

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON
MENCIÓN EN CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES



Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Vial con
Mención en Carreteras, Puentes y Túnel

Concreto asfáltico reciclado con caucho molido para el rejuvenecimiento en una
mezcla asfáltica tibia

Autor: Bach. Julio Enrique Ramírez Ramírez

Asesor: Dr. Carlos Magno Chávarry Vallejos

Lima – Perú

2022

Jurado asignado:

Presidente : Dr. Valencia Gutiérrez, Andrés Avelino

Miembro : Dr. Tamara Rodríguez, Joaquín Samuel

Miembro : Dr. Altamirano Herrera, Aníbal

Asesor : Dr. Chavarry Vallejos, Carlos Magno

Dedicatoria

Dedico esta tesis a nuestro señor Jesucristo por darme la vida y fortaleza que permita que culmine este gran paso en mi carrera profesional.

A mi mamita Luisa que está en el Cielo y a mi papá Julio Federico, que siempre me aconsejaron y apoyaron para lograr ser gran persona y gran profesional.

A mis hermanos Julio Cesar, Félix Aldo, Jhali Pamela, Amílcar y Karem Mariela, a quienes los amo y deseo lo mejor para ellos y que Dios los bendiga en todo.

A mis cuñados Orci Ademir y Robert Gilbert, por sus consejos y apoyo moral durante la etapa de estudio de la maestría.

A mis maravillosos hijos: Lais Camila, Orci Amílcar, Nicole Pamela y Álvaro Enrique, que son mi fortaleza en momentos difíciles y ser para ellos un ejemplo en el deseo de superación, los amo con todo mi corazón.

A mi esposa Dila Esmila por ser una gran mujer, excelente mamá, maravillosa persona y ser mi cómplice incondicional, mi compañera de vida, a quien amo muchísimo y gracias por darme el aliento para continuar cada paso a escalar en mi vida profesional.

Agradecimiento

A nuestro Señor Jesucristo por ser misericordioso conmigo, por brindarme la sabiduría y permitir lograr este gran objetivo de superación y meta personal.

A mis padres que siempre me han inculcado y motivado el deseo de superación en todo aspecto de la vida.

Mi agradecimiento a la Universidad Ricardo Palma, ahora mi alma mater que me dio los mejores docentes en mi formación y conocimiento durante los 2 años de estudios, del mismo modo a mis compañeros de aula quienes me brindaron su apoyo y su amistad.

Mi agradecimiento a mi asesor de tesis Dr. Carlos Magno Chávarry Vallejos, por guiarme con su conocimiento, orientación, paciencia y motivación que fue fundamental para la culminación de la presente tesis.

Mi agradecimiento al Profesor Lorgio Estrada Huerta, por su apoyo, orientación y su amistad para lograr este gran objetivo personal.

A mi amigo el Tec. Juan Jesús Flores Valles por el apoyo en el desarrollo del experimento de la presente tesis y desearle éxitos en todo momento de su vida.

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCION

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.1	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	14
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	16
1.2.1	<i>Problema general</i>	16
1.2.2	<i>Problemas específicos</i>	16
1.3	IMPORTANCIA DEL ESTUDIO	16
1.4	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	18
1.5	DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	19
1.6	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:	20
1.6.1	<i>Objetivo general</i>	20
1.6.2	<i>Objetivos específicos</i>	21
1.7	ALCANCES.	21
1.8	VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....	21
2	MARCO TEÓRICO.....	23
2.1	MARCO HISTÓRICO.....	23
2.2	INVESTIGACIONES RELACIONADAS CON EL TEMA.....	24
2.2.1	<i>Investigaciones Internacionales</i>	24
2.2.2	<i>Investigaciones nacionales</i>	26
2.2.3	<i>Artículos relacionados con el tema</i>	29
2.3	ESTRUCTURA TEÓRICA Y CIENTÍFICA QUE SUSTENTA EL ESTUDIO	30
2.1.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	41
2.4	FUNDAMENTOS TEÓRICOS QUE SUSTENTA LAS HIPÓTESIS (FIGURA O MAPAS CONCEPTUALES)	42
3	SISTEMA DE HIPÓTESIS.	44
3.1.	HIPÓTESIS	44
3.1.1	<i>Hipótesis general</i>	44
3.1.2	<i>Hipótesis específicas</i>	44
3.2	VARIABLES.....	44
3.2.1	<i>Variable independiente</i>	44
3.2.2	<i>Variable dependiente</i>	44

3.3 SISTEMA DE VARIABLES	45
3.3.1 <i>Definiciones conceptuales</i>	45
3.3.2 <i>Definiciones operacionales</i>	46
4 METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACION	49
4.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN.	49
4.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	52
4.2.1 <i>Población.</i>	52
4.2.2 <i>Muestra.</i>	53
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS (VALIDEZ Y CONFIABILIDAD)	56
4.3.1 <i>Procedimiento y métodos</i>	56
4.3.2 <i>Instrumento de recolección de datos</i>	56
4.3.3 <i>Métodos y técnicas.</i>	58
4.4 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS	58
5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION	67
DISCUSIÓN	86
CONCLUSIONES	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS	94
ANEXOS	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de cemento asfaltico	31
Tabla 2. Clasificación de asfalto	32
Tabla 3. Requisitos para mezclas de concreto bituminoso	36
Tabla 4. Operacionalización de la variable	48
Tabla 5. Criterios de Inclusión y Exclusión para la muestra	52
Tabla 6. Criterios de Inclusión y Exclusión para la muestra	53
Tabla 7. Formato Ensayo Marshall	56
Tabla 8. Caracterización del ligante PEN 60/70	62
Tabla 9. Granulometría del material reciclado	63
Tabla 10. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 1 % de caucho molido	67
Tabla 11. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 1.5 % de caucho molido.....	68
Tabla 12. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 2 % de caucho molido	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Maquina moledora de caucho.....	39
Figura 2. Retazos de caucho.....	39
Figura 3. Caucho molido.....	39
Figura 4. Mapa Conceptual de la investigacion.....	43
Figura 5. Caucho molido procedente de neumático	61
Figura 6. Lavado de material reciclado.....	61
Figura 7. Curva granulométrica del material reciclado	64
Figura 8. Especímenes con caucho al 1%, 1.5% y 2%.....	65
Figura 9. Ensayo Marshall de especímenes	66
Figura 10.Histograma de estabilidad al 1%.....	70
Figura 11.Prueba de normalidad al 1%	70
Figura 12.Histograma de estabilidad al 1.5%.....	71
Figura 13.Prueba de normalidad al 1.5%	71
Figura 14.Histograma de estabilidad al 2%	72
Figura 15.Prueba de normalidad al 2%	72
Figura 16.Histograma del flujo al 1%	73
Figura 17.Prueba de normalidad al 1%	73
Figura 18.Histograma del flujo al 1.5%	74
Figura 19.Prueba de normalidad al 1.5%.....	74
Figura 20.Histograma del flujo al 2%	75
Figura 21.Prueba de normalidad al 2%	75
Figura 22.Histograma de Porcentaje de vacíos al 1%	76
Figura 23.Prueba de normalidad al 1%	76

Figura 24.Histograma del porcentaje de vacíos al 1.5%	77
Figura 25.Prueba normalidad al 1.5%	77
Figura 26.Histograma del porcentaje de vacíos al 1.5%	78
Figura 27.Prueba de normalidad al 2%	78
Figura 28.Resultados de la investigación estabilidad	79
Figura 29.Resultados de la investigación del flujo.....	79
Figura 30.Resultados de la investigación del porcentaje de vacíos	80
Figura 31.Estabilidad comparada con otros estudios	90
Figura 32.Flujo comparado con otros estudios	90
Figura 33.% Vacíos comparada con otros estudios.....	91

RESUMEN

La investigación se ha desarrollado tomando en cuenta el uso de caucho molido como parte de los materiales que deben emplearse en la carpeta asfáltica si se llegara a pavimentar la Av. La Marian de la ciudad de Iquitos, teniendo como objetivo general en determinar un diseño con caucho molido procedente de llantas usadas para el rejuvenecimiento de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia según la las normas, MTC E 504, ASTM D-1559 y AASHTO T-245, en la avenida la marina de la ciudad de Iquitos, que es el lugar donde debe ejecutarse a la etapa aplicativa. La presente investigación se ha tipificado como una a nivel descriptivo, con diseño no experimental, utilizando el método de muestreo dirigido, y como unidad de análisis las briquetas de laboratorio. Su base teórica se fundamenta principalmente en la determinación del comportamiento del caucho molido dentro de una mezcla asfáltica tibia, explicando la naturaleza del cemento asfáltico y su clasificación según las normas peruanas, además desarrollara las características de los agregados, filler y las mezclas asfálticas recicladas y mezclas asfálticas tibia, su composición, características, propiedades y método de diseño, y realizar el ensayo de Marshall para determinar la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos obtenidos en las muestras de briquetas. Se ha desarrollado principalmente lo relacionado a antecedentes de la investigación, la metodología la empleada. El análisis e interpretación de los resultados ha permitido concluir que el uso del caucho molido procedente de llantas usadas no mejoraría el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, en la pavimentación de la Avenida la Marina de la ciudad de Iquitos – Loreto.

Palabras Claves: Caucho molido, rejuvenecimiento de mezclas asfáltica, estabilidad de la mezcla asfáltica, flujo de la mezcla asfáltica y porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica.

ABSTRACT

The research has been developed taking into account the use of ground rubber as part of the materials that should be used in the asphalt layer if Av La Marian in the city of Iquitos is paved, with the general objective of determining a design with rubber. ground from used tires for the rejuvenation of a recycled asphalt concrete in a warm asphalt mixture according to EG-2013, ASTM D-1559 and MARSHAL AASHTO T-245, in the marina avenue of the city of Iquitos, which is the place where it should be executed at the application stage. The present investigation has been typified as one at the descriptive level, with a non-experimental design, using the directed sampling method, and the laboratory zippers as the unit of analysis. Its theoretical basis is based mainly on the determination of the behavior of ground rubber within a warm asphalt mixture, explaining the nature of asphalt cement and its classification according to Peruvian standards, as well as developing the characteristics of aggregates, filler and recycled asphalt mixtures and warm asphalt mixtures, their composition, characteristics, properties and design method, and perform the Marshall test to determine the stability, flow and percentage of voids obtained in the briquette samples. It has been developed mainly what is related to the background of the investigation, the methodology used,

The analysis and interpretation of the results has allowed us to conclude that the use of ground rubber from used tires would not improve the rejuvenation of recycled material with warm asphalt mixture, in the paving of Avenida la Marina in the city of Iquitos - Loreto.

Keywords: Ground rubber, rejuvenation of asphalt mixtures, asphalt mix stability, asphalt mix flow y percentage of voids in the asphalt mixture.

INTRODUCCION

En la presente tesis se trata de dar a conocer la posibilidad de usar caucho molido procedente de llantas de mototaxis como componente de un tipo de concreto asfáltico reciclado para así conseguir la reutilización del pavimento procedente de la misma vía que será luego pavimentada.

Tomando en cuenta el aumento diario del flujo vehicular creando la necesidad de nuevas vías se hace también necesario la utilización de nuevos materiales en la construcción de vías urbanas. En el presente caso, se está tomando en cuenta el mal estado de las vías urbanas de la ciudad de Iquitos mal estado de transitabilidad debido al deterioro por el deterioro de las mismas. Su construcción requiere el uso de materiales para la construcción de pavimento, los mismos que al pasar a formar parte de la capa de rodadura deben ser capaces de pasar las respectivas evaluaciones, tanto en el aspecto técnico como económico. El primer aspecto comprende es el análisis de los materiales desde el punto de vista de su evaluación en relación a ciertos parámetros técnico que a nivel nacional están dados; el segundo aspecto se refiere a la disponibilidad y a sus costos. En el presente caso, incluso se involucra aspectos medioambientales, tomando en cuenta la gran cantidad de llantas usadas que se acumulan en la ciudad de Iquitos y lugares aledaños, y atentan contra el medio ambiente. En resumen, la contribución al conocimiento del uso del caucho como parte del pavimento y la mejora del medio ambiente de la ciudad de Iquitos son los aspectos que han motivado la presente investigación.

El objetivo general, de la investigación consiste en determinar un diseño con caucho molido procedente de llantas usadas para el rejuvenecimiento de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia según la EG-2013, ASTM D-1559 y MARSHAL AASHTO T-245, en la avenida la marina de la ciudad de Iquitos y los objetivos específicos

Tienen que ver con la determinación del porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas, para obtener; la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito, la menor deformación del espécimen al punto de máxima, es decir, la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos ; todos ellos en un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia.

El trabajo se presenta bajo una estructura que contiene, el planteamiento del problema, un marco histórico, sistema de hipótesis, de variables, un marco metodológico, técnicas e instrumentos para la colección de la información, resultados y su discusión, conclusiones y referencias bibliográficas.

Se identifica, describe y formula los problemas de la investigación en el planteamiento del problema, destacando la importancia y la justificación, en el marco teórico se ha desarrollado más ampliamente los lineamientos teórico-conceptuales presentados en el Plan de investigación.

Haciendo referencia a la teoría científica básica que sustenta el uso del caucho molido como parte integrante del pavimento flexible. En el marco metodológico se desarrollan las características y estructuras del enfoque, tipo, método y diseño de la investigación, se ha definido los conceptos de población y muestra, identificándolos y determinando el tamaño de muestra, que ha servido para definir la cantidad de briquetas que han participado en la investigación, asimismo se ha establecido el tipo de prueba a utilizar, los instrumentos y métodos de recolección de datos. Se presentan los resultados de la investigación se los interpreta y se discute entre ellos y con otra investigación; y finalmente se ha establecido las conclusiones y recomendaciones. Se culmina mostrando la relación de bibliografía consultada.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática

Teniendo en cuenta que el flujo vehicular aumenta cada día y por lo tanto el requerimiento de nuevas vías y en buenas condiciones; se hace también necesario la utilización de nuevos materiales en la construcción de vías de todo tipo, es decir, tanto carretero como vías urbanas. Se trata de construir vías de transporte que brinden un servicio de calidad manteniendo los estándares exigidos por las normas del transporte nacional.

En el presente caso, se está analizando las vías urbanas de la ciudad de Iquitos, que se encuentran en mal estado de transitabilidad por el deterioro de las mismas y dado que su construcción requiere el uso de materiales para la construcción de pavimento o capa de rodadura, estos tienen que ser evaluados tomando en cuenta su comportamiento cuando forman parte de la estructura de esta capa, principalmente en dos aspectos; el técnico y el económico; en el primer caso se analiza si los materiales cumplen con los parámetros técnicos del pavimento y el segundo se refiere a la disponibilidad y los costos y en algunos casos inclusive se debe analizar aspectos medioambientales como en el presente donde se pretende utilizar llantas usadas procedentes de mototaxis. En toda la ciudad de Iquitos y en las cercanías se puede observar gran cantidad de estas llantas que atentan contra el medio ambiente, pero además por el conocido problema de aislamiento de la ciudad los altos costos de transporte elevan consecuentemente el costo de la construcción de la vía. El uso de nuevos materiales debe cumplir con estándares técnicos que serán determinados experimentalmente a nivel de laboratorios. El problema se manifiesta en toda la ciudad de Iquitos y la presente investigación significa una contribución al conocimiento en cuanto al comportamiento del caucho al utilizarlo como parte del pavimento, un menor costo de construcción y mejora del medio ambiente. El proyecto consiste en la pavimentación de la Av. La Marina, sin embargo,

el problema se presenta en toda la ciudad de Iquitos, donde la mayoría de las pistas se encuentran en mal estado.

Considerando que todos los materiales usados en la construcción de pavimentos cambian con el tiempo, pero más aún los betuminosos como es el caso del asfalto que bajo la acción de factores externos e internos pierde sus características iniciales. La consistencia del asfalto cambia con el clima; al ser expuesto al medio ambiente, se endurece constantemente; por lo tanto, la duración de este pavimento viene a ser la capacidad de mantener las propiedades ligantes y cohesivas y está en función de las propiedades físico-químicas del ligante. Esto se conoce como rejuvenecimiento o sea la capacidad de recuperar sus propiedades iniciales.

Estas características tienen que ver básicamente con la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito, conocido técnicamente como estabilidad del asfalto, que a su vez está relacionado con la densidad del pavimento sabiendo que demasiada cantidad de asfalto puede ocasionar fractura y si hay muy poca cantidad de asfalto su durabilidad baja, es decir, dura poco. Esto se conoce como porcentaje de vacíos que al igual que la estabilidad debe ser analizado para que el pavimento con adición de caucho molido cumpla con las normas técnicas.

En cuanto al Caucho Molido., también conocido como caucho granulado, se un derivado comúnmente de los neumáticos, y para considerarlo como un material constitutivo de un pavimento flexible, tiene que ser transformado a polvo o grano a través de diferentes procesos, que requiere de un proceso que su vez significa una nueva actividad para la ciudad de Iquitos.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

- ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas mejora en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, en la pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos - Loreto?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas incrementa la **estabilidad** del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?

- ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas disminuye el **flujo** del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?

- ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas disminuye el **porcentaje de vacíos** del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?

1.3 Importancia del estudio

Nuevos conocimientos. El uso de nuevos aditivos, como el caucho en la construcción de pavimentos flexibles, da lugar a nuevos conocimientos en cuanto al comportamiento del pavimento, propiedades tales como la estabilidad y el porcentaje de vacíos. Otro aspecto a evaluar es la cantidad óptima de caucho que se adicionará a la mezcla flexible para analizar el comportamiento de cada una de las variables anteriormente mencionadas. Algunos autores hacen afirmaciones referentes al uso del caucho en la elaboración de pavimentos es así como

Dueñas (2017) menciona que “principal objetivo al modificar asfaltos es lograr propiedades reológicas no obtenidas en los asfaltos producidos con técnicas convencionales de refinación. Una forma de modificarlos es mediante la incorporación de polímeros, entre los cuales están los cauchos” (p. 18)

Aporte. La ciudad de Iquitos es una parte de la Amazonia Peruana, el clima es cálido tropical donde la población usa como medio de transporte principal el mototaxi, existen alrededor de 200 mil unidades vehiculares que están registrados o empadronados en la Municipalidad Provincial de Maynas del departamento de Loreto.

El problema principal que tiene la ciudad de Iquitos es que carece de materiales de agregados como la piedra y arena de calidad las cuales tienen que ser transportados principalmente de la Ciudad de Yurimaguas, por tanto los costos para elaborar las mezclas asfálticas se encarecen y actualmente la ciudad de Iquitos tienen muchas calles y avenidas ya pavimentadas, de las cuales muchas ya están deterioradas por el transcurrir del tiempo, por tanto se ha visto la necesidad de que estos pavimentos ya envejecidos sean reciclados y reutilizados, razón por la cual nace la necesidad de que con los resultados de la investigación se recupere las propiedades físicas y mecánicas de estos asfaltos reciclado a través de la reutilización de materiales como el caucho de llantas la cual traerá como beneficios menores costos en los proyectos de pavimentación con mezclas asfálticas, además de minimizar el impacto ambiental con llantas que contaminan el medio ambiente.

La realización de la presente investigación beneficiará directamente a todos los habitantes de la ciudad de Iquitos, ya que la pavimentación de la Av. La Marina mejorará la transpirabilidad y a la vez mejora el cuidado del ambiente al reducir la producción de polvos. Es importante alcanzar estos beneficios porque en las condiciones actuales hay momentos en que se origina congestión de tránsito y también el mal estado de la vía hace que se origine

polvo que afecta que dificulta la limpieza de las mismas.

Para la realización de la presente investigación es recomendable la opinión de diversos autores, porque una investigación se apoya en antecedentes de trabajos similares, realizado sobre otras variables o incluso sobre las mismas variable pero en diferentes condiciones; en el presente caso al tratarse fundamentalmente en el uso de caucho molido en la construcción de pavimento asfáltico, se requiere de investigaciones utilizando caucho, aun en otro tipos de mezclas , es decir, fría o caliente que difieren de la presente investigación que plantea utilizar mezcla tibia, sin embargo utilizan el mismo material, y en algunos casos coinciden en los objetivos específicos o en otros en las condiciones climáticas, si la investigación se realizan al igual que en le presente caso, en condiciones de selva.

De ser positivos los resultados de la presente investigación, su aplicación es inmediata, pues se usaría en la pavimentación de la Av. La Marina y es e esperar que la utilización del cauco molido mejore las características del pavimento en comparación con el convencional, específicamente en cuanto a estabilidad y porcentaje de vacíos. Esto ayudará a utilizar otros insumos que al igual que el caucho en a la actualidad no son utilizados plenamente, muy por el contrario, contaminan, pero además servirá para estandarizar parámetros tales como la estabilidad y el porcentaje de vacíos.

Los resultados positivos de la investigación dejarán establecido que la utilización del caucho molido en pavimentos flexibles mejora las características de la carpeta asfáltica y podrá ser replicado en otras vías y en las mismas condiciones climáticas.

1.4 Justificación del Estudio

Conveniencia. La pavimentación de la Av. La Marina en la ciudad de Iquitos se encuentra en un estado de deterioro constituyéndose en un problema para el normal tráfico de

vehículos, sin embargo, a la vez se constituye en una de las vías principales de la ciudad, por lo que la Municipalidad Provincial de Maynas ha considerado en una de las obras prioritarias.

Relevancia social. Además de mejorar la apariencia, una vía pavimentada significa siempre menores costos de operación vehicular que a su vez significa un ahorro para los habitantes de Iquitos, y finalmente una vía pavimentada, significa mayor salubridad al aminorar la producción de polvo.

Aplicaciones prácticas: El uso de caucho molido en un material reciclado con mezcla tibia, significa la incorporación de un insumo poco conocido en la pavimentación.

Utilidad metodológica: Si bien se aplica de manera general el método Marshall en el diseño del pavimento, en la gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, se introduce el grano de caucho en la ordenada modificando el porcentaje de material que pasa cierta malla.

Valor teórico. Igualmente, el método Marshall modificado permite ver que en este caso se está utilizando un material como el caucho, que a su vez actúa como adherente, ligante y como agregado, esperando valores modificados en las propiedades del pavimento y esencialmente lo referido a la estabilidad.

1.5 Delimitación del estudio

Delimitación Espacial. La mezcla asfáltica con material reciclado, con caucho y rejuvenecido servirá para zonas urbanas de la amazonia menores a 500 m.s.n.m. ya que el

caucho de llantas de mototaxis prima principalmente en dichas zonas y la investigación es ubicada en la avenida marina de la ciudad de Iquitos, departamento de Loreto.

Delimitación Temporal. El estudio de investigación de la mezcla asfáltica con material reciclado, con caucho y rejuvenecido aportará en el rejuvenecimiento de la mezcla envejecida como es la capacidad de resistir desplazamientos y deformación, las muestras serán ensayadas en un laboratorio de suelos y pavimentos que tenga el equipo Marshall.

