



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Diseño de mezcla asfáltica incorporando grano de caucho para mejorar propiedades  
mecánicas, método vía seca en la avenida Polonia 2019.**

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

Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Condori Tello, Edwin Santiago (ORCID: 0000-0002-3059-9240)

Lonazco Mendoza, Edwin Pasarela (ORCID: 0000-0002-0600-8615)

**ASESORA:**

Dra. María Ysabel García Álvarez (ORCID: 0000-0001-8529-878X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de infraestructura vial  
LIMA – PERÚ  
2019

## **DEDICATORIA**

Dedicamos esta investigación a nuestros queridos padres quienes siempre nos apoyaron moralmente desde el inicio de nuestra carrera; a nuestros hermanos quienes nos guiaron y alentaron para jamás desistir; a nuestras esposas e hijos quienes nos inspiran para seguir adelante con nuestras metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a la Dra. María Ysabel García, por ser una docente dedicada y ejemplar, quien siempre nos ha sabido guiar en nuestro trabajo de investigación, gracias a su conocimiento en la materia nos ha sabido conducir en cada etapa del proyecto.

Un agradecimiento a los ingenieros de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles Dirección de Estudios Especiales del MTC, gracias a sus aportes, consejos y recomendaciones hemos podido llevar exitosamente los ensayos en el laboratorio.

## **PÁGINA DEL JURADO**

## **PÁGINA DEL JURADO**



## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Condori Tello Edwin Santiago y Lonazco Mendoza Edwin Pasarela, estudiantes de la facultad de Ingeniería y Arquitectura; y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad César Vallejo Sede Lima Este, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a la Tesis: **"Diseño de mezcla asfáltica incorporando grano de caucho para mejorar propiedades mecánicas, método vía seca en la avenida Polonia 2019"**.

Es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, no duplicados, ni copiados.
- 5.

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

Apellidos y Nombres del Autor CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO	
DNI: 44388044	Firma 
ORCID: 0000-0002-3059-9240	
Apellidos y Nombres del Autor LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA	
DNI: 41647893	Firma 
ORCID: 0000-0002-06008615	

## PRESENTACIÓN

Señores Miembros del jurado:

De conformidad y en cumplimiento de los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo. es grato poner a vuestra consideración, el presente trabajo de investigación titulado: **"Diseño de mezcla asfáltica incorporando grano de caucho para mejorar propiedades mecánicas, método vía seca en la avenida Polonia 2019"**.

Con el propósito de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado considerando los lineamientos de las bases teóricas de diferentes literaturas, como: Pavimentos asfálticos de carreteras, materiales construcción y diseño de pavimentos, ingeniería de pavimentos, diseño racional de pavimentos, tecnologías del asfalto, características de los pavimentos, entre otros textos, agregado a eso la experiencia curricular acumulada durante la formación profesional en la universidad, además de las consultas de fuentes bibliográficas especializadas, indagaciones de artículos científicos, dirección y asesoría de los docentes especialistas en el tema.

Lima, 12 de Julio 2019



Edwin Santiago Condori Tello

DNI N° 44388044



Edwin Pasarela Lonazco Mendoza

DNI N° 41647893

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
PÁGINA DEL JURADO .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD.....	vi
PRESNETACIÓN .....	vii
ÍNDICE.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT .....	xv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MÉTODO .....	38
2.1 Método: Científico.....	39
2.2 Tipo: Aplicada .....	39
2.3 Nivel: Descriptivo – Correlacional .....	39
2.4 Diseño: Experimental .....	40
2.5 Operacionalización de variables. ....	40
2.5.1 Identificación de Variables.....	40
2.5.2 Operacionalización de Variables.....	40
2.5.3 Matriz de Operacionalización de Variables. ....	41
2.5.4 Matriz de Consistencia. ....	43
2.6 Población, Muestra . ....	44
2.7 Técnicas e instrumentos de recolección de datos, confiabilidad y validez.....	45
2.8 Método de análisis de datos. ....	46
2.9 Aspectos Éticos.....	47
III. RESULTADOS .....	48
3.1 Análisis de los Resultados. ....	49
3.2 Estudios de Suelo.....	50
3.3 Materiales.....	51
3.3.1 Cemento asfáltico.....	51



