Parcial SI.
	<b>Mano de Obra</b>						
147010002	OPERARIO		hh	8.0000	0.0356	5.38	0.19
147010003	OFICIAL		hh	6.0000	0.0267	4.57	0.12
147010004	PEON		hh	12.0000	0.0533	3.28	0.17
147010023	CONTROLADOR OFICIAL		hh	1.0000	0.0044	4.57	0.02
							0.51
	<b>Materiales</b>						
213000006	ARENA FINA		m3		0.0160	110.00	1.76
253000000	FILLER		kg		1.0000	0.90	0.90
	PIEDRA CHANCADA DE 3/4" -1/2"		m3		0.0300	70.00	2.10
	ARENA FGRUESA		m3		0.0460	60.00	2.76
	CEMENTO ASFALTICO PEN 60/70		gal		2.2000	7.50	16.50
	CAUCHO		Kg		67.0700	0.90	60.36
							84.36
	<b>Equipos</b>						
0301010005	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	0.20	0.01
0301010007	CAMION VOLQUETE 15 m3		hm	4.0000	0.0178	120.00	2.14
0301010008	COMPRESORA NEUMATICA 75 HP 125-175 PCM		hm	0.5000	0.0022	60.00	0.13
0301010009	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 81		hm	1.0000	0.0044	150.00	0.66
0301010010	RODILLO TANDEM ESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70		hm	1.0000	0.0044	155.00	0.68
0301010011	COMPACTADORVIBRATORIO TIPO PANCGA 7 HP		hm	1.0000	0.0044	12.00	0.05
0301010012	CARGADOR SOBRE LLANTAS 125-155 HP		hm	1.0000	0.0044	165.00	0.73
0301010013	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 68 HP		hm	1.0000	0.0044	180.00	0.79
0301010014	PLANTA ASFALTO EN CALIENTE		hm	1.0000	0.0044	2.000.00	8.80
							13.99

**Anexo N°17. Panel Fotográfico.**

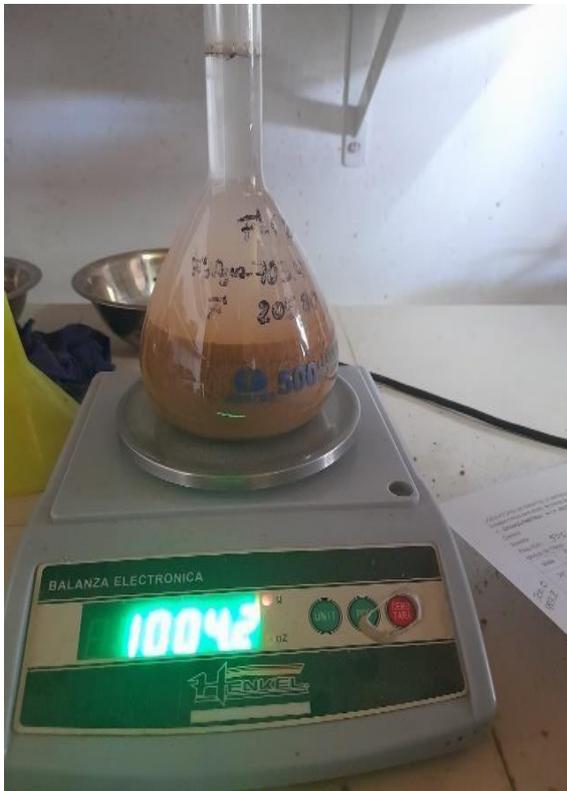
**Cantera tres tomas – Ferreñafe (Mesones muro)**



**caucho reciclado Triturado**



## Caracterización de los agregados





## Diseño de la Mezcla asfáltica por el Ensayo Marshall.











**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

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

Yo, TEODORA MARGARITA GALLO GALLO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "Adición del caucho reciclado para mejorar las propiedades físicas y mecánicas del diseño de mezcla de concreto asfáltico, Chiclayo - 2023", cuyos autores son HUAMAN FARSEQUE FIORELA, MANAYAY REYES SILVIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

CHICLAYO, 24 de Julio del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
TEODORA MARGARITA GALLO GALLO <b>DNI:</b> 16487399 <b>ORCID:</b> 0000-0001-5793-3811	Firmado electrónicamente por: T GALLOGA el 24-07- 2023 18:50:10

Código documento Trilce: TRI - 0615610