Delimitación Muestral. Para la presente investigación se toma como unidad de análisis las briquetas que se realizan con la mezcla asfáltica y cuyo componente es una mezcla asfáltica envejecida procedente de la avenida la marina; el universo se circunscribe a todas las avenidas de la ciudad de Iquitos.

Delimitación Teórica. El **campo** es la infraestructura de carreteras que es la avenida la marina en Iquitos; el **área académica** es la pavimentación; la **línea de investigación** son las obras viales y la **sub línea de investigación** es la construcción.

1.6 Objetivos de la Investigación:

1.6.1 Objetivo general

- Determinar un diseño con caucho molido procedente de llantas usadas para el rejuvenecimiento de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia según la MTC E 504, ASTM D-1559 y MARSHAL AASHTO T-245, en la avenida la marina de la ciudad de Iquitos.

1.6.2 Objetivos específicos

- Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 120 °C de temperatura para una mezcla tibia.
- Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener la menor deformación del espécimen al punto de máxima carga de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia.
- Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener el menor porcentaje de vacíos de aire de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia.

1.7 Alcances.

En el presente caso, pueda establecer una relación causal entre dos variables y se puede manipular una de ellas. Se puede manipular el caucho molido en los diferentes porcentajes y se logra resultados en las propiedades del pavimento, por lo que el estudio tiene un alcance cuantitativo -explicativo.

1.8 Viabilidad del estudio.

- ***El tiempo.***

La planificación de los tiempos para el estudio, permiten y garantizan su

culminación. Se tiene previsto los tiempos suficientes para todas las etapas, tales como el desarrollo del proyecto de tesis, la experimentación, el procesamiento de resultados y la edición final del estudio.

- ***Espacio.***

No existen restricciones en cuanto a espacio, dado que no se plantea utilizar infraestructura específica para el caso.

- ***Las condiciones económicas***

No se puede establecer el costo-beneficio de la investigación, pero los costos en que incurre su desarrollo son principalmente los referidos al uso de laboratorios, que en todo caso pueden ser cubiertos por el tesista.

- ***Las fuentes de información.***

Existe abundante información de fuentes nacionales e internacionales.

- ***Recolección de los datos.***

El proyecto plantea solo el uso del método de observación para la recolección de datos, y siendo estos, generados por el mismo proyecto; no existe ninguna dificultad en este aspecto.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco histórico.

Se desarrolla la historia de los pavimentos en general y de los pavimentos flexibles principalmente, que es el objetivo de la presente investigación, a continuación, se consigna las afirmaciones de diferentes autores en relación a este concepto histórico, sobre la historia de los pavimentos urbanos **Rama (2021)** indica a los romanos como los primeros en construir vías urbanas, y los griegos los primeros en utilizar la cal en sus construcciones. (p.1)

El mismo autor menciona a Inglaterra como contribución al conocimiento de las calles con morteros a partir de la combinación de cal y arcilla (p.1)

Rico (1998), cuando desarrolla su trabajo de investigación sobre las tendencias de la utilización de pavimentos flexibles en Méjico menciona que la tecnología empezó en 1020 y se desarrolló hasta 1970 y en los años 1995 se incorporaron las autopistas (p.3)

Finalmente se muestra la evolución del uso de pavimentos a través del tiempo, y en primer lugar se tiene la línea de tiempo que menciona Gutiérrez (2021) que presenta una revisión de literatura referente a la evolución de las vías desde los 3300 años A.C. hasta nuestros días, indicando al imperio Halita como el primero en construir caminos, asimismo indica la aparición de primeras calzadas en el año 600 A.C, en Francia en 1607 la primera legislación de carretera. En Inglaterra el uso de la cal, en Alemania en el año 1901, la construcción de carretas de alta capacidad y lomas trascendente, la prueba Aashto en el año 1962 en Estados Unidos (p.3)

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1 Investigaciones Internacionales

Diaz (2017), en un trabajo de investigación de la Universidad Santo Tomás de Colombia, indica a las llantas como el principal producto de desecho y que a su vez se constituyen en un elemento de contaminación del medio ambiente (p. 14)

El autor menciona que el objetivo general de su trabajo es revisar la literatura existente sobre del grano de caucho reciclado; asimismo indica que el resultado más importante de la investigación es que el GCR es el factor más importante en el comportamiento de los pavimentos en relación a los. (p.57). Estos resultaos son importantes para la investigación porque se refieren al porcentaje de vacíos y los ahuellamientos que son parte de los objetivos específicos de nuestra investigación.

Se ha realizado también estudios para evaluar el comportamiento de la fatiga, tal como lo presenta **Valdez,(2013)** en su estudio denominado Nuevo procedimiento para evaluar el comportamiento a fatiga en pavimentos asfálticos a través del ensayo Fénix, cuyos resultados de su estudio indicando que el método empleado brinda resultados de evaluación de manera sencilla como el comportamiento a la fatiga de las mezclas asfálticas en estructuras de pavimento basándose en la correlación obtenida de los parámetros de rigidez y deformación de un nuevo ensayo de fractura. (p.370). Menciona que el objetivo general del de su trabajo está relacionado con la la tenacidad y la resistencia a la fisuración del asfalto. Este resultado es importante ya que la rigidez obtenida por ellos será también comparada con los resultados de nuestra investigación. (p.8).

Morante. (2019). Al tratar sobre la utilización del caucho en pavimentación, menciona que, en la actualidad, ciertas industrias reciclan el caucho y lo usan como

aglutinante. La característica principal que aporta al asfalto es que su vida útil se incrementa tres veces más y su comportamiento con los cambios de temperatura mejora. (p.4).

Sobre este mismo tema de reutilización de llantas **Casanova, W. (2017)** menciona que, en la actualidad, se está optando por la utilización del caucho vulcanizado en la construcción de carreteras. (p.1)

El objetivo general del trabajo es de su trabajo es una metodología relacionada con la determinación de la cantidad y tipo de polímero en los asfaltos modificados. y el resultado más importante de la investigación está relacionado con las técnicas usadas Las técnicas usadas para caracterizar el asfalto crudo. Este resultado es importante para la investigación porque es un antecedente en el uso de pavimento reciclado aun cuando se evalúa otros parámetros.

Chen, L. (2018), cuando muestra sus principales conclusiones, lo referente a pruebas estadísticas mencionando lo más importante es el análisis de varianza múltiple.

Para determinar diferencias significativas utilizo la prueba de Tukey, y comprobó la existencia de diferencias significativas (p. 80)

Menciona que el objetivo general del trabajo es de tratar a profundidad el tema de los asfaltos modificados.

Este resultado contribuye al conocimiento de los asfaltos modificados que es el que se trata en la investigación

Vega, (2016), igualmente realizó un trabajo de investigación para ver el Comportamiento del caucho reciclado de llantas en pavimento asfáltico y estudió las mismas variables analizadas en el presente estudio, es decir, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, usando 15 de caucho en el mezcal obtuvo una estabilidad de 4800 libras (que expresado en kg sería un aproximado de 2200), un flujo de 10 y un porcentaje de vacíos de 4.4. (p.72)

2.2.2 *Investigaciones nacionales*

Flores (2018), en su trabajo de investigación sobre Efectos de la incorporación de caucho en granos en la carpeta asfáltica, aplicado a la trocha carrozable Accopampa - Santa Ana, Lucanas, Ayacucho, 2018, indica que el **objetivo** de la investigación es conocer los efectos al incorporar granos de caucho por vía húmeda en la carpeta asfáltica y que el **método** utilizado es de enfoque cuantitativo, por que realizó un proceso y secuencia para recolección de datos de 10 investigaciones relacionado al tema, además Indica que el **resultado** más importante de la investigación es que “Las propiedades físicas de la carpeta asfáltica de la trocha carrozable Accopampa – Santa Ana, mejorará con la incorporación de granos caucho siempre que se aplique por vía húmeda y a un porcentaje adecuado, en tal forma que no incremente el porcentaje de vacíos y la pérdida de adherencia”. Este resultado tiene importancia en el desarrollo de la investigación porque a diferencia del nuestro recomienda la vía húmeda pero que puede servir de comparativo.

Maguiña (2019), menciona en su investigación denominado “caucho reciclado de llantas en la mezcla de asfalto a compresión para mejorar las propiedades mecánicas” y como **objetivo** principal es de obtener qué porcentaje de caucho mejora las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica y luego comparar los resultados con las propiedades de una mezcla asfáltica convencional. Como población indica que “Se ensayarán briquetas para 03 tipos de tránsito (liviano, medio y pesado) considerando que las muestras son de 2 canteras distintas RIO SANTA, (arena y piedra) y se empleara granos de caucho reciclado y con la combinación con los agregados a 170°C.” y como muestra india que “, la muestra de estudio son 16 briquetas con diferentes diseños de mezcla.” (p. 23). El **método** utilizado es de Marshall vía húmeda y el **resultado** más importante de la investigación es “La incorporación del grano de caucho reciclado mejora la resistencia a la deformación plástica de una mezcla

asfáltica. Esto debido a la recuperación elástica por torsión, siendo el asfalto modificado 37% más recuperable que el convencional” (p.107). Igual que la referencia anterior utilizan la vía húmeda, sin embargo, servirá al momento de comparar los resultados.).

Cervera (2016) en su investigación, menciona que en el estudio realizado ha incorporado caucho de neumáticos reciclados en cantidades de 0.5% y 1% con respecto al peso de los agregados, obtenidas por reencauchadoras de su localidad; obtenidos a través de procesos de trituración y pre granulación. Para desarrollar los ensayos de laboratorio se hizo utilizar caucho con diferentes porcentajes de cemento asfáltico; y de los resultados obtenidos se compararon las características de la Estabilidad y Flujo de acuerdo a la tipología del tránsito definido ya en el estudio previo. Así mismo se llega a la **conclusión** de que la mezcla asfáltica caliente con caucho, influye de manera positiva incrementando y mejorando la interrelación del flujo con la estabilidad en un 50%. En cuanto a los costos unitarios de una mezcla mejorada con caucho son mayores en 5.05% respecto a las MAC tradicionales cuando se utiliza 1% de caucho. La relación de costo mantenimiento dio como resultado beneficioso, ya que, en un plazo de 5 años, los costos se reducen en 8.4% respecto al pavimento tradicional (p. 3).

Álvarez, L. y Carrera, E. (2017) en su investigación, menciona como **objetivo** principal es determinar la influencia del grano de caucho reciclado en una mezcla asfáltica, la **metodología** aplicada es de acuerdo a la norma del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde indica el procedimiento de diseño y dosificación analítica de materiales para la mezcla asfáltica, el **procedimiento** consistió en elaborar una serie de muestras de briquetas preparadas a temperaturas entre los 140°C a 170°C y luego se procedió a ensayar en el Marshall la cual arroja resultados de la estabilidad y flujo; realizó ensayos con 1.5 y 2 % , obteniendo los mejores resultados con 1.5 % con una estabilidad de 1165, un flujo de 3,15 y un porcentaje de vacíos de 2.07. (p.130)

Chávez, J. y Herna, E. (2014) en su investigación denominada “elaboración de mezclas asfálticas con partículas de caucho reciclado en el departamento de Lambayeque”, el **objetivo** de la presente investigación es la utilización de partículas de caucho reciclados en la fabricación de pavimentos flexibles usado como componente de agregado, la **metodología** está basado en las normas del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, elaborando la mezcla asfáltica de acuerdo al procedimiento de la normatividad, en este estudio se ha utilizado caucho de neumático reciclado en forma de polvo y filamentos de tamaño retenido en la malla N° 04 (4.75 mm); el procedimiento del ensayo fue la fabricación de la mezcla asfáltica con caucho de polvo, filamento y la combinación de ambos variándose en tres diferentes porcentajes del peso de agregados, luego se hizo la comparación de las características de la estabilidad y el flujo de acuerdo a los tipos de tránsito.

Contreras, C. y Mamani, D. (2019) En su investigación pretende ver la influencia del polvo de caucho en una mezcla asfáltica que reduzca la deformación permanente y tiene como **objetivo** promover el uso del polvo de caucho reciclado como un mejorador de sus propiedades físicas en el diseño de una mezcla asfáltica, además mejorar su vida útil mediante el ensayo de rueda de Hamburgo; la **metodología** que se ha utilizado en la presente investigación es el método Marshall de diseño de mezclas asfálticas en caliente, así como la rueda de Hamburgo; como **resultado** indica que con el ensayo de Marshall se ha verificado que con 0.50% de polvo de caucho se logró mayores resultados con un estabilidad de 1,090 kg, un flujo de 3.30 mm y la cantidad porcentual de vacío de 5.50%, estos resultado cumplen los requerimientos de la norma MTC E-504, con respecto a la rueda de Hamburgo realizada a la mezcla asfáltica incorporando 1% de polvo de caucho soportó las 20,000 pasadas, la cual cumplió con los requisitos de la norma AASHTO T 324-14.

Granados, L (2017). En su trabajo sobre comportamiento mecánico de la mezcla modificada con caucho mediante proceso por vía seca, mmenciona que obtuvo como

resultados una estabilidad de 2175, un flujo de 13.8 y un % de vacíos de 4.7.y entre sus principales conclusiones indica que la mejora del comportamiento mecánico al incorporar caucho molido es significativa e indica también estabilidad supera en un 61 % a la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional (p. 144)

2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Campaña, C., Galeas, A. y Guerrero, P. (2015) desarrollaron el trabajo “obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores”.

Los autores describen los procesos seco y húmedo para obtener el asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de uso automotriz; y presentan las propiedades Marshall y de desempeño que evidencian los beneficios del este tipo de asfalto. Final mente concluye que de los resultados obtenidos mejora las propiedades físicas de resistencia a la fatiga en el asfalto modificado por proceso húmedo con 20 wt % de polvo de caucho con relación al bitumen, mientras que el mayor módulo de rigidez y deformación dinámica se obtuvo para asfalto modificado por proceso húmedo con 10 wt % de polvo de caucho (P.24)

Hay autores que se refieren al aspecto medioambiental y el impacto negativo de la acumulación de neumáticos usados, es así como, **Guadrón) (2011**, en su estudio denominado Estudio de las características de los morteros con adiciones provenientes de neumáticos fuera de uso (NFUs) indicando que el afán de las industrias por satisfacer las diversas necesidades, especialmente la industria automotriz por lo que últimamente se está investigando intensamente sobre procesos de reciclado (p. 1)

• **Ramírez (2021)**, al desarrollar su trabajo titulado Evaluación de la resistencia a la

fatiga en mezclas asfálticas tibias mediante la viga de flexión a cuatro puntos indica que “Por más de 20 años las mezclas asfálticas tibias han sido uno de los temas más desafiantes para la producción de pavimentos ambientalmente sustentables. (p.2), el mismo autor antes de enunciar sus conclusiones del trabajo explica lo referente a la durabilidad, mencionando la incidencia de los estudios en durabilidad al utilizar mezclas tibias (p.163).

Hoyos. Et al (2021), en un artículo de la Infraestructura vial donde hace junto a otros autores hace una revisión de literatura sobre el uso del caucho molido en mezclas asfálticas, menciona a diferentes autores de trabajos de investigación en temas como el Porcentaje óptimo de caucho, Procesos principales, el caucho y la mejora de la resistencia, Tamaño óptimo, Métodos, y rendimiento. Los autores concluyen principalmente en los aspectos de adición de caucho molido, porcentaje óptimo, y procesos, concluyendo finalmente que el caucho molido mejora las propiedades de la mezcla, porcentaje de 20 % o también de 1 a 3 %, según se agregue al agregado al asfalto, en cuanto a los procesos se puede usar el húmedo o el seco. (p. 11 -19)

2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

En esta sección se desarrollará, los fundamentos teóricos de la investigación; y tomando en cuenta que se trata principalmente de determinar el comportamiento del caucho molido dentro de una mezcla asfáltica tibia, se resumirá la teoría científica que sustentará la investigación, explicando el cemento asfáltico y clasificación, según la norma peruana que lo exigen, también se desarrollara las características de los agregados, filler y las mezclas asfálticas recicladas y mezclas asfálticas tibia, su composición, características, propiedades y método de diseño, por último se realizará el ensayo de Marshall para determinar la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos obtenidos en las muestras de briquetas; estos puntos son los más saltantes en la investigación:

Cemento asfáltico. El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por su viscosidad absoluta y por su penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla 01.

Tabla 1. Tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24 °C o más	24 °C - 15 °C	15 °C - 5 °C	Menos de 5 °C
40 - 50 ó 60 - 70 ó modificado	60 - 70	85 - 100 120 - 150	Asfalto Modificado

Fuente: EG-2013 del MTC

El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la inclusión de aditivos de diferente naturaleza tales como: rejuvenecedores, polímeros o cualquier otro producto garantizado, con los ensayos correspondientes. (EG-2013, 2013) (p.469-473)

Es un material de color marrón oscuro a negro que puede estar en estado sólido, semisólido o líquido, formado por betunes naturales u obtenidos por destilación del petróleo. Los grados de cemento asfáltico tienen una clasificación basada en la viscosidad del material (cuanto más fluido sea un cemento asfáltico, menos viscoso será).

Las viscosidades se miden a temperaturas de 60 °C. el grado de viscosidad se determina en el material que viene directamente del proceso de destilado y el grado de viscosidad del residuo es determinado a partir de la película fina resultante del ensayo de endurecimiento (película fina en estufa).

Tabla 2. Clasificación de asfalto

	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad a 60°C P	250+/-50	500+/100	1000+/-200	2000+/-400	4000+/-800
Viscosidad a 135°C sCt	80	110	150	210	300
Penetración a 25°C (Pfeiffer y van Doorma) 1000grx5seg, en 0.1 mm	200	120	70	40	20
Punto de inflamación °C	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno %	99	99	99	99	99
Ensayos sobre residuo de partícula en estufa					
Viscosidad a 69°C P	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
Ductilidad (25°C, 5cm/min) en cm	100	100	20	20	10

Fuente: Cordo, (2006)

El grado a utilizar en cada área debe ser seleccionado en función del clima. Para climas fríos se debe usar cemento asfáltico de bajo grado de viscosidad para resistir la fisuración por baja temperatura. En climas cálidos se deben usar cemento asfáltico de alto grado de viscosidad para evitar el ahuellamiento. (Cordo, 2006) (p.103).

Agregados para mezclas asfálticas: Son materiales granulares sólidos inertes que emplean en las capas de las carreteras, con granulometría adecuada; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con material aglomerantes de activación hidráulica (cemento, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

El agregado constituye entre el 90 y el 95 por ciento en peso y entre el 75 y 85 por ciento en volumen de la mayoría de las estructuras del pavimento. (Méndez, Morán y Pineda, 2014, p.19).

Los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla bituminosa deberán poseer una naturaleza tal, que al aplicársele una capa de material asfáltico, ésta no se desprenda por la acción del agua y del tránsito. Sólo se admitirá el

empleo de agregados con características hidrófilas, si se añade algún aditivo de comprobada eficacia para proporcionar una adecuada adherencia. (EG-2013, 2013, p.469,470)

Propiedades de los agregados: Las propiedades más comunes para considerar apropiado un agregado para concreto asfáltico de buena calidad, son los siguientes: Gradación y tamaño máximo de partícula, textura superficial, limpieza, capacidad de absorción, dureza, afinidad con el asfalto y forma de la partícula. (Méndez, Morán y Pineda, 2014, p.19).

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación. El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente. Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. El material deberá estar libre de cualquier sustancia, que impida la adhesión con el asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados en cada especificación.

El polvo mineral o llenante provendrá de los procesos de trituración de los agregados pétreos o podrá ser de aporte de productos comerciales, generalmente cal hidratada o cemento portland. Podrá usarse una fracción del material proveniente de la clasificación, siempre que se verifique que no tenga actividad y que sea no plástico. Su peso unitario aparente,

determinado por la norma de ensayo MTC E 205, deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6. La mezcla de los agregados grueso y fino y el polvo mineral deberá ajustarse a las exigencias de la respectiva especificación, en cuanto a su granulometría. (EG-2013, 2013, p.469,470)

Reciclaje de Pavimento asfáltica: Se entiende por reciclaje a la reutilización, generalmente luego de cierto tratamiento, de un material de pavimento que ha cumplido su finalidad inicial, el cual puede emplearse para construir un refuerzo en la misma carretera o alguna capa de una calzada nueva. (Montejo, 2006, p.273).

Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas asfálticas, empleando mezclas asfálticas producida en planta en caliente, reutilizando materiales provenientes de capas asfálticas antiguas, con adición de nuevos materiales y de ser el caso, agentes rejuvenecedores y otros aditivos, con la finalidad de cumplir con las especificaciones técnicas correspondientes y de conformidad con el proyecto. (EG-2013, 2013, p.755).

Agregados recuperados de la capa asfáltica antigua: Los agregados obtenidos mediante la disgregación de una capa asfáltica existente, no deberán mostrar signos de meteorización, y su calidad deberá ser similar a la exigida para los agregados de adición. No se permitirá el empleo de materiales recuperados de capas asfálticas que hubieran presentado deterioros de los tipos afloramientos de asfalto (exudación) o deformaciones plásticas. El material que se va a reciclar deberá ser homogéneo, no contener contaminantes y estar caracterizado, siendo necesario que se someta a un proceso previo de trituración, de ser el caso.

Material bituminoso recuperado de la capa asfáltica antigua: El material bituminoso tendrá también 2 procedencias: el presente en la mezcla por reciclar y el requerido como adición para garantizar la calidad de la mezcla, acorde al diseño aprobado. (EG-2013, 2013, p.759).

El Diseño de mezcla asfáltica método marshall: El Método de dosificación Marshall desarrollado por el Ing. Bruce Marshall, inicialmente fue utilizado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército Norteamericano, actualmente es el método más utilizado para la elaboración de fórmulas de mezcla.

El criterio para conseguir una mezcla satisfactoria está basado en requisitos mínimos de estabilidad, fluencia, densidad y porcentaje de vacíos.

Este método determina el procedimiento para realizar los ensayos de estabilidad y fluencia de mezclas asfálticas preparadas en caliente, utilizando el equipo Marshall, determina características físicas de las mezclas y analiza los parámetros que definen el contenido de asfalto. La estabilidad se determina empleando el principio de corte en compresión semi-confinada, sometiendo a la muestra a esfuerzos de compresión diametral a una temperatura de 60 °C (140 °F). La aplicación de esfuerzos y la rotura de las muestras se consiguen con un dispositivo especialmente proyectado para las pruebas de estabilidad.

El valor de estabilidad representa la resistencia estructural de la mezcla compactada y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. El valor de estabilidad es un índice de la calidad del agregado.

Además, la mezcla debe tener la fluidez necesaria para que pueda compactarse a la densidad exigida y producir una textura superficial adecuada. El valor del Flujo representa la deformación producida en el sentido del diámetro del espécimen antes de que se produzca su fractura. Este valor es un indicador de la tendencia para alcanzar una condición plástica y

consecuentemente de la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica a deformarse bajo la acción de las cargas que por ella transiten.