3.4 Agregados .....	53
3.5 Diseño de mezcla asfáltica convencional. ....	59
3.5.1 Ensayo Maeshall. ....	59
3.5.2 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho mediante proceso por vía seca.....	64
3.5.3 Porcentaje óptimo de Asfalto y Caucho.....	69
3.6 Contrastación de la hipótesis. ....	84
3.6.1 Contrastación de hipótesis específicas.....	85
IV. CONCLUSIONES .....	102
4.1 Conclusiones.....	103
4.1.1 Conclusión general.....	103
4.1.2 Conclusiones específicas .....	103
V. RECOMENDACIONES .....	105
5.1 Recomendaciones. ....	106
REFERENCIAS .....	107
ANEXOS .....	113
Anexo 1: Muestras de agregado de la zona a intervenir .....	113
Anexo 2: Fabricación de ligantes y mezclas con polvo de caucho .....	114
Anexo 3: Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles .....	115
Anexo 4: Ensayo de partículas con caras de fractura .....	116
Anexo 5: Durabilidad de los agregados por medio de SO <sub>4</sub> Mg .....	117
Anexo 6: Equivalente de arena de suelos y agregado fino .....	118
Anexo 7: Análisis granulométrico por tamizado .....	119
Anexo 8: Análisis granulométrico mezcla de agregados.....	120
Anexo 9: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino .....	121
Anexo 10: Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso .....	122
Anexo 11: Ensayo de adherencia (arena) riedel y weber con aditivo MTC E-220-2000 (5-10).....	123

Anexo 12: Ensayo de adherencia (arena) riedel y weber sin aditivo MTC E-220-2000 (0-10)	124
.....	
Anexo 13: Ensayo Marshall de mezcla asfáltica con 0.5% de caucho.....	125
Anexo 14: Ensayo Marshall de mezcla asfáltica con 1.0 % de caucho.....	126
Anexo 15: Ensayo Marshall de mezcla asfáltica convencional.....	127
Anexo 16: Acta de aprobación de originalidad de tesis .....	128
Anexo 17: Revisión Turnitin 22% fecha 07.09.2020 10:45am .....	129
Anexo 18: Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV de Condori Tello Edwin Santiago .....	130
Anexo 19: Autorización de publicación de tesis en repositorio institucional UCV de Lonazco Mendoza Edwin Pasarela.....	131
Anexo 20: Autorización de la versión final del trabajo de investigación.....	132