El contenido óptimo de asfalto se determina, de acuerdo a recomendación del Instituto del Asfalto (Manual MS - 2), a través de la media aritmética de los porcentajes que llevan a:

- La máxima estabilidad,
- La máxima densidad de la mezcla y
- Al volumen de vacíos de aire especificado

Esta media debe ser verificada en relación al valor de la Fluencia y a los vacíos del agregado mineral (VAM), a fin de asegurar que la mezcla contenga un volumen de asfalto (Vb) suficiente, sin que el volumen de vacíos de aire (Vv) sea reducido a un valor inaceptable. Si no se cumplen las especificaciones, la granulometría del agregado debe ser modificada. (UMSS, p.264-266).

Según la (DG-2013) indica: Que las características de calidad de las mezclas asfálticas, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la tabla 423-06, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto.

Tabla 3. Requisitos para mezclas de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25)	8 - 14	8 - 16	8 - 20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3 - 5	3 - 5	3 - 5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 423-10		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0,6 - 1,3	0,6 - 1,3	0,6 - 1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1,700 - 4,000		

Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta
AASHTO T 283

80 Min.

Fuente: EG-2013 MTC

Descripción del método Marshall: El método Marshall usa muestras de prueba normalizadas (briquetas) de 2 y ½” de espesor por 4” de diámetro (64 x 102 mm).

Se selecciona el agregado que cumpla con las especificaciones requeridas. El tipo y grado del asfalto, de acuerdo al tipo de agregado y las condiciones climáticas.

Para obtener el óptimo contenido de asfalto se preparan y compactan varias muestras de prueba (briquetas), con diferentes porcentajes de asfalto cuya variación de rango no debe ser mayor a 0,5%. Como mínimo se deben realizar con dos porcentajes por encima y dos porcentajes por debajo del óptimo de contenido de asfalto estimado.

En la práctica se observa que el óptimo contenido de asfalto se encuentra alrededor del 6 %, con referencia al peso de los agregados pétreos, porcentajes mayores deben conducir a una verificación cuidadosa del diseño de la mezcla.

Para verificar la capacidad de los datos se deben hacer 03 muestras (briquetas) por cada contenido de asfalto. Generalmente para un diseño, se deben tomar 6 porcentajes de asfalto diferentes, por lo cual se requerirán 18 briquetas. Adicionalmente se deben incluir 6 briquetas para determinar los efectos del agua en la estabilidad y el flujo. Aproximadamente para cada briqueta, se necesitan 1200 g de agregados, por lo cual la cantidad representativa de los agregados, debe tener un peso mínimo de 29 kg (65 lb). Además, se requerirá aproximadamente un galón de asfalto. (UMSS, p.267-268).

El Caucho en Mezcla asfáltica: El proceso húmedo de la mezcla de cemento asfáltico y caucho molido (15 a 25%) consiste en someter a una temperatura elevada (170 a 200oC), durante un periodo determinado de tiempo (20 a 120 minutos). La mezcla reacciona y forma

un compuesto denominado asfalto-caucho (asphalt-rubber), con propiedades teológicas diferentes del cemento original, pudiéndose incorporar aditivos para ajustar la viscosidad de la mezcla (diluyentes).

En el proceso húmedo, la interacción entre el cemento asfáltico, el caucho molido es clasificado como una reacción. El grado de modificación del cemento depende de varios factores, incluyendo el tamaño y la textura del caucho, la proporción de cemento asfáltico y caucho, el tiempo y la temperatura de reacción, la compatibilidad del cemento con el caucho (polaridades), la energía mecánica durante la mezcla y reacción y, el uso de aditivos. En este trabajo no son considerados los factores energía mecánica, tipo de caucho y diluyente, pues se utiliza un único agitador, adquirido exclusivamente para esta investigación, un único tipo de caucho (polar) y no son utilizados aditivos. (Chávez, 200, p.12)

Requerimiento del Caucho: El polvo de caucho es proveniente del triturado de neumático usado, para obtener el caucho se tiene que triturar las llantas luego separar el material ferroso, los trozos de neumáticos tienen que pasar por un proceso de selección y posterior trituración para disminuir su tamaño en partículas más pequeñas e irregulares.

Para el seccionamiento (troceado) de los neumáticos usados se realiza a temperatura del ambiente y se pasa por la trituradora que se forman por ejes paralelos con cuchillas que giran en su propio eje y a velocidades variables. Las cuchillas son de gran espesor, sus bordes son de forma de garfios que apoyan a la inserción del neumático. Los ejes están separados de acuerdo al tamaño de las partículas obtenidas, este proceso se repite para obtener partículas más pequeñas.

Figura 1. Maquina moledora de caucho



Figura 2. Retazos de caucho



Figura 3. Caucho molido



El polvo de caucho empleado para mejorar las propiedades físicas del cemento asfáltico debe cumplir ciertas especificaciones técnicas que se encuentran establecidas en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2680:2013. En esta se recomienda que todas las partículas de caucho tengan un tamaño capaz de pasar a través del tamiz de 2.38 mm (N°8), (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2013). **(Contreras y Mamani, 2019)**

Mezcla asfáltica tibia: Las mezclas tibias se definen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir entre 100°C y 135°C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de los cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales.

El concepto de mezcla tibia surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas bituminosas en caliente. **(Lopera y Córdoba, 2012).**

La reducción de las temperaturas de producción de mezclas asfálticas presenta ventajas ambientales importantes sobre emisiones, consumo de energía y exposiciones laborales.

La meta es conseguir una calidad adecuada de las mismas, a temperaturas de operación inferiores o a temperaturas ambientales. Bajo este criterio es necesario siempre evaluar nuevas alternativas de trabajo que permitan obtener procesos más eficientes y rentables en los diferentes entornos en que se trabaja.

Este proyecto se basó en la creación de una mezcla asfáltica tibia, con la que se pueden superar ciertas desventajas que las dos mezclas asfálticas existentes caliente y frío.

Esta mezcla asfáltica tibia es una mezcla en la cual el agregado y el asfalto son calentados hasta una temperatura de alrededor de los 100 °C, a la cual se le añade algún aditivo (según al tipo de tecnología) que ayude a que el asfalto recubra completamente el

agregado durante la etapa de mezclado y que permite extender y compactar fácilmente la mezcla.

El problema más significativo de las mezclas asfálticas en caliente es que generan gran cantidad de gases tóxicos, entre los cuales encontramos el NO₂, SO₂ y CO₂; así mismo, se generan emisiones contaminantes de los COV (Compuestos Orgánicos Volátiles) procedentes del betún debido a las altas temperaturas empleadas, lo cual produce un sobrecalentamiento de la atmosfera.

2.1. Definición de términos básicos

Adicionar: Sumar o unir una cosa a otra de manera que forme un todo homogéneo o que aumente en algún sentido.

Estabilidad: La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado.

Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito (Universidad los Andes, Facultad Ingeniería civil, 2013).

Grano de caucho reciclado: La Resolución 6981 de 2011 del Instituto de Desarrollo urbano de Bogotá (IDU) define el grano de caucho reciclado como “todo aquel producto obtenido del proceso de trituración de llantas y neumáticos usados y de llantas no conforme, compuesto fundamentalmente por caucho natural y sintético, que contiene materiales ferromagnéticos, textiles, y/o elementos contaminantes”.

Reciclado de pavimento: Una definición de Patiño (2015) es la siguiente: “Consiste en la mezcla del material procedente del fresado de un **pavimento** existente constituido por mezclas asfálticas y materiales granulares con **cemento** o cal, agua y eventualmente aditivos y/o árido de aporte”.

Las mezclas tibias: Una definición de Lopera (2014) es la siguiente: Las mezclas tibias se definen como aquellas que se producen a menores temperaturas que las mezclas calientes, es decir a temperaturas entre 100°C y 135°C, su producción involucra tecnologías nuevas de los cuales es posible producir y colocar en pista los concretos asfálticos a temperaturas inferiores a las técnicas convencionales.

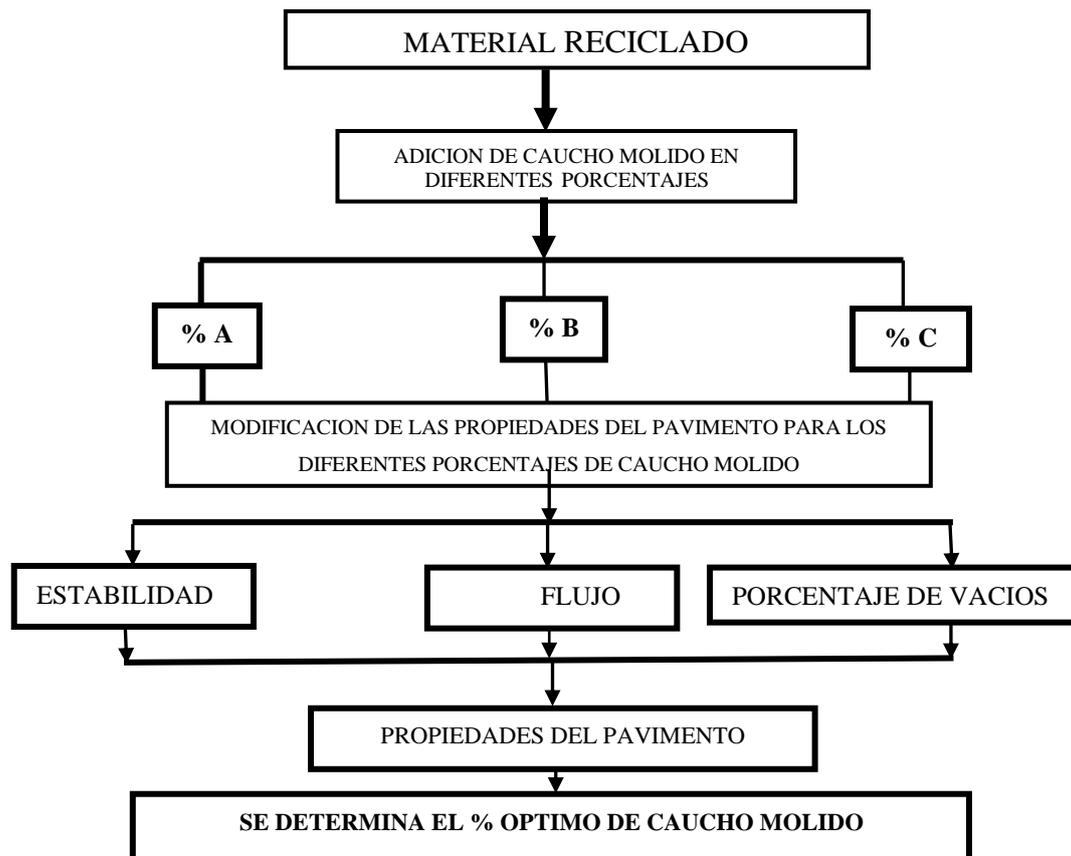
El concepto de mezclas asfálticas tibias surgió en Europa, tras la necesidad de una mezcla bituminosa que fuese más económica en el consumo de energía y fuese de mejor desempeño que las mezclas bituminosas caliente.

2.4 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis (figura o mapas conceptuales)

Empleando caucho molido en las mezclas de reciclados se podría obtener vías que cumplen con los parámetros establecidos en los reglamentos de construcción de pavimentos. Relacionados especialmente con la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos que para el

caso de la presente investigación son las variables en estudio, tal como se muestra en la siguiente figura 4.

Figura 4. Mapa Conceptual de la investigación



3 SISTEMA DE HIPÓTESIS.

3.1. Hipótesis

3.1.1 *Hipótesis general.*

- El uso del caucho molido procedente de llantas usadas mejora el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, en la pavimentación avenida la marina de la ciudad de Iquitos - Loreto

3.1.2 *Hipótesis específicas*

- El uso de caucho molido procedente de llantas usadas mejora la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo cargas de tránsito del material reciclado tibia.

- El uso de caucho molido procedente de llantas usadas permite obtener menor deformación del espécimen al punto de máxima carga del material reciclado con mezcla asfáltica tibia.

- El uso del caucho molido procedente de llantas usadas permite obtener el menor porcentajes de vacíos de aire del material reciclado con mezcla asfáltica tibia.

3.2 Variables

3.2.1 *Variable independiente*

Caucho molido.

3.2.2 *Variable dependiente*

Rejuvenecimiento del asfalto.

3.3 Sistema de variables

3.3.1 Definiciones conceptuales

Rejuvenecimiento de mezcla asfálticas: En un trabajo presentado en el décimo simposio sobre ingeniería de pavimentos, Castaneda (1995) al referirse a rejuvenecimiento, menciona que:

Todos los materiales bituminosos usados en la construcción de capas de rodadura asfáltica cambian con el tiempo bajo la acción de factores externos e internos. La consistencia del asfalto cambia con la temperatura; al ser expuesto a la intemperie se endurece constantemente como influencia del clima. La durabilidad del cemento asfáltico se define como su capacidad de mantener las propiedades ligantes y cohesivas de la mezcla y depende de las propiedades físico-químicas del ligante, las que a su vez regulan su comportamiento reológico y las propiedades de la mezcla (p. 1)

Caucho Molido: El caucho granulado, también conocido como caucho molido, se deriva más comúnmente de los neumáticos, al respecto Ayala y Heredia (2019) indican que “Para que el caucho proveniente de los neumáticos pueda ser considerado como un material constitutivo de un pavimento flexible, este tiene que ser transformado a polvo o grano a través de diferentes procesos, de los cuales se obtiene como resultado final los llamados polvo de caucho” (p.19).

Estabilidad de la mezcla asfáltica: Blanco y Montañez (2016) lo definen como la estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones

(corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla (p.24)

Flujo de la mezcla asfáltica: La definición de flujo está relacionada normalmente a la de estabilidad y está mejor explicada cuando se trata de medirla o determinarla, es así como Garnica et al. (2004) cuando analizan la prueba de estabilidad y flujo indican que:

Mientras que la prueba de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100 “) será el valor del flujo Marshall. (p.8)

Porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica: En un trabajo de investigación realizado sobre el análisis de diferentes porcentajes de vacíos en las mezclas asfálticas, es así como Garnica et al (2004) cuando analiza la densidad y el porcentaje de vacíos en una mezcla asfáltica compactada se deberá utilizar la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total de agregados; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica y se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso de agregado seco, porcentaje de vacíos (Va), porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA). (p. 09)

3.3.2 *Definiciones operacionales.*

Variable independiente:

Se necesita únicamente preparar el caucho molido pesarlo para cada ensayo y expresarlo en porcentajes.

Variable dependiente:

Se trata de medir en que grado ha rejuvenecido la mezcla asfáltica, es decir en qué medida ha recuperado sus condiciones iniciales. Lo que en el presente caso se realiza midiendo sus características o variables que en todos los casos se hace mediciones mediante instrumentos. Las características se refieren a la estabilidad, el flujo el porcentaje de vacíos que en conjunto le dan una determinada calificación al pavimento.

Dimensiones de las variables

En ningún caso presentan subdivisiones

Instrumentos de medición

En todos los casos se usará la ficha de registro de datos como instrumento de medición la cual será comparado con los parámetros establecidos por la EG-2013 cuyas características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias para mezclas de concreto bituminoso que se indican en la Tablas 423-06 y 423-08, según corresponda al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto.

Ítem.

Es lugar que ocupa el dato de cada variable en la ficha de registro, que en este caso son siempre valores numéricos.

El resumen de la operacionalización se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 4. Operacionalización de la variable

4 METODOLÓGIA DE LA INVESTIGACION.

4.1 Enfoque de la Investigación.

Variables	def. conceptual	def. operacional	indicadores	unid. medida	escala	instrumento	herramienta	ítem
V. independiente Caucho molido	El caucho granulado, también conocido como caucho molido, caucho para asfalto o caucho reducido, se deriva más comúnmente de los neumáticos reciclados de automóviles y camiones. Durante el proceso de reciclaje de los neumáticos, se retira todo el material que no sea caucho como suciedad, alambres y borra.	Se necesita únicamente preparar el caucho molido pesarlo para cada ensayo y expresarlo en porcentajes.		Kg.	Cuantitativa continua	Ficha De Registro		
dependiente Rejuvenecimiento	Proceso de recuperación de un asfalto que por el tiempo de huso ha perdido condiciones iniciales, es decir, las condiciones del pavimento asfáltico envejecen con el tiempo, y es posible devolverles sus características de cuando recién fueron construido	Se trata de medir en que grado ha rejuvenecido el pavimento asfáltico, es decir en qué medida ha recuperado sus condiciones iniciales. Lo que en el presente caso se realiza midiendo sus características o variables que en todos los casos se hace mediciones mediante instrumentos. Las características se refieren a la estabilidad, el flujo el porcentaje de vacíos que en conjunto le dan una determinada calificación al pavimento	FLUJO	Cm	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	MTCE-504 ASHTO-T245 ASMTC D-59	
			ESTABILIDAD	Cm	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	MTCE-504 ASHTO-T245 ASMTC D-59	
			PORCENTAJE DE VACIOS	%	Cuantitativa continua	Formato de laboratorio	MTCE-504 ASHTO-T245 ASMTC D-59	

Se muestra la tipología de investigación dentro de una clasificación basada principalmente por lo expuesto por dos autores de metodología de la investigación: Sánchez y Reyes (20129 y Hernández et al (2014)

Método de Investigación: El estudio emplea un método deductivo, porque durante todo el proceso de investigación se sacado de deducciones partiendo de lo general y concluyendo en lo particular, es así como se ha propuesto, el problema, los objetivos y las hipótesis.

Orientación: Aplicada, porque tiene por objetivo resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación, tal como es el caso de proponer el uso del caucho en pavimentos asfálticos.

Enfoque: Cuantitativo, porque recogen y analizan datos cuantitativos sobre variables y estudia y se hace uso de métodos numéricos.

Recolección de datos: Prolectivo, porque se recaban los datos directamente de la fuente primaria; en este caso se hacen estudios de laboratorio.

Tipo de Investigación: Es del tipo de investigación es: correlacional – explicativa – descriptivo, ya que se describe e identifica los resultados de la investigación, es del tipo correlacional, porque las características de la de las propiedades mecánicas del asfalto varían en función a la cantidad del porcentaje de caucho molido; **tipo explicativo**, porque al incorporar caucho molido a la mezcla asfáltica reciclada en una mezcla asfáltica tibia rejuvenece las propiedades y esta se reflejara en el ensayo Marshall y del tipo descriptivo, porque el estudio está orientado a la descripción del comportamiento de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tibia, como es la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos de aire que el ensayo de Marshall brinda. **Tipo Correlacional:** Según Hernández

Sampieri, indica este tipo de estudios tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en una muestra o contexto en particular. En ocasiones sólo se analiza la relación entre dos variables, pero con frecuencia se ubican en el estudio vínculos entre tres, cuatro o más variables. **Tipo**

Descriptivo: Según Hernández Sampieri indica que la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan, con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. **Tipo Explicativo.** Según Hernández Sampieri indica que van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables

Diseño de la Investigación: Según el propósito del estudio es experimental, porque se manipula una de las variables en este caso el caucho molido que es la variable independiente:

- **Según el número de mediciones. Transversal,** porque se analiza datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población y en diferentes puntos.

- **Según la cronología de las observaciones. Prospectivo**, porque los datos se recogen a medida que van sucediendo. Se somete a experimento y se recaba la información.
- **Estudio del diseño.** Estudio de casos y controles, porque se estudió dos grupos uno desconocido y el otro de control, en este caso, con adicción caucho molido y el asfalto convencional.

4.2 Población y muestra

4.2.1 Población.

En este caso se considera como población a todo el volumen de concreto a utilizar en la pavimentación de la avenida La Marina- Iquitos. Dado que se trabaja con materiales seleccionados y en otros casos fabricados con uniformidad, se puede considerar que es una población con una gran uniformidad en cuanto a características.

Criterios de inclusión y exclusión: Se usa criterios de inclusión y exclusión para determinar la población de estudio, en este caso la vía donde se realizará el estudio, y de donde se extraerá las unidades de análisis. En el siguiente cuadro se muestra los criterios de exclusión e inclusión

Tabla 5. Criterios de Inclusión y Exclusión para la muestra

N°	Calle o Avenida	Long. (mt)	N° de carriles	Disponibilidad De materia prima	Prioridad
1	Calle Bellavista	460	2	Existe	Se declaro de prioridad
2	Jr. San Martin	780	2	Existe	Con estudios
3	Av. Loreto	1130	2	Existe	Con financiamiento
4	Calle San Martín	480	2	Existe	Obra licitada

5 Av. La Marina 20700 4 Existe Obra en ejecución

Tabla 6. Criterios de Inclusión y Exclusión para la muestra

<i>Criterios de inclusión</i>	<i>Criterios de exclusión</i>
Un mínimo de 1000 mts de longitud.	Vías de pocas cuadras
De preferencia varios carriles	Vías de 1 solo carril
Que exista materia prima (caucho)	Vías muy alejadas del lugar de Puerto
Obra licitada.	Proyectos con licitación
Accesos a Puerto y Muelles	

4.2.2 Muestra.

Obtención de la muestra: El cuadro anterior muestra el criterio tomado para determinar la en estudio, en este caso la Av. La Marina que cumple con los criterios planteados, la **muestra** lo constituyen las briquetas de la mezcla con el mismo diseño que se usará en la pavimentación de la Av. La Marina.

Tamaño de muestra: Lo constituyen el número de briquetas que deben entrar a laboratorio para ser analizadas y en el presente caso significa el número de repeticiones para cada porcentaje de caucho molido, de tal manera que el resultado de cada variable obtenida, debe tener el número de repeticiones que permita generalizar los resultados... Para estos casos donde se plantea comparar los datos obtenidos con los estándares establecidos a nivel nacional, la fórmula que más se adapta es la mencionada por Kazmier, L. (1996), que recomienda que antes de extraer la muestra se debe tener determinado el tamaño y recomienda la siguiente fórmula:

$$n = \frac{(-z_1 - z_0)^2 \alpha^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2}$$

Donde:

Z_1 = valor de Z correspondiente a la probabilidad especificada del error tipo

II

Z_0 = Valor crítico de Z para un nivel de significación especificada.

σ = Desviación estándar que debe ser conocida o determinada con algún criterio

U_1 = Valor específico de la media

U_0 = Valor hipotético de la media

Determinación de los valores de la formula.

Z_1 = El error tipo II.

se comete cuando rechaza la hipótesis siendo verdadera, en este caso por lo general se toma como probabilidad un porcentaje mayor que el nivel de significación, en este caso el 10 %, es decir 0.10; que en la tabla de Z da un valor de 1.28

Z_0 = Valor crítico de Z para un nivel de significación especificada.

en estos casos de investigación se exige un nivel de significación del 5 %, es decir, 0.05; que en la tabla de Z da el muy conocido valor de 1.96

Estos valores deben tener signos contrarios, por lo que finalmente se suman.

σ = Desviación estándar

No se conoce una desviación estándar a nivel nacional para características en asfaltos de este tipo, pero sin embargo se puede tomar como base los resultados de un trabajo

similar; en este caso se ha tomado el trabajo de Granados (2027), quien desarrolla el trabajo de investigación en mezcla tibia en caliente modificada con caucho y presenta en sus resultados las mismas variables a analizar como en el presente caso, y para determinar la desviación estándar de la formula a utilizar , se va a utilizar los datos correspondientes a estabilidad corregida donde consigna los siguientes datos:

1824
1827
1850
1827
1821
1814
1901

Los mismos que presentan una desviación estándar de 30.04

U_1 = Se tomará como Valor específico de la media la usada como parámetro de diseño y que tiene un valor de 815.

U_0 = Valor hipotético de la media se considera que debe diferir en una cantidad mínima, para el presente caso se está considerando una diferencia en % aproximado de 2 o 3% por lo que se está como media hipotética un 97% del de la media específica, que sería de 790.55

Tamaño de muestra.

Reemplazando valores en la ecuación se tiene

$$n = \frac{(-1.96 - 1.28)^2 30.04^2}{(815 - 790.55)^2} = \mathbf{16}$$

Esto quiere decir que se procesará 16 briquetas para cada porcentaje de caucho molido planteado.

4.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos (validez y confiabilidad)

4.3.1 Procedimiento y métodos

El procedimiento y método a utilizar en el trabajo de investigación serán de acuerdo a las revisiones de las bibliografías de investigaciones, tales como tesis, artículos, normas técnicas y otras bibliografías relevantes relacionadas al tema de investigación, luego se procederá a realizar los ensayos en el laboratorio de mecánica de suelos y pavimentos en base a los parámetros de la norma, se tomará nota de los resultados obtenidos y el procesamiento de datos en software.

4.3.2 Instrumento de recolección de datos

Los datos de laboratorio se recolectarán mediante formato estandarizados tal como el del ensayo Marshall AASHTO T 245, MTC E 504 y ASTM D 1559, que muestra sus datos en un cuadro y obtenidos en concordancia con los objetivos específicos que se traducen en la determinación del porcentaje óptimo de caucho molido en función a los valores de tres características tales como la estabilidad el flujo y el porcentaje de vacíos.

El ensayo Marshall reporta un conjunto de datos de 23 características entre ellas las tres mencionadas anteriormente. A continuación, se muestra el formato Marshall que se está usando en la presente investigación.

Tabla 7. Formato Ensayo Marshall

REALIZADO POR:	<u>JULIO E. RAMIREZ RAMIREZ</u>	MUESTRA:	<u>N°</u>
FECHA DE MUESTREO:	<u>10/12/2021</u>	MATERIAL:	<u>Asfalto Tibia</u>
HORA DE MUESTREO		CANTERA:	<u>PAPAPLAYA - SAN MARTIN</u>
FECHA DE ENSAYO:	<u>10/12/2021</u>	UBICACIÓN:	<u>LABORATORIO SUELOS Y PAVIMENTOS</u>
		MUESTREO:	

MALLA:	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50		Nº 100	Nº 200
Huso G: ASTM-3515-D	100	100		56-80	35-65	23-4.	5.19		---	2-8
MUESTRA :	100	99.1		69.3	56.2	41.6	13.9		---	4.5
Nº BRIQUETAS					1	2	n			
PORCENTAJE DE GRAVA TRITURADA										
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO										
PORCENTAJE DE FILLER										
1) C.A EN PESO DE LA MEZCLA										
2) AGREG. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA										
3) AGREG. FINO EN PESO DE LA MEZCLA										
4) % DE CAUCHO EN PESO DE LA MEZCLA										
% DE ACEITE DE PALMA EN PESO DE LA MEZCLA										
5) PESO ESPECIFICO DEL C.A										
6) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. GRUESO										
7) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. FINO										
8) PESO ESPECIFICO DEL FILLER										
9) ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA										
10) PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE										
11) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AIRE										
12) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AGUA										
13) VOLUMEN DE LA BRIQ. MAS PARAF. (11-12)										
14) PESO DE LA PARAFINA (11-10)										
15) VOLUMEN PARAFINA 14/P.E DE LA PARAF.										
16) VOLUMEN BRIQ. POR DESPLAZAMIENTO (13-15)										
17) VOLUMEN GEOMETRICO (9 x 81.07)										
18) VOLUMEN APOPTADO										
19) PESO UNITARIO (10: 18)										
20) MAX. DENS. TEOR. (RICE)										
21) % VACIOS = $100 (20-19) / 20$										
22) ESTABILIDAD SIN CORREGIR										
23) FACTOR DE ESTABILIDAD										
24) ESTABILIDAD CORREGIDA (22 x 23) kg										
25) FLUJO										
26) L = $19 (100-1/100)$ DENSIDAD AP. ARIDOS										
27) DI - 2 + 3 + 4 (P.ESP. PROM. ARIDOS)										
28) V.M.A. = $100 (27-26) / 27$										
29) VACIOS LLENADOS C.A 1 x 19 x 100										VMA
30) FLUENCIA (mm)										
31) ESTABILIDAD - FLUJO (24 /30) *10										

4.3.3 *Métodos y técnicas.*

Observación directa de los datos consignados en el formato marshall.

4.4 Descripción de procedimientos de análisis de datos

Se muestra los procedimientos para el análisis de datos y para la parte experimental.

4.4.1. Procedimientos de análisis de datos

El procedimiento general consiste en la comparación de los datos obtenidos en el laboratorio con los estándares nacionales referidos a las tres variables en estudio; la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos.

A partir de los datos obtenidos en el ensayo marshall se analiza primeramente la naturaleza de los mismos mediante la prueba de normalidad estadística descriptiva, y se hace la comparación de los resultados con los estándares mediante la estadística inferencial.

Estadística descriptiva.

normalidad

Media

Desviación estándar

Regresión lineal

Prueba de hipótesis

Pasos de una prueba de hipótesis

1. Formular H_0 y la H_1
2. Determinar si la prueba es unilateral o bilateral.
3. Asumir el nivel de significación de la prueba.
4. Determinar la distribución y la muestra' que se usará en la prueba.
5. Elaborar el esquema de la prueba.

6. Calcular el estadístico de la prueba.
 7. Tomar la decisión de aceptar o rechazar la H_0
- . Formular H_0 y la H_1

H₁: Hipótesis de investigación: Afirmación tentativa acerca del resultado que se espera para variable en análisis, que en el presente caso son las medias de la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos. Todos ellos en relación con la media de la población que en el presente caso están representados por los estándares proporcionados por el ensayo marshall.

H₀: Hipótesis nula: Afirma lo contrario de lo que se quiere probar. Por lo tanto, se formula con la intención de rechazarla.

Determinar si la prueba es unilateral o bilateral: En todos los casos, en la presente investigación se asume que la media de la variable en estudio es mayor o es menor que la media estándar, por lo tanto, es una prueba bilateral.

Asumir el nivel de significación de la prueba: Se conoce como nivel de significación es la probabilidad de cometer el error tipo I, es decir, rechazar la hipótesis nula siendo verdadera. Se ha convenido en usar 0.05 como nivel de significación, que significa que existe un 5% de probabilidad de tomar una decisión equivocada al rechazar la H_0 .

Determinar la distribución y la muestra' que se usará en la prueba. En todos los casos se usará la distribución muestral de medias.

Elaborar el esquema de la prueba. En los tres casos se espera que la media que se ha determinada sea mayor o menor que la media estándar, menor en el caso de la estabilidad y mayor en el caso del flujo.

Calcular el estadístico de la prueba. Se refiere a las medias determinadas por el experimento de laboratorio

Tomar la decisión de aceptar o rechazar $la H_0$. En la actualidad esta parte se determina con la ayuda de algún programa informático. En el presente caso se usa el MINITAB para realizar la prueba de hipótesis que finalmente arroja un valor llamado “p valor”, cuya interpretación es:

Cuando p valor es $>$ que el nivel de significación se rechaza la H_0 .

Tal como se ha mostrado en los resultados de la investigación, se ha determinado los siguientes valores de p para las tres variables en investigación.

4.4.2. Procedimientos para el desarrollo del experimento del proyecto.

Para el desarrollo del experimento se realizó el ensayo de acuerdo a las especificaciones técnicas de la AASHTO T-245, ASTM-1559 Y MTC E-504 que es el ensayo de MARSHALL, que determinara la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos.

Para el desarrollo del experimento de investigación se tuvo que identificar el laboratorio de mecánica de suelos en la Ciudad de Iquitos, lugar donde queda la avenida la marina, para el desarrollo del experimento y lograr los objetivos se considera los siguientes pasos:

- a) Producción del caucho y sus características
- b) Lavado de material reciclado de concreto asfáltico
- c) Cemento asfáltico y sus características
- d) Características de los agregados conforme a la metodología Marshall
- e) Diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia (AASHTO T-245)

a) Producción del caucho y sus características

El caucho obtenido para el presente proyecto se ha obtenido de una fábrica que recicla llantas usadas de vehículos en la ciudad de Lima y estos cauchos adquirido es molido y que pasa la malla de tamiz N° 10.

Figura 5. Caucho molido procedente de neumático



b) Lavado de material reciclado de concreto asfáltico

El material reciclado se ha extraído de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos, posteriormente se realiza el desagregado con la utilización de martillo de goma para luego realizar el lavado del mismo con tetra cloruro y a través de la maquina centrifuga se realiza la separación de los componentes de la mezcla asfáltica reciclado, tal como la piedra arena y el cemento asfáltico o PEN.

Figura 6. Lavado de material reciclado



c) Cemento asfáltico y sus características

Del procesamiento de lavado del material reciclado se obtuvo la cantidad del cemento asfáltico la cual se ha realizado la evaluación ya que debe ser la adecuada según la ubicación geográfica donde será colocada la mezcla asfáltica; las propiedades de los ligantes asfálticos fueron evaluadas conforme a lo que indica las especificaciones técnicas de la norma peruana y que para el presente trabajo de investigación que se ha utilizado un material reciclado se realizó 03 lavados de materiales, el primer lavado se obtuvo 5.60%, segundo lavado se obtuvo 5.58% y el tercer lavado se obtuvo 5.47%, por tanto como promedio se obtuvo 5.60% de material ligante y es la que se utilizó en todas las mezclas asfálticas para la elaboración de las briquetas.

De acuerdo a la ubicación geográfica se ha determinado que el tipo de material ligante será de PEN 60/70, cuyas características y especificaciones técnicas del fabricante del ligante asfáltico se muestra en la siguiente Tabla 08.

Tabla 8. Caracterización del ligante PEN 60/70

CLASE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO				
TIPO DE PRODUCTO				
CEMENTO ASFÁLTICO				
NOMBRE DE PRODUCTO				
ASFALTO SÓLIDO 60/70 PEN				
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		TODO	MÉ
	MÍN.	MÁX	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN	60	70	D-5	T-49
a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm				
VOLATILIDAD				
Gravedad específica a 15.6/15.6°C		Reportar	D-70	T-228
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta, °C	232		D-92	T-48

DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113	T-51
SOLUBILIDAD , % masa	99		D-2042, D-7553	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		0.8		
Penetración retenida, % del original	52+		D-5	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	50		D-113	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1	+1		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt		Reportar	D-2170	T-201
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	200		D-2170	T-201
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946 y AASHTO M-20.				
Fuente: Petro Perú				

d) Características de los agregados conforme a la metodología Marshall

Del material reciclado se ha realizado el lavado del material y luego de pasar por la centrifuga que permite separar los componentes de la mezcla asfáltica como son los agregados y el material ligante, se puede indicar que el agregado de dicho material reciclado tiene como promedio el 58.41% en grava chancada con tamaño nominal de 1" y el 35.99% de arena y estas mezclas de agregados cumplen con el HUSO ASTM 3515 D, tal como se observa en la Tabla 09 y Figura 07.

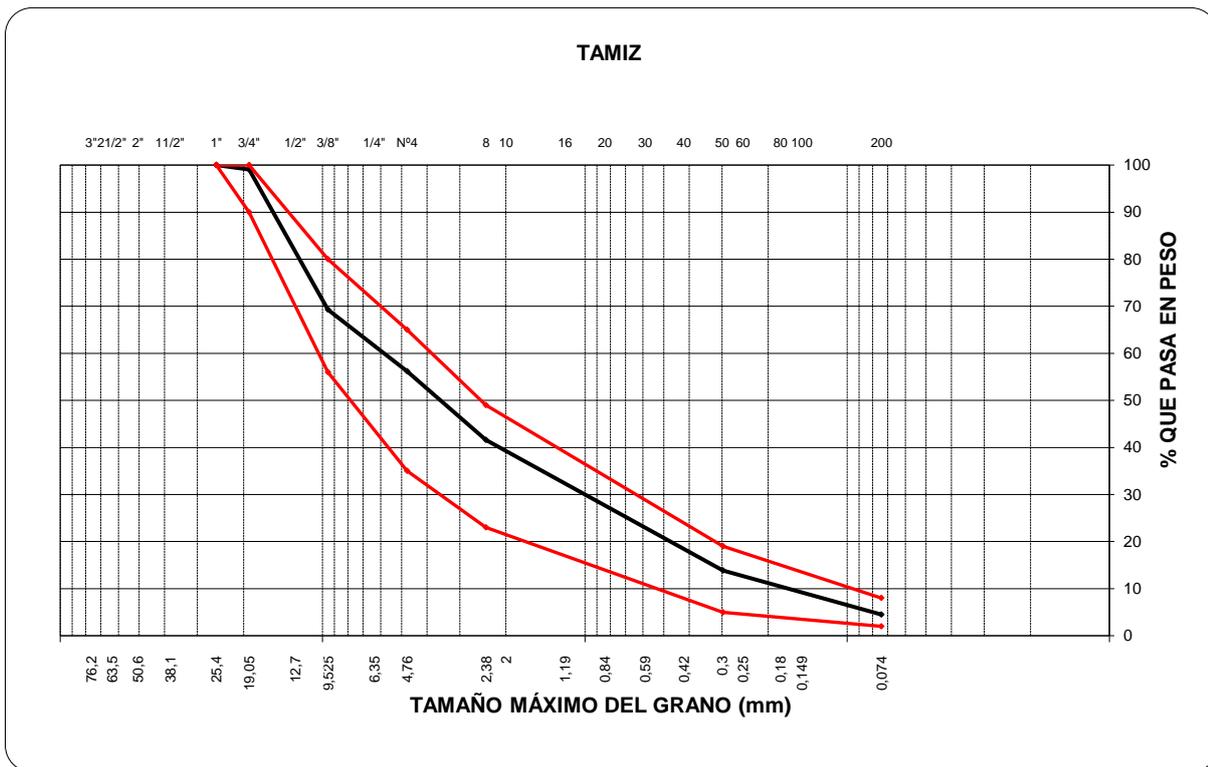
Tabla 9. Granulometría del material reciclado

Malla Tamiz	Abert. mm.	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% Que Pasa	Especificación		Descripción de la Muestra	
						ASTM 3515 D-4 Max. Nominal 1"	MTC MAC-1		
2"	50.800							Peso de la Mat. Sin Lavar	1152.6
1 1/2"	38.100							Peso de la Mat. Lavado	1090.0
1"	25.400				100.0	100	100	100 - 100	
3/4"	19.050	10.2	0.9	0.9	99.1	90	100	80 - 100	
1/2"	12.700	198.4	18.2	19.1	80.9		67 - 85	Grava Chancada %	58.41

3/8"	9.525	124.7	11.4	30.6	69.4	56	80	60 - 77	Arena %	35.99
1/4"	6.350									
4	4.760	142.1	13.0	43.6	56.4	35	65	43 - 54		
8	2.380	161.2	14.8	58.4	41.6	23	49			
10	2.000							29 - 45		
16	1.190								Peso inicial del filtro	12.6
20	0.840								Peso final del filtro	13.9
30	0.590								Peso del filler en filtro	1.4
40	0.420							14 - 25	Peso del asfalto	62.6
50	0.297	300.3	27.5	86.0	14.0	5	19		Contenido de asfalto	5.60
60	0.256								Relación Polvo - Asfalto	0.83
80	0.180							8 - 17		
100	0.149									
200	0.074	102.3	9.4	95.3	4.7	2	8	4 - 8	Relacion Polvo - Asfalto	0.6 - 1.3
< 200	-	50.7	4.7	100.0						

Elaboración: propia

Figura 7. Curva granulométrica del material reciclado



e) Diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia (AASHTO T-245)

Después de haber realizado el lavado del material asfáltico reciclado y determinado los porcentajes de los agregados y material ligante se ha procedido a realizar la nueva mezcla asfáltica en la cual se ha incorporado caucho molido en diferentes porcentajes de 1%, 1.5% y 2% del peso de la mezcla.

Una vez preparado la mezcla se ha procedido a realizar los especímenes o briquetas Marshall de acuerdo a lo indicado en los procedimientos para el diseño de mezclas bituminosas de la AASHTO R 12-85, las mezclas asfálticas después de ser colocadas en los moldes de las briquetas se compactan con una cantidad de golpes de acuerdo al tráfico y para nuestro caso es de 75 golpes; en la figura se observa los especímenes o briquetas al 5.60% de asfalto óptimo.

Figura 8. Especímenes con caucho al 1%, 1.5% y 2%



Se ha determinado el peso específico máximo de la mezcla asfáltica máximo por el método Rice, para mezcla asfáltica con adición de 1% de caucho es de 2.355 gr/cm³, con 1.5% es de 2.324 gr/cm³ y de 2% es de 2.287 gr/cm³; luego se procedió a ensayar los especímenes para determinar las estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos con el ensayo de Marshall (aashto T 245), de acuerdo al procedimiento indicado en la

norma ASTM D 1559, tal como se observa en la Figura 09; además se indica el resumen de resultados obtenidos en la Tabla 10.

Figura 9. Ensayo Marshall de especímenes



Tabla N° 10

Resumen de resultados obtenidos

<i>Descripción</i>	Especificaciones Técnicas	Resultados Obtenidos		
	MTC E 504	1% Caucho	1.5% Caucho	2% Caucho
Golpes por cada cara	75			
Optimo contenido C.A. (%)	56%			
Peso unitario (gr/ cm3)		2.355	2.324	2.287
Estabilidad (kg)	8.15	513	648	375
Flujo (mm)	8 - 14	15	17	18
Vacíos (%)	3 - 5	4.6	4.2	5.7

5 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

5.1. Resultados de la Investigación

A partir de la información proporcionada por los ensayos Marshall, se ha obtenido los datos referentes a las características consideradas en los objetivos específicos de la investigación, tales como el flujo la estabilidad y el porcentaje de vacíos para cada porcentaje de caucho molido tal como se planteó en la investigación. Para la presente investigación el Marshall, igualmente muestra los datos de las 23 características, tal como figura en ANEXOS, pero con fines de mostrar como resultados se tomará únicamente los tres características mencionadas. Esos datos resumidos se muestran en las siguientes Tablas 11, 12 y 13:

Tabla 10. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 1 % de caucho molido

1 % DE CAUCHO MOLIDO			
N.º de muestra	ESTABILIDAD	FUJO	% DE VACIOS
1	517.80	15.10	4.61
2	478.30	14.90	4.79
3	540.00	15.20	4.73
4	528.68	15.10	4.64
5	485.00	15.00	4.45
6	535.00	14.80	4.92
7	524.00	15.30	4.36
8	536.00	14.90	4.61
9	517.00	15.00	4.83
10	483.00	15.10	4.75
11	479.00	14.90	4.74
12	539.00	15.20	4.63
13	533.00	15.30	4.43
14	477.00	14.90	4.55
15	536.00	15.20	4.61
16	499.00	14.10	4.62

Tabla 11. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 1.5 % de caucho molido

1.5 % DE CAUCHO MOLIDO			
N.º de muestra	ESTABILIDAD	FUJO	% DE VACIOS
1	529.00	16.90	5.22
2	703.00	16.80	4.83
3	684.00	17.20	4.77
4	699.00	17.10	4.89
5	699.00	17.00	5.07
6	695.00	17.10	4.43
7	560.00	16.90	4.27
8	595.00	17.20	4.27
9	610.00	17.30	4.02
10	650.00	17.10	4.07
11	630.00	17.00	4.05
12	585.00	16.90	3.67
13	640.00	17.20	3.62
14	695.00	17.10	3.67
15	700.00	17.00	3.32
16	699.00	16.90	3.36

Tabla 12. Estabilidad, flujo y % de vacíos para adición de 2 % de caucho molido

2 % DE CAUCHO MOLIDO			
N.º de muestra	ESTABILIDAD	FUJO	% DE VACIOS
1	421.50	18.30	5.55
2	318.40	17.90	5.91
3	400.00	18.10	5.93
4	363.84	17.80	5.71
5	353.09	18.00	5.77
6	398.00	18.10	5.71
7	350.00	18.20	5.46
8	370.00	17.90	6.15
9	410.00	17.90	5.57
10	409.00	18.20	5.66
11	345.00	18.10	6.04
12	333.00	18.00	5.44
13	375.00	17.90	5.20
14	398.00	18.20	5.59
15	406.00	18.00	5.50
16	358.00	17.80	6.07

Los datos que se muestra en las tablas anteriores proceden de los cuadros de Ensayo Marshall, que son más extensos ya que contienen los valores de 23 características, de los cuales se ha extraído únicamente los correspondientes a las variables en estudio, es decir, estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos para los tres porcentajes de caucho molido considerados en la investigación; a partir de los mismos, y para cada porcentaje de caucho molido y dentro de da porcentaje de caucho molido, para cada variable en estudio se determinará los principales estadísticos, y la prueba de hipótesis

5.2. *Análisis e interpretación de los resultados*

Parámetros de comparación del diseño Marshall (MTC E 504)

Estabilidad	815
Flujo	8 - 14
Porcentaje de Vacíos	3 - 5

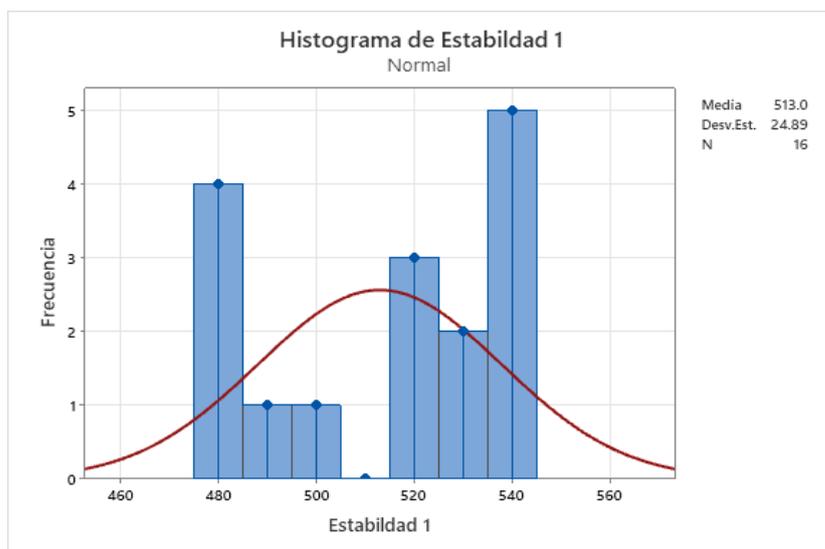
En el capítulo anterior se muestran los resultados totales para para los tres porcentajes de caucho molido y de la comparación preliminar con los estándares que se está mostrando, se puede deducir que aun cuando ninguno de los porcentajes de caucho molido cumple con los estándares.

5.2.1. Análisis e interpretación de la investigación para la estabilidad

Análisis de estabilidad para 1 % de caucho molido

Histograma

Figura 10. Histograma de estabilidad al 1%

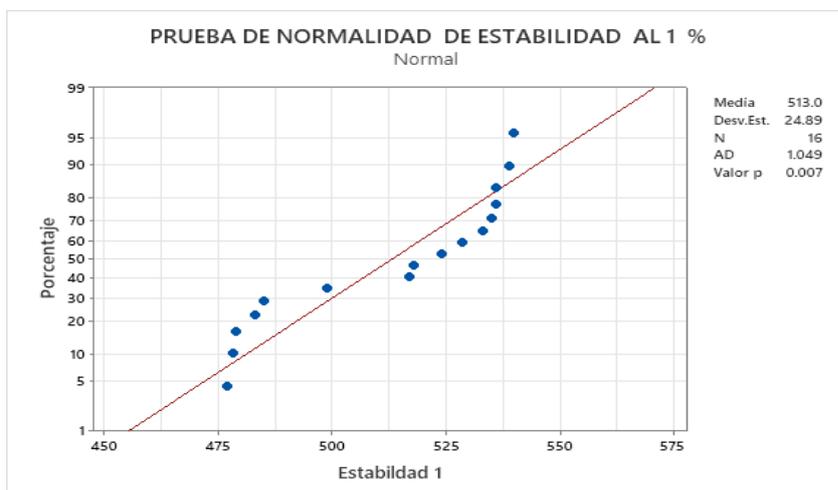


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
Estabilidad 1%	512.99	24.89	4.85

Prueba de normalidad

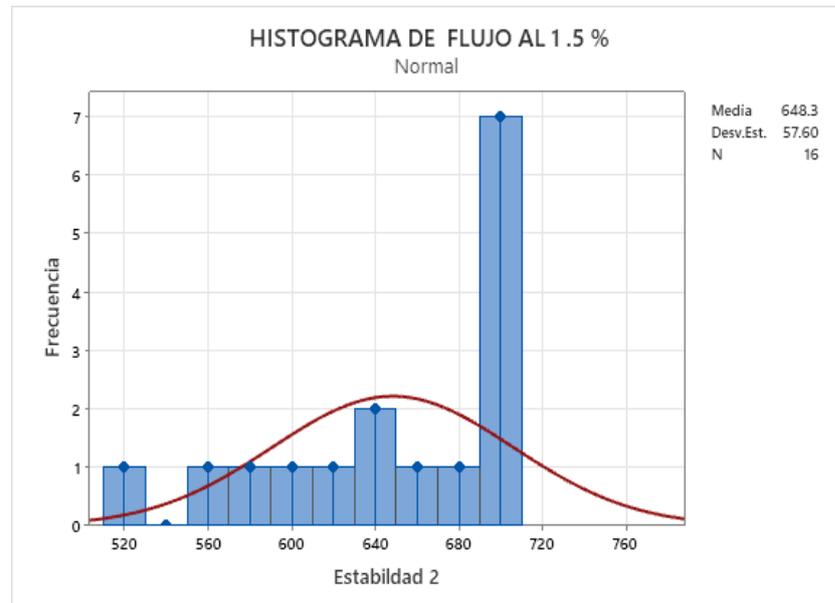
Figura 11. Prueba de normalidad al 1%



Análisis de estabilidad para 1.5 % de caucho molido

Histograma

Figura 12. Histograma de estabilidad al 1.5%

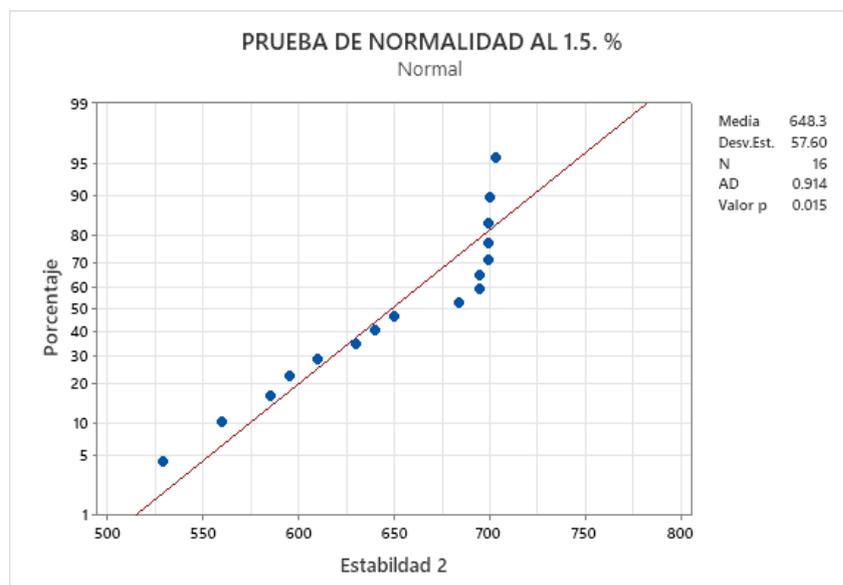


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación
Estabilidad 1.5%	648.3	57.6	8.88

Prueba de normalidad

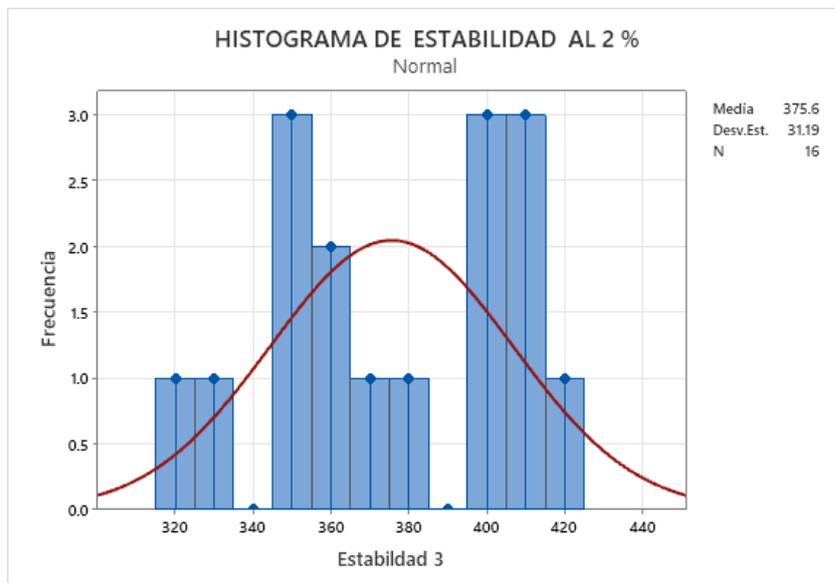
Figura 13. Prueba de normalidad al 1.5%



Análisis de estabilidad para el 2% de caucho molido

Histograma

Figura 14. Histograma de estabilidad al 2%

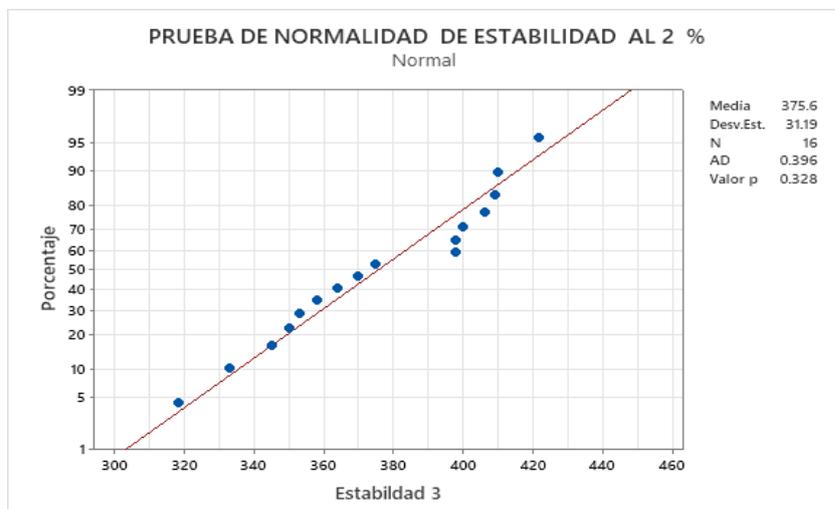


Estadísticos

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación
Estabilidad 1.5%	375.55	31.19	8.31

Normalidad

Figura 15. Prueba de normalidad al 2%

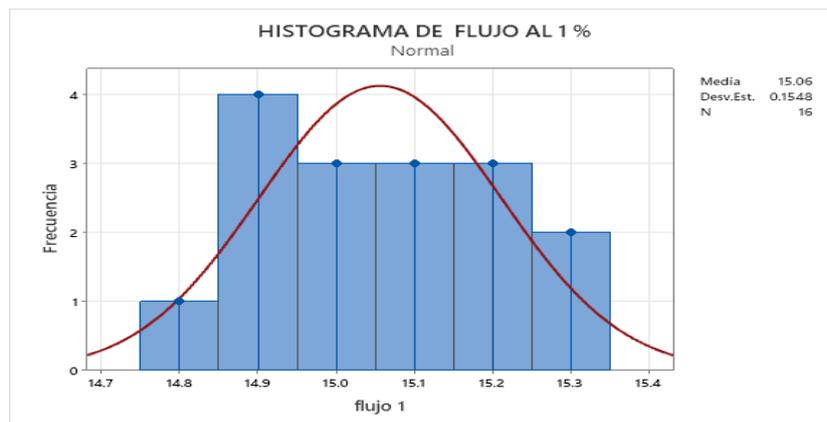


5.2.2. Análisis e interpretación de la investigación para el Flujo

Análisis del flujo para 1 % de caucho molido

Histograma

Figura 16. Histograma del flujo al 1%

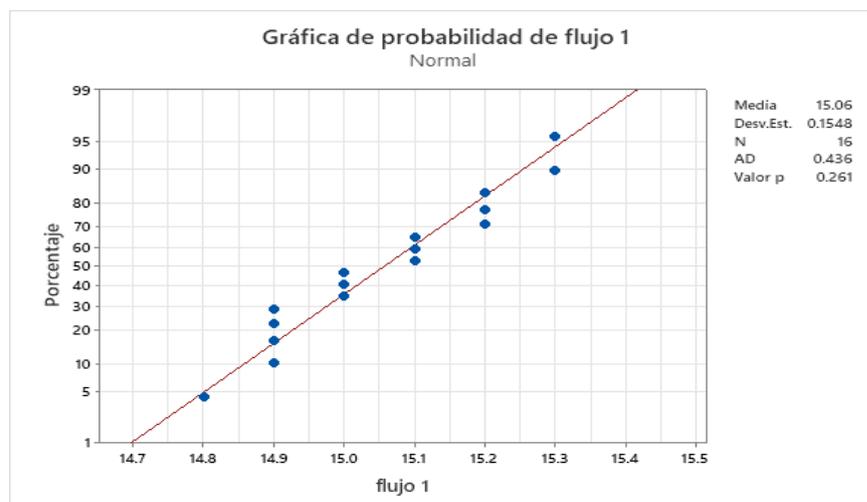


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación
Flujo al 1%	15.056	0.155	1.03

Prueba de normalidad

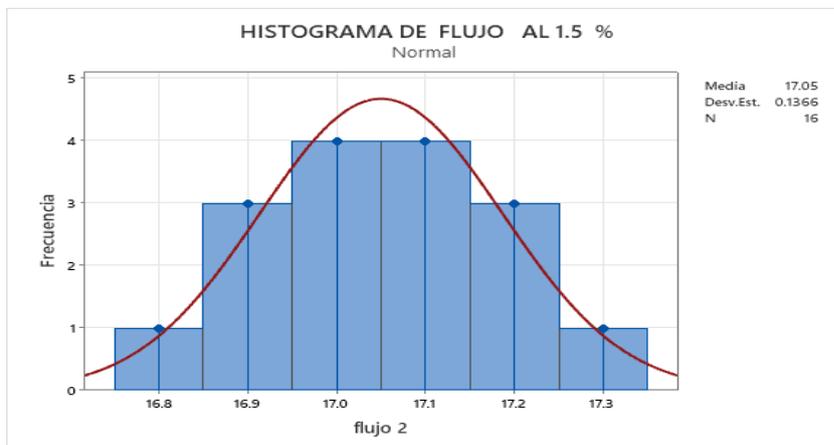
Figura 17. Prueba de normalidad al 1%



Análisis del flujo para 1.5 % de caucho molido

Histograma

Figura 18. Histograma del flujo al 1.5%

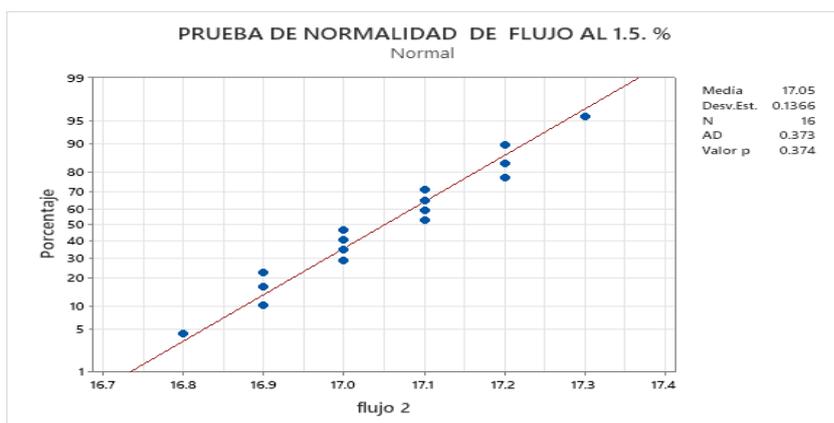


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
Flujo al 1.5%	17.050	0.137	0.80

Prueba de normalidad

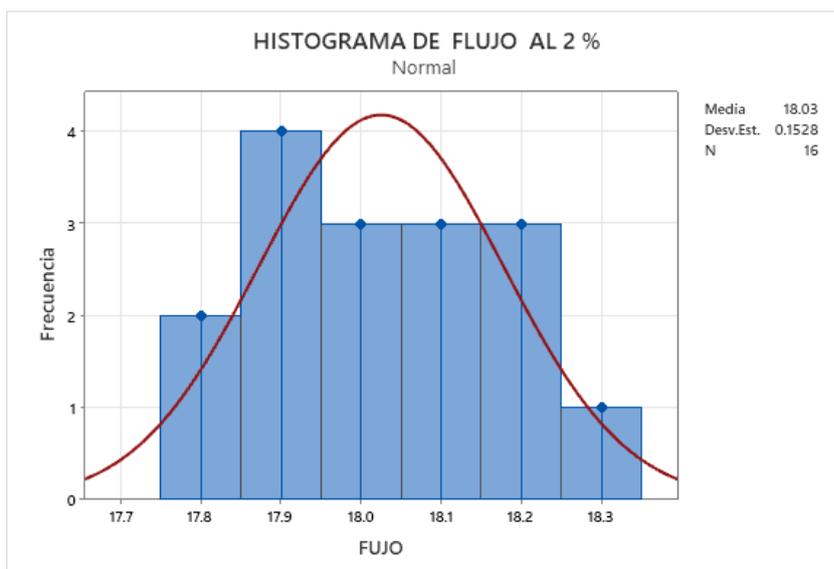
Figura 19. Prueba de normalidad al 1.5%



Análisis del flujo para 2 % de caucho molido

Histograma

Figura 20. Histograma del flujo al 2%

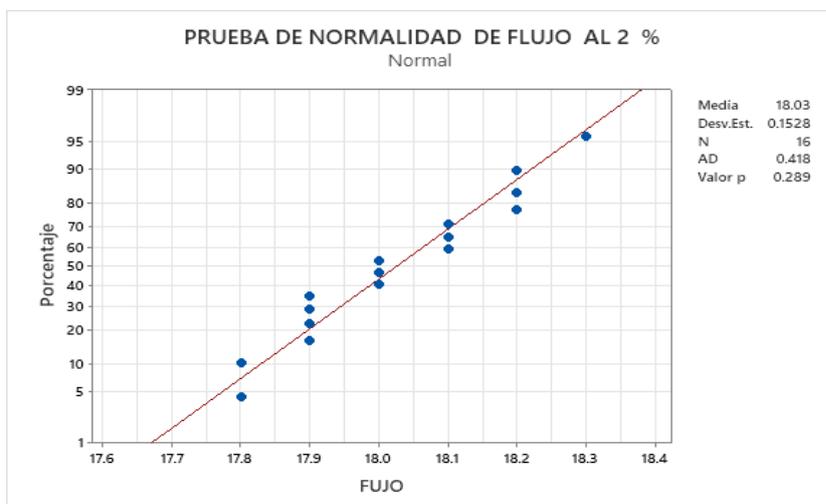


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
Flujo al 2%	18.025	0.153	0.85

Prueba de normalidad

Figura 21. Prueba de normalidad al 2%

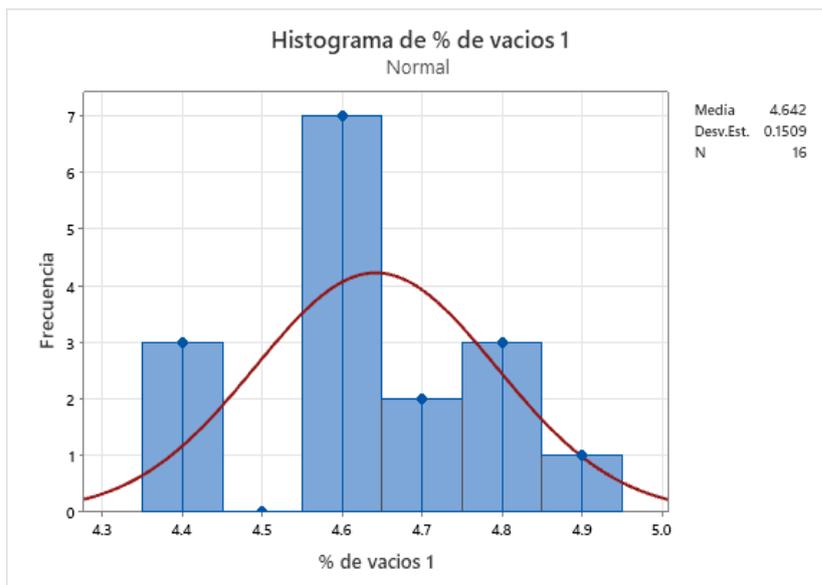


5.2.3. Análisis e interpretación de la investigación para Porcentaje de Vacíos

Análisis del porcentaje de vacíos para 1 % de caucho molido

Histograma

Figura 22. Histograma de Porcentaje de vacíos al 1%

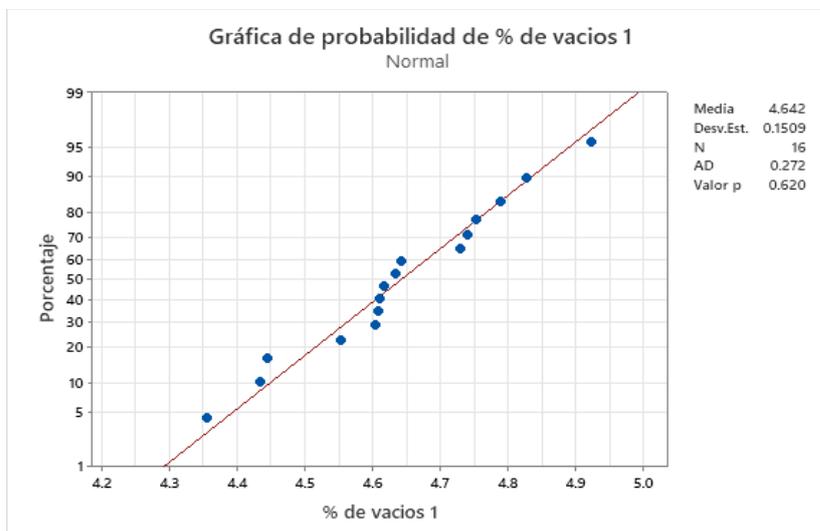


Estadísticas

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación
% vacíos al 1%	4.642	0.1509	3.25

Prueba de Normalidad

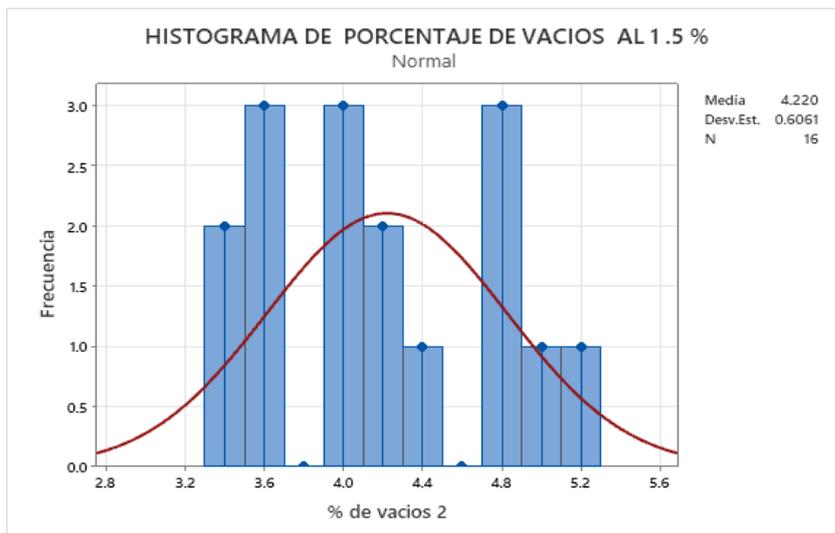
Figura 23. Prueba de normalidad al 1%



Análisis del porcentaje de vacíos para 1.5 % de caucho molido

Histograma

Figura 24. Histograma del porcentaje de vacíos al 1.5%

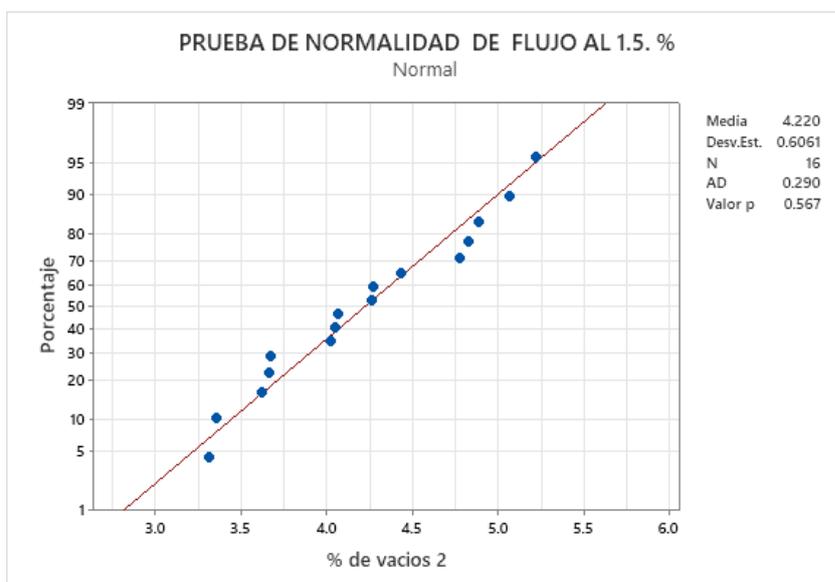


Estadísticos

Variable	Media	Desviación Estándar	Coficiente Variación
% vacíos al 1.5%	4.220	0.606	14.36

Prueba de Normalidad

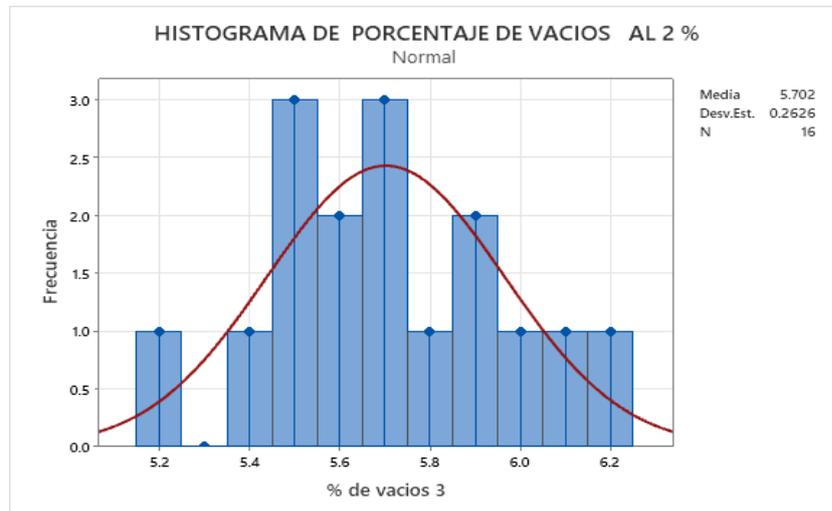
Figura 25. Prueba normalidad al 1.5%



Análisis del porcentaje de vacíos para 2 % de caucho molido

Histograma

Figura 26. Histograma del porcentaje de vacíos al 1.5%

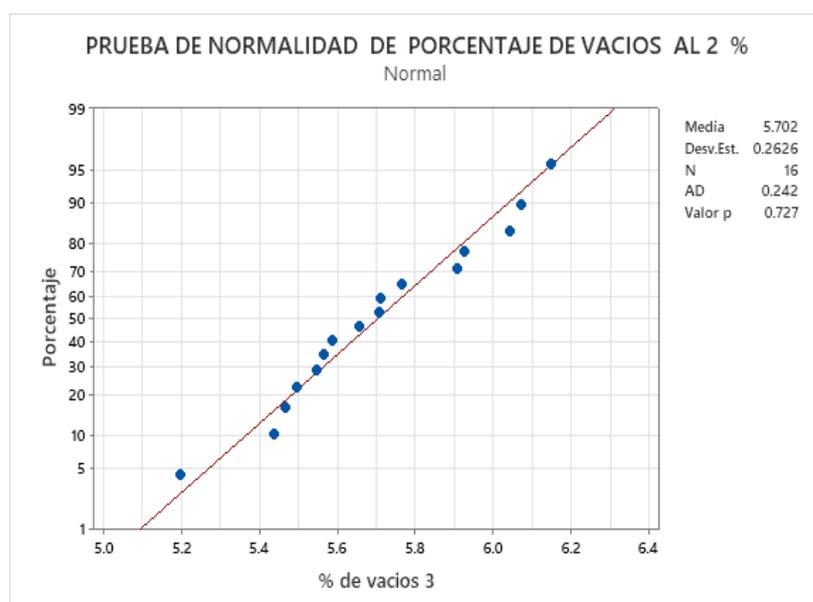


Estadísticos

Variable	Media	Desviación Estándar	Coefficiente Variación
% vacíos al 2%	5.7021	0.2626	4.61

Prueba de Normalidad

Figura 27. Prueba de normalidad al 2%



A continuación, se muestra el gráfico de las tres variables estudiadas y para los tres porcentajes de adición

Gráficos de los resultados de las tres variables de investigación

Figura 28. Resultados de la investigación estabilidad en Kg.

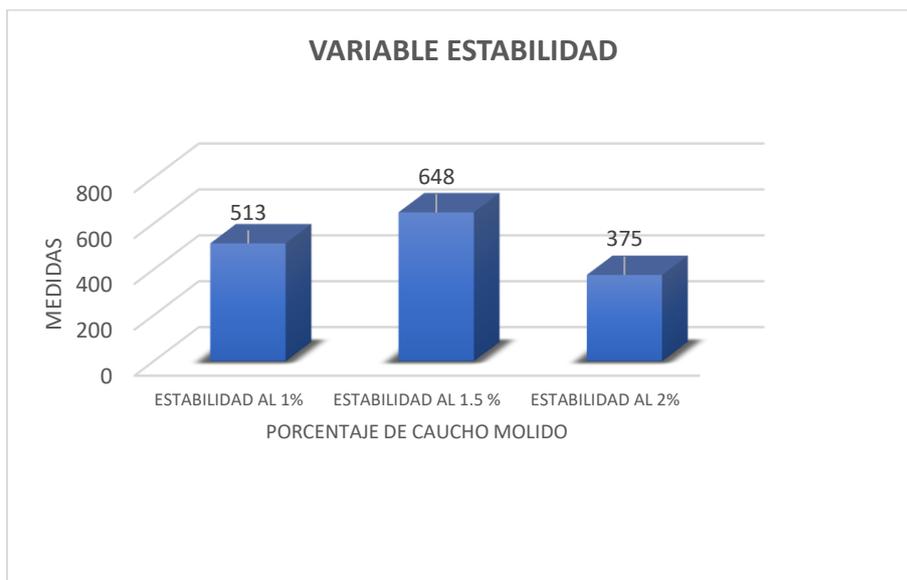


Figura 29. Resultados de la investigación del flujo en mm.

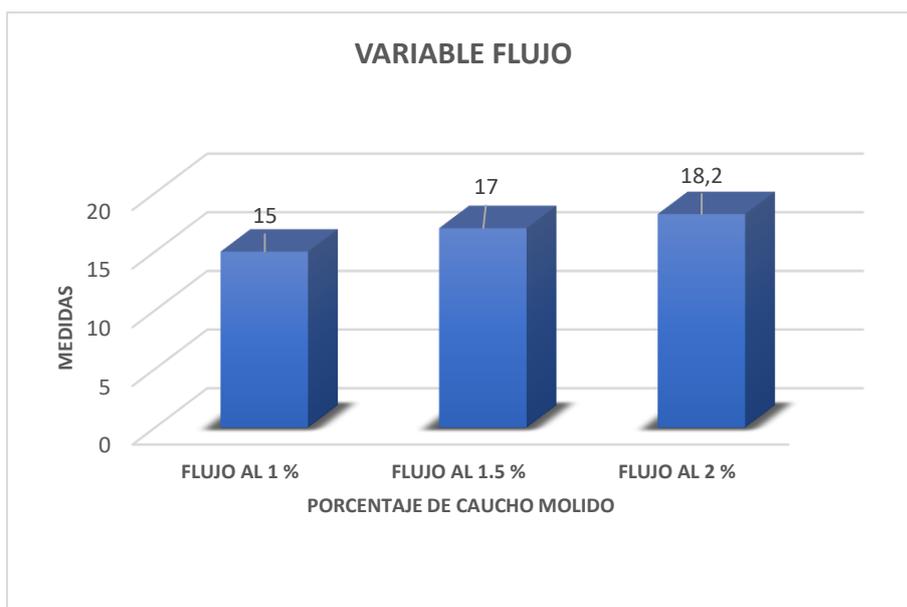
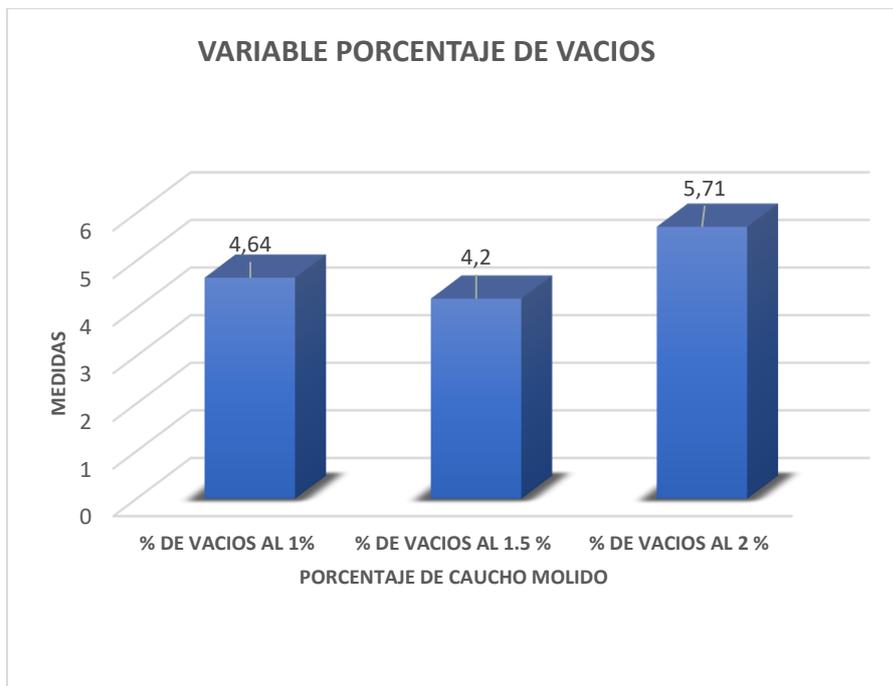


Figura 30. Resultados de la investigación del porcentaje de vacíos



5.3. Contratación de Hipótesis.

Conocida como prueba de hipótesis, dentro de la inferencia estadística y consiste en determinar si una o más propiedades estudiadas son compatibles con la población, es decir, si lo observado en la muestra es compatible con lo observado en la población. En el presente caso nuestra los datos obtenidos en el laboratorio, constituyen lo observado en la muestra, los estándares proporcionados por el ensayo Marshall son los datos observados dentro de la población. Entonces si los datos son compatibles los resultados de la muestra se pueden generalizar para toda la población, es decir, a nivel nacional. En este caso se analiza 3 propiedades, la **estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos** y se debe comprobar si los resultados obtenidos de nuestra muestra son compatibles con los de la población. Población que contiene como dato los estándares establecidos.

Ya se explicó en el punto 4.4.1. de procesamiento de datos que los cálculos se efectúan mediante el uso del programa informático MINITAB cuyo resultado principal es lo que se denomina como Valor **P**.

El Valor P, es un resultado que indica si se acepta o se rechaza la H_0 (hipótesis nula); que como ya explicó se aplica la siguiente regla:

Si Valor P > nivel de significación Se rechaza la H_0

Información para la prueba de hipótesis mediante MINITAB

n = Tamaño de muestra

α = nivel de significación

m = Media hipotética

d = datos

5.3.1. Prueba de hipótesis para la variable estabilidad.

Prueba de hipótesis de la variable estabilidad para 1 % de caucho molido

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	815
Datos	Estabilidad al 1 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 815$

Hipótesis alterna $H_1: \mu < 815$

Valor T	Valor p
-48.55	0.000

Prueba de hipótesis de la variable estabilidad para 1.5 % de caucho molido

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	815
Datos	Estabilidad al 1.5 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 815$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 815$
Valor T	Valor p
-48.55	0.000

Prueba de hipótesis de la variable estabilidad para 2 % de caucho molido

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	815
Datos	Estabilidad al 2.0 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 815$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu < 815$
Valor T	Valor p
-56.36	0.000

5.3.2. Prueba de hipótesis para la variable flujo.***Prueba de hipótesis de la variable flujo para 1 % de caucho molido***

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	14
Datos	Flujo al 1 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 14$
Hipótesis alterna	$H_1: \mu > 14$
Valor T	Valor p
27.30	0.000

Prueba de hipótesis de la variable flujo para 1.5. % de caucho molido

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	14
Datos	flujo al 1.5 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 14$ Hipótesis $H_1: \mu > 14$

alterna

Valor T	Valor p
89.29	0.000

Prueba de hipótesis de la variable flujo para 2 % de caucho molido

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	815
Datos	Flujo al 2 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 14$ Hipótesis $H_1: \mu > 14$

alterna

Valor T	Valor p
105.40	0.000

5.3.3. Prueba de hipótesis para la variable porcentaje de vacíos.

Prueba de hipótesis de la variable porcentaje de vacíos para 1 % de caucho

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	4
Datos	% de vacíos al 1 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 4$

Valor T	Valor p
27.30	0.000

Prueba de hipótesis de la variable porcentaje de vacíos para 1.5 % de caucho

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	4
Datos	% de vacíos al 1.5 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4$

Hipótesis alterna $H_1: \mu > 4$

Valor T	Valor p
1.45	0.084

Prueba de hipótesis de la variable porcentaje de vacíos para 2 % de caucho

Información requerida por el MINITAB

Tamaño de muestra	16
Nivel de significación	0.05 (5 %)
Media hipotética	815
Datos	% de vacíos al 2 %.

Cálculo de Valor P

Hipótesis nula $H_0: \mu = 4$
 Hipótesis alterna $H_1: \mu > 4$

Valor T	Valor p
25.92	0.000

Interpretación.

Condición: Valor P > que 0.05... Se rechaza la Ho.

Esta condición se cumple en todos los casos, para todas las variables y para los tres porcentajes. los resultados se interpretan de la siguiente manera:

Las medias obtenidas en la muestra (laboratorio), no pertenecen a la población.

(Estándares del ensayo)

DISCUSIÓN

A continuación, se mostrará la discusión de los resultados referidos a las tres variables en estudio; la Estabilidad, El Flujo y El Porcentaje de vacíos. Primeramente, tomando en cuenta los mismos datos generados a manera de estadísticos, es decir las diferencias y coincidencias entre variables, tomando en cuenta los resultados en comparación con los estándares, los objetivos e hipótesis tomando en cuenta la prueba de hipótesis, y finalmente los resultados en comparación con otras investigaciones.

Discusión de los estadísticos que generan los resultados.

Los Estadísticos corresponden a la estadística descriptiva, y para cada variable se ha determinado, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación y se incluye acá también la normalidad, de acuerdo a esto y conforme lo mostrado en los cuadros se pueden ver que en la mayoría de los casos la población no sigue una distribución normal a excepción de las correspondientes a porcentaje de vacíos donde en todos los casos la población sigue una distribución normal tal como indican los valores de P que en todos los casos son mayores que el nivel de significación de 5 %. Esto debido a que en la mayoría de los casos **P valor < α**

Discusión tomando en cuenta los objetivos alcanzados en comparación con los estándares del ensayo Marshall.

En este caso el dato de comparación son los estándares Marshall que con ese fin se ha consignado.

Parámetros de comparación del diseño Marshall (MTC E504)

Estabilidad	815 (Kg)
Flujo	8 – 14 (mm)
Porcentaje de Vacíos	3 – 5 (%)

Los datos que se ha obtenido en la presente investigación difieren de los estándares que consigna el diseño Marshall para las tres variables en estudio y en los tres porcentajes planteados, es decir, ni la estabilidad, ni el flujo ni el porcentaje de vacíos cumple con los estándares, En cuanto a Estabilidad, ninguno de los porcentajes alcanza los 815, siendo la estabilidad máxima alcanzada de 670 que corresponde al 1.5 % de caucho molido, pero que está muy distante del estándar establecido, en cuanto al flujo igualmente, ninguna de las dosificaciones ha arrojado un resultado que esté dentro de los estándares siendo el 1 % el que mejores resultados ha alcanzado pero igualmente no alcanza el estándar establecido; finalmente en lo que se refiere al porcentaje de vacíos es la única variable que se encuentra dentro de los estándares pero solo en los porcentajes de 1 y 1.5 %. Los siguientes gráficos muestran de mejor manera los resultados de la investigación en comparación con los estándares.

En las figuras 28, 29 y 30 se puede apreciar que las cifras mostradas por las tres variables y en los tres porcentajes de caucho están por debajo de los valores que la norma del MTC E 504 lo exigen.

Discusión de los resultados obtenidos tomando en cuenta las pruebas de hipótesis

En cuanto a los datos que indican si se ha cumplido con las hipótesis planteadas, los mismos que corresponden a la estadística inferencial, están consignados en las pruebas de hipótesis que prueban si los resultados obtenidos a partir de los datos de los datos de las muestras pertenecen a la población, que en este caso está representada por los estándares proporcionados por el ensayo marshall. Esto se prueba con el valor de P que arrojan las pruebas de hipótesis, los mismos que nos indican que en todos los casos **P valor < α** . Con lo que en todos casos se rechaza la H_0 (hipótesis nula), es decir los datos generados por la muestra no pertenecen a la población.

Discusión de los resultados tomando en cuenta otras investigaciones

Los resultados se comparan además con los datos de otras investigaciones; y para este fin se ha escogido las investigaciones que guardan alguna relación con el presente estudio pero que de cualquier manera sirven como dato de comparación, estos son los trabajos siguientes:

Maguiña, W. (2019) *Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas.*

Campaña O.; Galeas S.; Guerrero V (2018). *Obtención de asfalto modificado con polvo de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores*

Granados, L (2017). *Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con Caucho Mediante Proceso por Vía Seca Respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional.*

Morante. (2019). *Utilización de gránulos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso en mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado.*

Álvarez, I y carrera, s. (2017). *Influencia de la Incorporación de Partículas de Caucho Reciclado Como Agregados en el Diseño de Mezcla Asfáltica,*

Vega, D. (2017). *Análisis del Comportamiento a Compresión de Asfalto Conformado por Caucho Reciclado de Llantas Como Material Constitutivo del Pavimento Asfáltico.*

La comparación de los resultados obtenidos con los estándares, indica que el estudio no ha alcanzado lo enunciado en las hipótesis planteadas, es decir, ni la estabilidad, ni el flujo ni el porcentaje de vacíos cumple con los estándares establecidos por los ensayos Marshall, y al comparar los resultados con los obtenidos por los estudios que se ha considerados se puede igualmente observar que todos ellos han obtenido resultados positivos tal como manifiestan

en sus conclusiones ; Maguiña, (2019) ; como conclusión de su trabajo indica que la incorporación de caucho molido mejora la resistencia a la deformación en un 37 % , lo que difiere totalmente de la presente investigación que no ha alcanzado los estándares en ninguna de las características. Campaña; Galeas y Guerrero (2018), concluyen que su trabajo demuestra que el uso de polvo de caucho a partir de llantas recicladas mejora el pavimento en duración y costos; esta afirmación se basa en el experimento que realizaron como parte del estudio probando 1,2, y 3 % de caucho molido, obteniendo una estabilidad de 3501 y un flujo de 12 que se encuentran dentro de los rangos permitidos por el ensayo Marshall y difieren totalmente de los resultados de la presente investigación

Granados, L (2017). Menciona que obtuvo como resultados una estabilidad de 2175, un flujo de 13.8 y un % de vacíos de 4.7.y entre sus principales conclusiones indica que la mejora del comportamiento mecánico al incorporar caucho molido es significativa e indica también estabilidad supera en un 61 % a la estabilidad de una mezcla asfáltica convencional, al igual que en los casos anteriores, esta investigación cumple con estándares Marshall respecto a las tres características en estudio, lo que no se cumple en el caso de nuestra investigación.

Finalmente, para hacer comparaciones en cifras, se ha escogido tres de estas investigaciones que cumplen con los estándares establecidos por el Marshall, los estándares marshal como tal y los resultados de la presente investigación que para fines de estos gráficos se le conocerá como **Ramírez** (autor de la presente investigación).

Figura 31. Estabilidad comparada con otros estudios

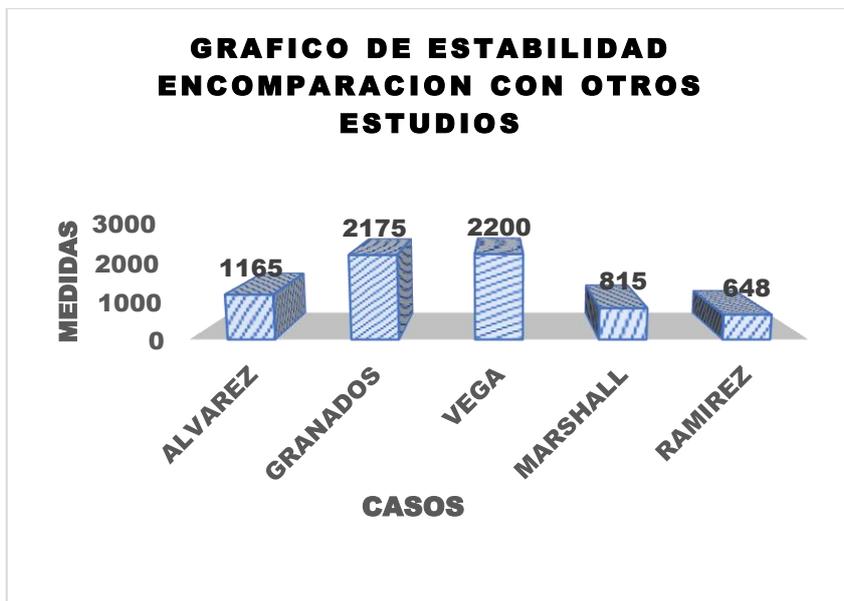


Figura 32. Flujo comparado con otros estudios

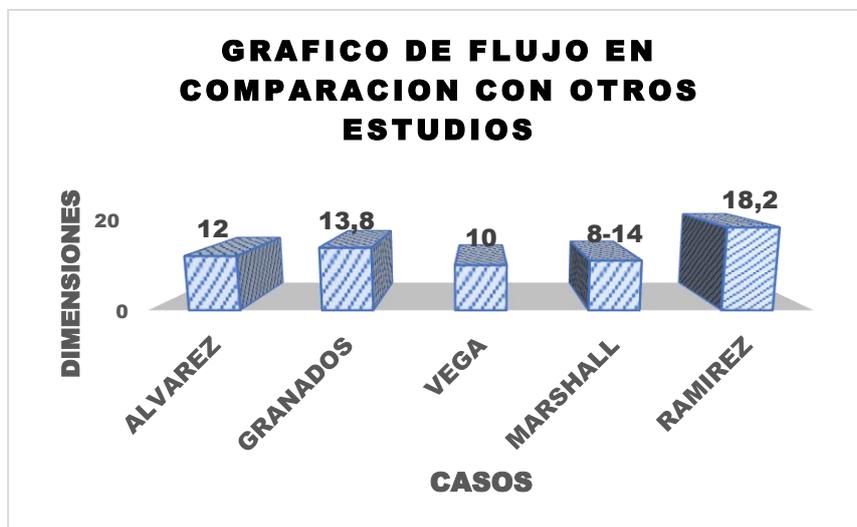
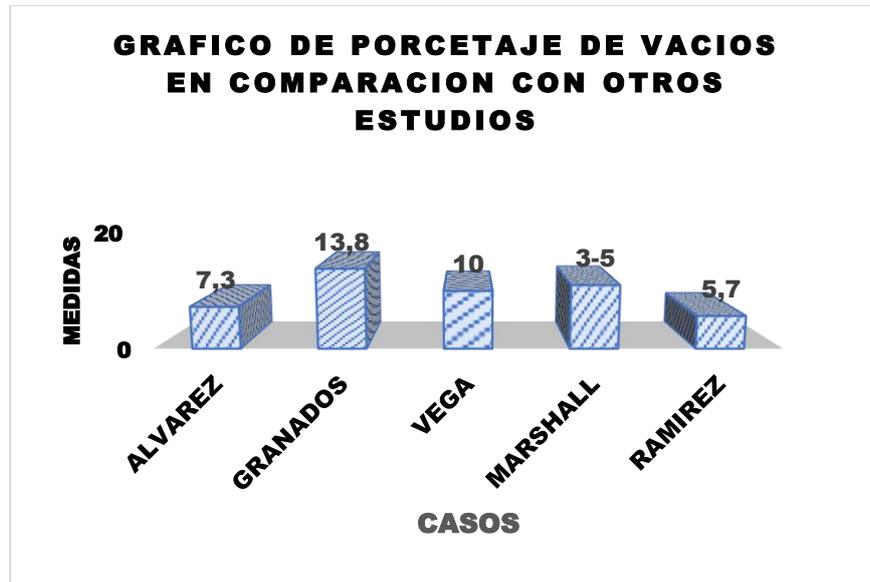


Figura 33. % Vacíos comparada con otros estudios



Se puede observar que comparando los resultados obtenidos por la presente investigación con los estándares marshal y con lo obtenido por otras investigaciones, no cumple con los estándares para ninguno de las variables estudiadas.

CONCLUSIONES

1. El uso del caucho molido procedente de llantas usadas no rejuvenece el material reciclado con mezcla asfáltica tibia, cuando se aplica 1%, 1.5% y 2% de caucho molido porque la estabilidad, el flujo y el porcentaje de vacíos al 2% de caucho molido no alcanzaron los estándares establecidos por los ensayos Marshall de la norma peruana MTC E 504 que son, 815, 8-14, y 3-5, en la pavimentación de la Avenida La Marina en Iquitos.
2. El uso de caucho molido procedente de llantas usadas no mejora la capacidad de resistir desplazamientos y deformaciones bajo cargas de tránsito de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, porque los valores promedio de la estabilidad alcanzados de 513, 648, y 375 con 1%, 1.5% y 2% de caucho molido respectivamente, no alcanzaron en ningún caso lo establecido en la norma peruana del ensayo Marshall, tal como se observa en la Figura N° 28 y Tabla 10.
3. El uso de caucho molido procedente de llantas usadas no permite obtener menor deformación del espécimen al punto de máxima carga de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, porque los valores promedio del flujo alcanzados de 15, 17.04, 18.03, con 1%, 1.5% y 2% de caucho molido respectivamente, están por encima del rango establecido en la norma peruana del ensayo Marshall, tal como se observa en la Figura 29 y Tabla 10.
4. El uso del caucho molido procedente de llantas usadas permite obtener el mejor porcentaje de vacíos de aire del concreto asfáltico reciclado con mezcla asfáltica tibia, porque los valores promedio del flujo alcanzados de 4.64 y 4.22, con 1% y 1.5 %, están dentro del rango establecido en la norma Peruana del ensayo Marshall, pero no así el que se aplicó al 2% de caucho molido con un valor de 5.70 está fuera del rango establecido en la norma peruana del ensayo Marshall, tal como se observa en la Figura 30 y Tabla 10.

RECOMENDACIONES

1. Las mezclas asfálticas es una parte de la estructura del pavimento flexible que deben ser ensayada, estudiada, evaluada de otras formas que no sean las convencionales que aun en nuestro país se vienen desarrollando, es importante la aplicación de nuevos métodos con la finalidad de saber sus características reológicas; la adición de caucho molido provenientes de neumáticos y aplicado a un material reciclado en mezclas asfáltica tibia no mejora las propiedades física y mecánico de la mezcla asfáltica, pero mejoraría su comportamiento mecánico en una mezclas asfáltica en caliente ya que otros estudios han demostrado mejores resultados, por lo que sería importante seguir investigando en mezcla asfáltica tibia con diferentes proporciones de aditivos que reduzcan la viscosidad del asfalto.
2. Los materiales reciclados de mezcla asfáltica requieren ser reutilizados y mejorar sus propiedades que han sufrido pérdida al ser sometidos a altas temperaturas en una mezcla convencional, además perdidas por desgastes por el tráfico y el medio ambiente que muchas veces son de altas temperaturas, por tanto, se requiere seguir investigando estos materiales con la finalidad de rejuvenecer sus propiedades físicas y mecánicas con otros tipos de mezclas asfálticas tibias.
3. Es importante promover la reutilización de materiales reciclados como es el caso de neumáticos y materiales de asfalto que muchas veces no son eliminados correctamente y que dañan e impactan en el medio ambiente; por tanto, sería importante que en las instituciones educativas de todo nivel se promueva investigaciones en la reutilización de materiales reciclados, tal como en la presente investigación se ha realizado.

REFERENCIAS

- Álvarez, L. y Carrera, E. (2017).** *Influencia de la Incorporación de Partículas de Caucho Reciclado Como Agregados en el Diseño de Mezcla Asfáltica.* Universidad Privada Antenor Orrego. Perú.
- https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/3595/1/REP_ING.CIVIL_LUIS.ALVAREZ_EVER.CARRERA_INFLUENCIA.INCORPORACION.PARTICULAS.CAUCHO.RECICLADO.AGREGADOS.DISEÑO.MEZCLA.ASFALTICA.pdf
- Aristizábal, L., Hoyos, J., Gil, L., Gómez, M. y Gómez, D. (2014).** *Diseño de un Pavimento Flexible por los Métodos Aastho y Racional.* Universidad Libre Facultad de Ingeniería Programa de Ingeniería Civil. Pereira Colombia.
- <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/16959/DISEÑO%20DE%20UN%20PAVIMENTO%20FLEXIBLE.pdf?sequence=1>
- Ayala, K. y Heredia, J. (2019)** *Mezclas Asfálticas Mejoradas con Caucho de Llantas Añadido por vía Seca.* Tesis. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Ecuador.
- <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/13840/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-317.pdf>.
- Blanco, F. y Montañez, J. (2016).** *Análisis del Comportamiento Físico – en Mezclas Asfálticas mdc-19 Modificado con Sodio y Glucosa.* Tesis. Universidad Católica de Colombia. Colombia.

<https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/14348/1/AN%C3%81LISIS%20DEL%20COMPORTAMIENTO%20F%C3%81SICO%20%E2%80%93%20EN%20MEZCLAS%20ASF%C3%81LTICAS%20MDC-19%20MODIFICADO%20CON%20SODIO%-20Y%20GLUCOSA.pdf>

Cabanillas, E. (2017). *Comportamiento Físico Mecánico del Concreto Hidráulico*

Adicionado con Caucho Reciclado. Tesis. universidad nacional de Cajamarca. Perú.

<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/unc/1029/tesis%20e%20%9c%20comportamiento%20f%20c%20sico%20mec%20c%20nico%20del%20concreto%20hidr%20c%20lulico%20adicionado%20con%20caucho%20reciclado%e2%80%9d.pdf?sequence=1&isallowed=y>

Campana K.; Galeas S.; Guerrero V. (2018). *Obtención de asfalto modificado con polvo*

de caucho proveniente del reciclaje de neumáticos de automotores. escuela

politécnica nacional, facultad de ingeniería mecánica, Quito Revista Politécnica - septiembre 2015, Vol. 36, No. 3 Ecuador. 2015.

https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/513

Casanova, W. (2017). *Determinación de una metodología para caracterizar asfaltos*

modificados con polímero usados en pavimentos flexibles. Tesis. Universidad

Autónoma de Querétaro. Méjico.

<http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1113>.

Castaneda, P; González, G. (1995-6) *Rejuvenecimiento de Asfaltos.* TRB Weekly. Decim

Decimo Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos. Universidad Del

Valle, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica de Sólidos. Colombia.

<https://trid.trb.org/view/991146>

Cervera, C (2018). *influencia en las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica incorporando caucho reciclado de neumáticos*, Cajamarca, 2016. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Privada del Norte. Perú.
<https://www.google.com/search?q=influencia+en+las+propiedades+mec%C3%A1nicas+de+una+mezcla+asf%C3%A1ltica+incorporando+caucho+reciclado+de+neum%C3%A1ticos%2C+Cajamarca>.

Chen, L. y Liyao M. (2018). *Determinación de la propiedad de adhesión de asfaltos modificados con distintos tipos de polímeros en diferentes agregados y acondicionamientos, utilizando las técnicas de ensayo de Adherencia de Bitumen y Goniometría*. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/10166>

Chumbes. y Yauri, W. (2018). *Diseño de Mezcla del Concreto para Elaboración de Adoquines con Material Reciclado de Neumáticos en la Provincia de Huancavelica*. Universidad Nacional de Huancavelica. Perú.
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/10166/1/44172.pdf>.

Díaz, C. y Castro, L. (2017). *Implementación del Grano de Caucho Reciclado (gcr) Proveniente de Llantas Usadas Para Mejorar las Mezclas Asfálticas y Garantizar Pavimentos Sostenibles en Bogotá*. Tesis Universidad Santo Tomás Ingeniería Civil.
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2633>

Dueñas, A. (2017). *Recopilación y análisis sobre el uso del grano de caucho modificado*

(gcm) para la utilización por vía seca en el diseño de carpetas asfálticas en Bogotá.

Universidad Santo Tomás facultad de ingeniería civil, división de ingenierías. Bogotá. Colombia.

<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2649>

Flores. (2018). *Efectos de la incorporación de caucho en granos en la carpeta asfáltica de la trocha carrozable Accopampa - Santa Ana, Lucanas, Ayacucho*, Tesis para título de Ingeniero. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo. Perú. Recuperado de. http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_86d5be8fcbc285dbf42c315fea5f2ee3/Details

Garnica, P., Horacio, H., Gómez, J. Alonso, S. y Alonso, H. (2004). *Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano del Transporte. <https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt246.pdf>.

Gonzales, (1993). *Marketing de reciclado*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid. España. <https://eprints.ucm.es/id/eprint/3469/1/T18981.pdf>

Granados, L (2017). *Comportamiento Mecánico de la Mezcla Asfáltica en Caliente Modificada con Caucho Mediante Proceso por Vía Seca Respecto a la Mezcla Asfáltica Convencional*. Tesis para optar el grado académico de Maestro en ingeniería vial con mención en carreteras, puentes y túneles. Universidad Ricardo Palma- escuela de posgrado maestría en ingeniería vial con mención en carreteras, puentes y túneles. Perú. recuperado de

Gualdrón Pernía, K. A. (2011). *Estudio de las características de los morteros con adiciones provenientes de neumáticos fuera de uso (NFUs)*. Tesis doctoral Universidad

Politécnica de Madrid. Recuperado de <https://oa.upm.es/cgi/export/10384/>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014) *Metodología de la Investigación*. Edit.

Mc Graw Hill. 6° edición. Méjico.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/3988/FIC-M-2021-0210.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Hoyos, L., Puicon, k. y Muñoz, S. (2021) *Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas:*

Una revisión literaria. Revista Infraestructura Vial / LanammeUCR

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/16263/Tesis%20Morante%20Gomez>

Maguiña, W. (2019) *Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para*

mejorar las Propiedades Mecánicas. Tesis para optar el grado de Maestro en

Ingeniería Vial con Mención en Carreteras, Puentes y Túneles. Universidad Ricardo

Palma. Perú.

Morante, L (2019). *Utilización de Gránulos de Caucho Triturado de Neumáticos Fuera de*

Uso en Mezclas Asfálticas en Frio con Emulsión y Material Fresado. Tesis para optar

el título de Ingeniero civil. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Recuperado de

Morante. (2019). *Utilización de gránulos de caucho triturado de neumáticos fuera de uso en*

mezclas asfálticas en frío con emulsión y material fresado. Tesis. Pontificia

Universidad Católica del Ecuador. Ecuador. Recuperado de

<http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/16263>.

Núñez, Y. (2018). *Propuesta de Rehabilitación de Pavimento de Concreto Utilizando*

Sobrecapas de Refuerzo en la Avenida Todos Los Santos de la ciudad de Chota. Tesis

para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad Nacional de Cajamarca.

Perú. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2541>

- Patiño, B., Reyes, O. y Camacho, T. (2015)** Comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas colombianas con adición de pavimento reciclado al 100%. *Tecnura*, vol. 19, núm. 43, enero-marzo, pp. 74-83 Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2570/257033592006.pdf>
- Rama, F. (2021).** Historia de los pavimentos urbanos. Artículos. Carreteras. Recuperado de http://www.franciscorama.com/docs/conservacion_historia.pdf
- Ramírez, J. (2021).** Evaluación de la resistencia a la fatiga en mezclas asfálticas tibias mediante la viga de flexión a cuatro puntos. Tesis que para obtener el grado de Maestro en Infraestructura del Transporte en la rama de las vías Terrestres. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Méjico. Recuperado de
- Resolución 6981 de 2011 – Aprovechamiento de Llantas y Neumáticos Usados y Llantas no Conforme.** Estrategia Ambiental S.A.S. Asesoría, Consultoría y Gestión de Proyectos en Ingeniería Ambiental. Recuperado de
- Rico, A., Telles, R., Garnica, P. (1998).** pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias. Instituto Mejicano del Transporte. Publicación técnica N^a 104. Méjico. Recuperado de
- Sánchez, H y Reyes, C. (2012)** Métodos y Diseños de. Investigación Científica. Edit. Universitaria. Lima - Perú.
- Universidad Mayor de San Simón. (S/f) Manual completo – Diseño de pavimentos”** propio de la Facultad de Ciencias y Tecnología, Cochabamba – Bolivia. Recuperado de:
- Valdés V, Gonzalo A, Pérez-Jiménez, Félix E, & Botella N, Ramón. (2013).** *Nuevo procedimiento para evaluar el comportamiento a fatiga en pavimentos asfálticos a través del ensayo Fénix. Ingiare. Revista chilena de ingeniería, 21(3), 362-371.* Recuperado de <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052013000300006>

Vega, D. (2018). *Diseño de los Pavimentos de la Carretera de Acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000).* Tesis. Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12088>

Vega, D. (2016). *Análisis del Comportamiento a Compresión de Asfalto Conformado por Caucho Reciclado de Llantas Como Material Constitutivo del Pavimento Asfáltico.* Universidad Técnica de Ambato. Ecuador.

https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25264/1/_Tesis%201113%20-%20Vega%20Zurita%20Danilo%20Sebastián.pdf

Zúñiga, R. (2015). *Mezcla Asfáltica en caliente.* LABORATORIO NACIONAL DE VIALIDAD. Junio. Recuperado de <https://docplayer.es/43417282-Laboratorio-nacional-de-vialidad-controles-y-muestreo-de-mezcla-asfaltica-en-caliente.html>

ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADOR V.I	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR V.D.
¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas mejora en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, en la pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos - Loreto?	Determinar un diseño con caucho molido procedente de llantas usadas para el rejuvenecimiento de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia según la EG-2013, ASTM D-1559 y MARSHAL AASHTO T-245, en la avenida la marina de la ciudad de Iquitos.	El uso del caucho molido procedente de llantas usadas de mototaxis en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, influye significativamente en las propiedades del concreto caso: pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos - Loreto	Caucho Molido	Porcentaje de caucho molido	Rejuvenecimiento del asfalto	Estabilidad Flujo Porcentaje de vacíos

Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas
<p>1. ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas incrementa la estabilidad del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?</p> <p>2. ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas disminuye el flujo del concreto cuando se usa en el</p>	<p>- Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener la capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia.</p>	<p>1. El uso del caucho molido procedente de llantas usadas de mototaxis influye significativamente la estabilidad del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, caso: pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos – Loreto.</p>

<p>rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?</p> <p>3. ¿De qué manera el uso del caucho molido procedente de llantas usadas disminuye el porcentaje de vacíos del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia?</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener la menor deformación del espécimen al punto de máxima carga de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia, con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia. - Determinar el porcentaje de caucho molido procedente de llantas usadas para obtener el menor porcentaje de vacíos de aire de un concreto asfáltico reciclado en una mezcla asfáltica tibia con granulometría de tamaño máximo nominal de 1", con 5.60% de cemento asfáltico y 110 °C de temperatura para una mezcla tibia. 	<p>2. El uso del caucho molido procedente de llantas usadas de mototaxis influye significativamente en el flujo del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, caso: pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos – Loreto</p> <p>3. El uso del caucho molido procedente de llantas usadas de mototaxis influye significativamente en el porcentaje de vacíos del concreto cuando se usa en el rejuvenecimiento de material reciclado con mezcla asfáltica tibia, caso: pavimentación de la avenida la marina de la ciudad de Iquitos – Loreto.</p>
---	---	---

ANEXO 2: Resultados marshall al 1% de caucho molido

ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559																			
REALIZADO POR:	JULIO E. RAMIREZ RAMREZ							MUESTRA:	N° 0001										
FECHA DE MUESTREO:	10/12/2021							MATERIAL:	Asfalto Tibia										
HORA DE MUESTREO:								CANTERA:	PAPAPLAYA - SAN MARTIN										
FECHA DE ENSAYO:	10/12/2021							UBICACIÓN:	LABORATORIO SUELOS Y PAVIMENTOS										
								MUESTREO:											
MALLA :	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 100	N° 200										
Huso G :ASTM-3515-D	100	100		56-80	35-65	23-4	5.19	---	2-8										
MUESTRA :	100	99.1		69.3	56.2	41.6	13.9	---	4.5										
N° BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	PROMEDIO		
PORCENTAJE DE GRAVA TRITURADA	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40		
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00		
PORCENTAJE DE FILLER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
1) C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60		
2) AGREG. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13		
3) AGREG. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98		
4) % DE CAUCHO EN PESO DE LA MEZCLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
% DE ACEITE DE PALMA EN PESO DE LA MEZCLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
5) PESO ESPECIFICO DEL C.A	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110		
6) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. GRUESO	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604		
7) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. FINO	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596		
8) PESO ESPECIFICO DEL FILLER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9) ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA																			
10) PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	1236.5	1235.9	1236.0	1235.8	1236.1	1236.4	1235.9	1236.0	1236.3	1235.7	1236.1	1235.9	1235.8	1236.5	1236.2	1235.9			
11) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AIRE	1238.4	1236.8	1237.2	1237.5	1236.9	1238.1	1236.8	1237.6	1237.4	1237.1	1238.3	1236.9	1237.2	1237.6	1237.0	1238.0			
12) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AGUA	688.0	685.6	686.3	687.2	687.6	685.9	688.1	687.4	685.8	686.2	687.3	686.6	688.1	687.5	686.7	687.8			
13) VOLUMEN DE LA BRIQ. MAS PARAF. (11-12)	550.4	551.2	550.9	550.3	549.3	552.2	548.7	550.2	551.6	550.9	551.0	550.3	549.1	550.1	550.3	550.2			
14) PESO DE LA PARAFINA (11-10)																			
15) VOLUMEN PARAFINA 14/P.E DE LA PARAF.																			
16) VOLUMEN BRIQ. POR DESPLAZAMIENTO (13-15)	550.4	551.2	550.9	550.3	549.3	552.2	548.7	550.2	551.6	550.9	551.0	550.3	549.1	550.1	550.3	550.2			
17) VOLUMEN GEOMETRICO (9 x 81.07)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
18) VOLUMEN APOPTADO	550.4	551.2	550.9	550.3	549.3	552.2	548.7	550.2	551.6	550.9	551.0	550.3	549.1	550.1	550.3	550.2			
19) PESO UNITARIO (10 : 18)	2.247	2.242	2.244	2.246	2.250	2.239	2.252	2.246	2.241	2.243	2.243	2.246	2.251	2.248	2.246	2.246			
20) MAX. DENS. TEOR. (RICE)	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355	2.355			
21) % VACIOS = 100 (20-19)/20	4.61	4.79	4.73	4.64	4.45	4.92	4.36	4.61	4.83	4.75	4.74	4.63	4.43	4.55	4.61	4.62	4.64		
22) ESTABILIDAD SIN CORREGIR	518	478	540	529	485	535	524	536	517	483	479	539	533	477	536	499			
23) FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
24) ESTABILIDAD CORREGIDA (22 x 23) kg	518	478	540	529	485	535	524	536	517	483	479	539	533	477	536	499	513		
25) FLUJO	15.1	14.9	15.2	15.1	14.8	15.3	14.9	15.0	15.1	14.9	15.2	15.3	14.9	15.2	14.1	15.0			
26) L = 19 (100-1/100) DENSIDAD AP. ARIDOS	2.121	2.117	2.118	2.120	2.124	2.114	2.126	2.121	2.116	2.117	2.118	2.120	2.125	2.122	2.121	2.120			
27) DI-2 + 3 + 4 (PESP. PROM. ARIDOS)																			
2/6 + 3/7 + 4/8	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56	2.56			
28) V.M.A. = 100 (27-26)/27	17.01	17.17	17.12	17.05	16.87	17.29	16.80	17.02	17.21	17.14	17.13	17.04	16.86	16.97	17.02	17.02			
29) VACIOS LLENADOS C.A. 1 x 19 x 100	72.93	72.11	72.37	72.77	73.66	74.07	72.92	71.94	72.33	72.80	73.71	73.17	72.91	72.88	72.88	72.88			
30) FLUENCIA (mm)	3.84	3.78	3.86	3.84	3.81	3.76	3.89	3.78	3.81	3.84	3.78	3.86	3.89	3.78	3.86	3.58			
31) ESTABILIDAD - FLUJO (24 /30)*10	1350	1264	1399	1378	1273	1423	1348	1416	1357	1259	1266	1396	1372	1260	1388	1393			

ANEXO 3: Resultados marshall al 1.5% de caucho molido

ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559																				
REALIZADO POR:	JULIO E RAMIREZ RAMIREZ				MUESTRA:	N° 0001														
FECHA DE MUESTREO:	10/12/2021				MATERIAL:	Asfalto Tibia														
HORA DE MUESTREO:					CANTERA:	PAPAFLAYA - SAN MARTIN														
FECHA DE ENSAYO:	10/12/2021				UBICACIÓN:	LABORATORIO SUELOS Y PAVIMENTOS														
MUESTRA:					MUESTREO:															
MALLA :	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 100	N° 200											
Huso G :ASTM-3515-D	100	100		56-80	35-65	23-4	5-19		---	2-8										
MUESTRA :	100	99.1		69.3	56.2	41.6	13.9		---	4.5										
N° BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	PROMEDIO			
PORCENTAJE DE GRAVA TRITURADA	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40			
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00			
PORCENTAJE DE FILLER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
1) C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60			
2) AGREG. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13			
3) AGREG. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98			
4) % DE CAUCHO EN PESO DE LA MEZCLA	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50			
% DE ACEITE DE PALMA EN PESO DE LA MEZCLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
5) PESO ESPECIFICO DEL C.A	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110			
6) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. GRUESO	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604			
7) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. FINO	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596			
8) PESO ESPECIFICO DEL FILLER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
9) ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA																				
10) PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	1240.1	1241.5	1240.2	1240.7	1241.2	1240.5	1241.1	1240.9	1240.7	1241.2	1240.3	1240.8	1241.4	1240.3	1241.5	1241.0				
11) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AIRE	1243.8	1242.5	1242.8	1242.3	1243.5	1242.8	1242.5	1243.2	1242.5	1243.4	1243.7	1242.5	1242.9	1243.5	1242.8	1243.2				
12) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AGUA	680.8	681.2	682.4	681.0	680.9	684.3	684.7	685.5	686.3	686.7	687.5	688.3	688.7	689.5	690.3	690.7				
13) VOLUMEN DE LA BRIQ. MAS PARAF. (11-12)	563.0	561.3	560.4	561.3	562.6	558.5	557.8	557.7	556.2	556.7	556.2	554.2	554.2	554.0	552.5	552.5				
14) PESO DE LA PARAFINA (11-10)																				
15) VOLUMEN PARAFINA 14/P.E DE LA PARAF.																				
16) VOLUMEN BRIQ. POR DESPLAZAMIENTO (13-15)	563.0	561.3	560.4	561.3	562.6	558.5	557.8	557.7	556.2	556.7	556.2	554.2	554.2	554.0	552.5	552.5				
17) VOLUMEN GEOMETRICO (9 x 81.07)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				
18) VOLUMEN APOYADO	563.0	561.3	560.4	561.3	562.6	558.5	557.8	557.7	556.2	556.7	556.2	554.2	554.2	554.0	552.5	552.5				
19) PESO UNITARIO (10 : 18)	2.203	2.212	2.213	2.210	2.206	2.221	2.225	2.225	2.231	2.229	2.230	2.239	2.240	2.239	2.247	2.246				
20) MAX. DENS. TEOR. (RICE)	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324	2.324				
21) % VACIOS = 100 (20-19)/ 20	5.22	4.83	4.77	4.89	5.07	4.43	4.27	4.27	4.02	4.07	4.05	3.67	3.62	3.67	3.32	3.36	4.22			
22) ESTABILIDAD SIN CORREGIR	529	703	684	699	699	695	560	595	610	650	630	585	640	695	700	699				
23) FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00				
24) ESTABILIDAD CORREGIDA (22 x 23) kg	529	703	684	699	699	695	560	595	610	650	630	585	640	695	700	699	648			
25) FLUJO	16.9	16.8	17.2	17.1	17.0	17.1	16.9	17.2	17.3	17.1	17.0	16.9	17.2	17.1	17.0	16.9	17.0			
26) L = 19 (100-1/100) DENSIDAD AP. ARIDOS	2.079	2.088	2.089	2.087	2.083	2.097	2.100	2.100	2.106	2.105	2.105	2.113	2.114	2.113	2.121	2.120				
27) DI- 2 + 3 + 4 (PESP. PROM. ARIDOS) 2/6 + 3/7 + 4/8	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53				
28) V.M.A. = 100 (27-26)/27	17.94	17.60	17.55	17.65	17.81	17.25	17.11	17.11	17.11	16.90	16.94	16.92	16.59	16.60	16.29	16.32				
29) VACIOS LLENADOS C.A. 1 x 19 x 100 VMA	70.89	72.57	72.80	72.31	71.53	74.31	75.07	75.06	76.20	75.98	76.06	77.90	78.12	77.88	79.64	79.44				
30) FLUENCIA (mm)	4.29	4.27	4.37	4.34	4.32	4.34	4.29	4.37	4.39	4.34	4.32	4.29	4.32	4.34	4.32	4.29				
31) ESTABILIDAD - FLUJO (24 /30)*10	1232	1647	1566	1609	1619	1600	1305	1362	1388	1497	1459	1363	1465	1600	1621	1628				

ANEXO 4: Resultados marshall al 2% de caucho molido

ENSAYO MARSHALL ASTM D 1559																			
REALIZADO POR:	JULIO E. RAMIREZ RAMIREZ				MUESTRA:	N° 0001													
FECHA DE MUESTREO:	10/12/2021				MATERIAL:	Asfalto Tibia													
HORA DE MUESTREO:					CANTERA:	PAPAPLAYA - SAN MARTIN													
FECHA DE ENSAYO:	10/12/2021				UBICACIÓN:	LABORATORIO SUELOS Y PAVIMENTOS													
MUESTRA:					MUESTREO:														
MALLA :	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N° 4	N° 8	N° 50	N° 100	N° 200										
Huso G :ASTM-3515-D	100	100		56-80	55-65	23-4	5-19	---	2-8										
MUESTRA :	100	99.1		69.3	56.2	41.6	13.9	---	4.5										
N° BRIQUETAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	PROMEDIO		
PORCENTAJE DE GRAVA TRITURADA	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40	58.40		
PORCENTAJE DE AGREGADO FINO	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00	36.00		
PORCENTAJE DE FILLER	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
1) C.A EN PESO DE LA MEZCLA	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60	5.60		
2) AGREG. GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	55.13	0.00		
3) AGREG. FINO EN PESO DE LA MEZCLA	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	33.98	0.00		
4) % DE CAUCHO EN PESO DE LA MEZCLA	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00		
% DE ACEITE DE PALMA EN PESO DE LA MEZCLA	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
5) PESO ESPECIFICO DEL C.A	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110	1.0110		
6) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. GRUESO	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604	2.604		
7) PESO ESPECIFICO DEL AGREG. FINO	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596	2.596		
8) PESO ESPECIFICO DEL FILLER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
9) ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA																			
10) PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	1241.2	1236.9	1239.9	1238.4	1237.7	1238.9	1239.7	1240.8	1240.1	1238.5	1237.5	1239.2	1237.6	1238.1	1239.3	1240.1			
11) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AIRE	1243.7	1239.7	1242.1	1240.8	1239.8	1241.9	1241.5	1243.2	1242.0	1239.8	1243.5	1241.7	1239.9	1241.1	1240.3	1243.2			
12) PESO DE LA BRIQ. MAS PARAFINA AL AGUA	669.1	664.9	665.8	666.5	665.5	667.4	668.1	665.1	667.8	665.8	667.6	668.7	669.1	667.7	666.9	665.9			
13) VOLUMEN DE LA BRIQ. MAS PARAF. (11-12)	574.6	574.8	576.3	574.3	574.3	574.5	573.4	578.1	574.2	574.0	575.9	573.0	570.8	573.4	573.4	577.3			
14) PESO DE LA PARAFINA (11-10)																			
15) VOLUMEN PARAFINA 14/P.E DE LA PARAF.																			
16) VOLUMEN BRIQ. POR DESPLAZAMIENTO (13-15)	574.6	574.8	576.3	574.3	574.3	574.5	573.4	578.1	574.2	574.0	575.9	573.0	570.8	573.4	573.4	577.3			
17) VOLUMEN GEOMETRICO (9 x 81.07)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
18) VOLUMEN APOPTADO	574.6	574.8	576.3	574.3	574.3	574.5	573.4	578.1	574.2	574.0	575.9	573.0	570.8	573.4	573.4	577.3			
19) PESO UNITARIO (10 : 18)	2.160	2.152	2.151	2.156	2.155	2.156	2.162	2.146	2.160	2.158	2.149	2.163	2.168	2.159	2.161	2.148			
20) MAX. DENS. TEOR. (RICE)	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287	2.287			
21) % VACIOS = 100 (20-19)/ 20	5.55	5.91	5.93	5.71	5.77	5.71	5.46	6.15	5.57	5.66	6.04	5.44	5.20	5.59	5.50	6.07	5.70		
22) ESTABILIDAD SIN CORREGIR	422	318	400	364	353	398	350	370	410	409	345	333	375	398	406	358			
23) FACTOR DE ESTABILIDAD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
24) ESTABILIDAD CORREGIDA (22 x 23) kg	422	318	400	364	353	398	350	370	410	409	345	333	375	398	406	358	376		
25) FLUJO	18.3	17.9	18.1	17.8	18.0	18.2	17.9	18.2	18.1	18.2	18.1	18.0	17.9	18.2	18.0	17.8	18.0		
26) L = 19 (100-1/100) DENSIDAD AP. ARIDOS	2.039	2.031	2.031	2.036	2.034	2.036	2.041	2.026	2.039	2.037	2.028	2.042	2.047	2.038	2.040	2.028			
27) DI = 2 + 3 + 4 (P.ESP. PROM. ARIDOS)																			
2/6 + 3/7 + 4/8	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	2.51	1.00		
28) V.M.A. = 100 (27-26)/27	18.84	19.15	19.17	18.99	19.03	18.98	18.77	19.36	18.86	18.94	19.27	18.75	18.54	18.88	18.80	-102.78			
29) VACIOS LLENADOS C.A 1 x 19 x 100	70.56	69.15	69.09	69.71	69.93	70.89	68.23	70.49	68.64	71.00	68.64	71.00	70.49	70.77	70.77	105.91			
30) FLUENCIA (mm)	4.65	4.55	4.60	4.52	4.57	4.60	4.62	4.55	4.62	4.55	4.62	4.55	4.62	4.55	4.62	4.52			
31) ESTABILIDAD - FLUJO (24/30)*10	907	700	870	805	772	866	757	814	902	885	750	728	825	861	888	792			

ANEXO 5: Resultados ensayo RICE al 1%, 1.5% y 2% de caucho molido

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA RICE

MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

REALIZADO POR:	:	Tec. Juan Florez	MUESTRA:	N° 0001
FECHA DE MUESTREO:	:	15/09/2021	MATERIAL:	Mezcla Asfáltica en caliente
HORA DE MUESTREO	:		CANTERAS:	PAPAPLAYA - PERU
FECHA DE ENSAYO:	:	15/09/2021	UBICACIÓN:	Acopio Planta
			MUESTREO:	Tec. Juan Florez

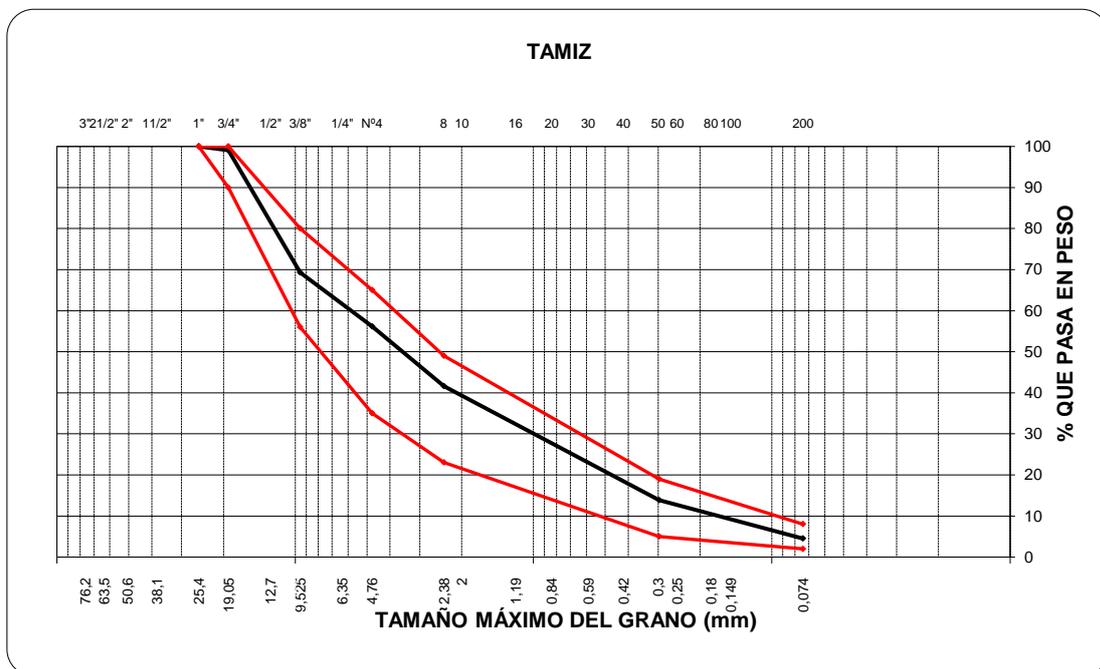
MEZCLA ASFÁLTICA

ENSAYO	Nº	1	2	3		
Cemento Asfáltico	%	1.00	1.50	2.00		
Peso del material	gr	1235.9	1221.5	1206.5		
Peso del agua + frasco Rice	gr	8113.0	8113.0	8113.0		
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	9348.9	9334.5	9319.5		
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8824.0	8809.0	8792.0		
Volumen del material	cc	524.9	525.5	527.5		
Peso Específico Máximo	gr/cc	2.355	2.324	2.287		

ANEXO 6: Resultados lavado de material reciclado muestra 1

EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS											
MTC E-502 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164 MTC E-503 ASTM D-546 AASHTO T-30											
REALIZADO POR:	Julio Enrique Ramirez Ramirez							MUESTRA:	M-1		
FECHA DE MUESTREO:	28/09/2021							MATERIAL:	Mezcla Asfáltica en Caliente		
HORA DE MUESTREO:								CANTERA:	PAPAPLAYA - PERU		
FECHA DE ENSAYO:	28/09/2021							UBICACIÓN:	Acopio Planta		
								MUESTREADO POR:	Tec. Juan Florez		

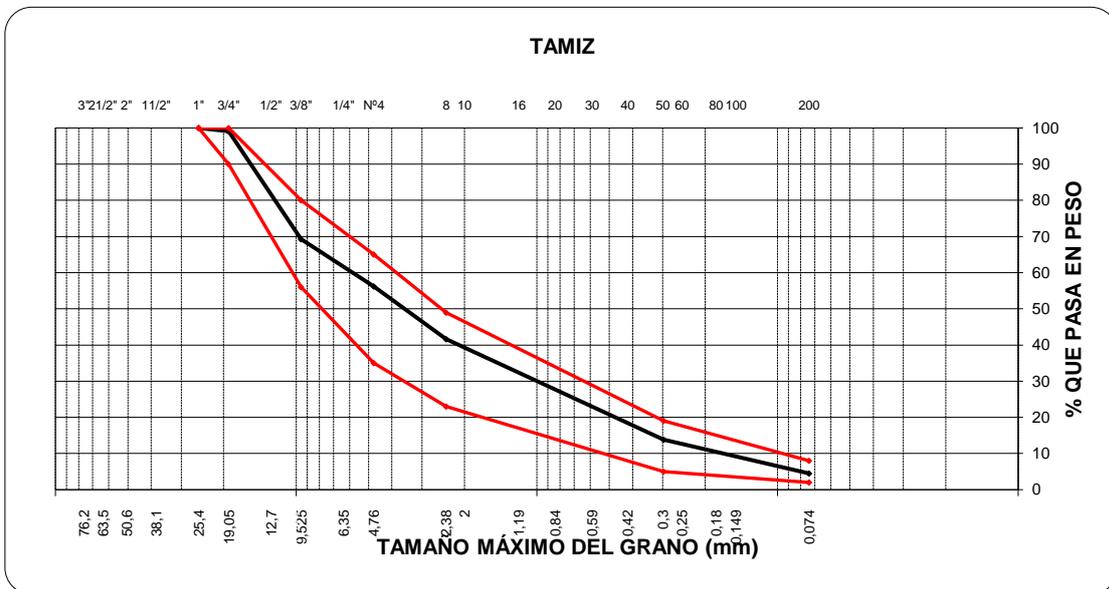
Malla Tamiz	Abert. mm.	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% Que Pasa	Especificación		Descripción de la Muestra		
						ASTM 3515 D-4 Max. Nominal 1"	MTC			
2"	50.800								Peso de la Mat. Sin Lavar	1152.6
1 1/2"	38.100								Peso de la Mat. Lavado	1088.1
T	25.400				100.0	100	100	100 - 100		
3/4"	19.050	10.0	0.9	0.9	99.1	90	100	80 - 100		
1/2"	12.700	198.3	18.2	19.1	80.9			67 - 85	Grava Chancada	% 58.37
3/8"	9.525	125.8	11.6	30.7	69.3	56	80	60 - 77	Arena	% 36.04
1/4"	6.350									
4	4.760	142.9	13.1	43.8	56.2	35	65	43 - 54		
8	2.380	158.1	14.5	58.4	41.6	23	49			
10	2.000							29 - 45		
16	1.190								Peso inicial del filtro	12.5
20	0.840								Peso final del filtro	13.6
30	0.590								Peso del filler en filtro	1.1
40	0.420							14 - 25	Peso del asfalto	64.5
50	0.297	302.0	27.8	86.1	13.9	5	19		Contenido de asfalto	5.60
60	0.256								Relación Polvo - Asfaltc	0.80
80	0.180							8 - 17		
100	0.149									
200	0.074	102.0	9.4	95.5	4.5	2	8	4 - 8	Relacion Polvo - Asfalto	0.6 - 1.3 Especificacion
<200	-	49.0	4.5	100.0						



ANEXO 7: Resultados lavado de material reciclado muestra 2

EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS									
MTC E-502 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164 MTC E-503 ASTM D-546 AASHTO T-30									
REALIZADO POR:	Julio Enrique Ramirez Ramirez				MUESTRA:	M-2			
FECHA DE MUESTREO:	28/09/2021				MATERIAL:	Mezcla Asfáltica en Caliente			
HORA DE MUESTREO:					CANTERA:	PAPAPLAYA - PERU			
FECHA DE ENSAYO:	28/09/2021				UBICACIÓN:	Acopio Planta			
					MUESTREADO POR:	Tec. Juan Florez			

Malla Tamiz	Abert. mm.	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% Que Pasa	Especificación			Descripción de la Muestra
						ASTM 3515 D-4	MTC		
						Max. Nominal 1"		MAC-1	
2"	50.800								Peso de la Mat. Sin Lavar 1150.0
1 1/2"	38.100								Peso de la Mat. Lavado 1085.8
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	100 - 100	
3/4"	9.050	9.2	0.8	0.8	99.2	90	100	80 - 100	
1/2"	12.700	200.1	18.4	19.3	80.7			67 - 85	Grava Chancada % 58.33
3/8"	9.525	122.8	11.3	30.6	69.4	56	80	60 - 77	Arena % 36.09
1/4"	6.350								
4	4.760	140.9	13.0	43.6	56.4	35	65	43 - 54	
8	2.380	160.3	14.8	58.3	41.7	23	49		
10	2.000							29 - 45	
16	1.190								Peso inicial del filtro 12.8
20	0.840								Peso final del filtro 14.6
30	0.590								Peso del filler en filtro 1.8
40	0.420							14 - 25	Peso del asfalto 64.2
50	0.297	300.1	27.6	86.0	14.0	5	19		Contenido de asfalto 5.58
60	0.256								Relación Polvo - Asfaltc 0.86
80	0.180							8 - 17	
100	0.149								
200	0.074	100.0	9.2	95.2	4.8	2	8	4 - 8	Relacion Polvo - Asfalto 0.6 - 1.3 Especificacion
<200	-	52.4	4.8	100.0					



ANEXO 8: Resultados lavado de material reciclado muestra 3

EXTRACCION CUANTITATIVA DE ASFALTO EN MEZCLAS PARA PAVIMENTOS									
MTC E-502 - ASTM D-2172 - AASHTO T-164 MTC E-503 ASTM D-546 AASHTO T-30									
REALIZADO POR:	Julio Enrique Ramirez Ramirez				MUESTRA:	M-3			
FECHA DE MUESTREO:	28/09/2021				MATERIAL:	Mezcla Asfáltica en Caliente			
HORA DE MUESTREO:					CANTERA:	PAPAPLAYA - PERU			
FECHA DE ENSAYO:	28/09/2021				UBICACIÓN:	Acopio Planta			
					MUESTREO POR:	Tec. Juan Florez			

Malla Tamiz	Abert. mm.	Peso (gr)	% Ret Parcial	% Ret Acum.	% Que Pasa	Especificación			Descripción de la Muestra
						ASTM 3515 D-4 M ax. Nominal 1"	MTC	M A C-1	
2"	50.800								Peso de la Mat. Sin Lavar 1159.6
1 1/2"	38.100								Peso de la Mat. Lavado 1096.2
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100	100 - 100	
3/4"	19.050	11.5	1.0	1.0	99.0	90	100	80 - 100	
1/2"	12.700	196.8	18.0	19.0	81.0	67	85	67 - 85	Grava Chancada % 58.54
3/8"	9.525	125.5	11.4	30.5	69.5	56	80	60 - 77	Arena % 35.99
1/4"	6.350								
4	4.760	142.6	13.0	43.5	56.5	35	65	43 - 54	
8	2.380	165.3	15.1	58.5	41.5	23	49		
10	2.000							29 - 45	
16	1.190								Peso inicial del filtro 12.4
20	0.840								Peso final del filtro 13.6
30	0.590								Peso del filler en filtro 1.2
40	0.420							14 - 25	Peso del asfalto 63.4
50	0.297	298.8	27.3	85.8	14.2	5	19		Contenido de asfalto 5.47
60	0.256								Relación Polvo - Asfaltc 0.85
80	0.180							8 - 17	
100	0.149								
200	0.074	105.0	9.6	95.4	4.6	2	8	4 - 8	Relacion Polvo - Asfalto 0.6 - 1.3 Especificacion
<200	-	50.7	4.6	100.0					