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales Características de GCR.....	12
Tabla 2 Número de muestras para los ensayos de caracterización.....	45
Tabla 3 Porcentaje de combinación de agregados.....	57
Tabla 4 Características físicas del agregado grueso.....	58
Tabla 5 Características físicas del agregado fino.....	59
Tabla 6 Resultado del diseño Marshall de la mezcla convencional.....	60
Tabla 7 Requerimientos EG-2013 de la mezcla asfáltica convencional.....	63
Tabla 8 Grano de caucho suministrado por Caucho Perú.....	65
Tabla 9 Resultados de densidad para mezclas con temperatura de digestión.....	69
Tabla 10 Resultados de estabilidad para mezcla con temperatura de digestión.....	71
Tabla 11 Resultados del flujo para mezcla con temperatura de digestión.....	73
Tabla 12 Resultados de vacíos para mezcla con temperatura de digestión.....	75
Tabla 13 Resultados de vacíos en el agregado mineral para mezcla.....	77
Tabla 14 Resultados de vacíos llenos de asfalto para mezcla con temperatura.....	79
Tabla 15 Rango del cemento asfáltico para evaluar el porcentaje de caucho.....	81
Tabla 16 Resultados de ensayo Marshall.....	84
Tabla 17 Análisis de t student para la estabilidad de la mezcla asfáltica.....	85
Tabla 18 Análisis de t student para la estabilidad de la mezcla asfáltica.....	87
Tabla 19 Análisis de t student para la estabilidad de la mezcla asfáltica.....	89
Tabla 20 Análisis t student para estabilidad con 0.5% de caucho.....	91
Tabla 21 Análisis de t student para la resistencia al daño inducido.....	94
Tabla 22 Análisis de t student para la resistencia al daño inducido.....	97
Tabla 23 Análisis de t student para la pérdida por desgaste de la mezcla.....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Composición del Neumático. ....	12
<i>Figura 2.</i> Resistencia a la Deformación permanente. ....	13
<i>Figura 3.</i> Profundidad de la Huella vs porcentaje de GCR.....	14
<i>Figura 4.</i> Distribución de aprovt de las llantas usadas en la cadena de gestión.....	15
<i>Figura 5.</i> Número de ciclos de carga. ....	18
<i>Figura 6.</i> Técnica Vía Seca. ....	20
<i>Figura 7.</i> Técnica Vía Húmeda. ....	21
<i>Figura 8.</i> Tipos de mezcla asfáltica en caliente. ....	23
<i>Figura 9.</i> Composición típica del concreto asfáltico para mezclas convencionale.....	24
<i>Figura 10.</i> Datos básicos para muestrars de mezclas asfálticas. ....	24
<i>Figura 11.</i> Diseño de ezcla asfáltica. ....	28
<i>Figura 12.</i> Probeta de mezcla compactada.....	28
<i>Figura 13.</i> Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.....	29
<i>Figura 14.</i> Causas y efectos de un poco durabilidad.....	29
<i>Figura 15.</i> Causas y efectos de la permeabilidad.....	30
<i>Figura 16.</i> Causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas.....	30
<i>Figura 17.</i> Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga. ....	31
<i>Figura 18.</i> Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento. ....	31
<i>Figura 19.</i> Requerimientos para los agregados gruesos.....	32
<i>Figura 20.</i> Requerimientos para los agregados finos. ....	32
<i>Figura 21.</i> Requerimientos de usos granulometricos.....	33
<i>Figura 22.</i> Gradaciones para mezclas cerradas. ....	33
<i>Figura 23.</i> Selección del tipo de cemento asfáltico.....	34
<i>Figura 24.</i> Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	34
<i>Figura 25.</i> Requisitos para mezclas de concreto bituminoso.....	35
<i>Figura 26.</i> Requisitos de adherencia. ....	36
<i>Figura 27.</i> Criterios del instituto del asfalto (USA) para el diseño marshall.....	37
<i>Figura 28.</i> Mínimo porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral. ....	37
<i>Figura 29.</i> Resultados del ensayo: capacidad portante de suelos. ....	50
<i>Figura 30.</i> Resultados del ensayo de caracterización del cemento asfáltico.....	52

<i>Figura 31.</i> Analisis granulometrico tamizado.....	53
<i>Figura 32.</i> Agregado grueso TM ¾”.....	54
<i>Figura 33.</i> TM 3/8” de agregado grueso - gradación.....	54
<i>Figura 34.</i> TM 3/8” de agregado grueso.....	55
<i>Figura 35.</i> Agregado grueso TM ¼”.....	55
<i>Figura 36.</i> Agregado fino.....	56
<i>Figura 37.</i> Curva de distribución granulometrica individual de 3 tipos . .....	56
<i>Figura 38.</i> Gradación combinada.....	57
<i>Figura 39.</i> Probetas Marshall de la mezcla asfaltica convencional. ....	60
<i>Figura 40.</i> Aplicando compresión diametral a la briqueta convencional.....	61
<i>Figura 41.</i> Muestra del grano de caucho referencial.....	64
<i>Figura 42.</i> Granulometria del grano de caucho utilizado.....	66
<i>Figura 43.</i> Curva de gradación de los granos de caucho original y utilizado. ....	66
<i>Figura 44.</i> Muestra de caucho para hallar la cantidad de acero libre.....	67
<i>Figura 45.</i> Probetas de mezcla asfaltica modificada a temperatura de 140 °C.....	68
<i>Figura 46.</i> Ensayo Marshall de la mezcla asfaltica modificada con caucho.....	68
<i>Figura 47.</i> Variación de densidad respecto al porcentaje de cemento. ....	70
<i>Figura 48.</i> Variación de la densidad de las diferentes mezclas modificadas.....	70
<i>Figura 49.</i> Variación de la estabilidad respecto al porcentaje de cemento. ....	72
<i>Figura 50.</i> Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas.....	72
<i>Figura 51.</i> Variación del flujo respecto al porcentaje cemento asfaltico.....	74
<i>Figura 52.</i> Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas.....	74
<i>Figura 53.</i> Variación porcentual de vacíos respecto al porcentaje asfaltico. ....	76
<i>Figura 54.</i> Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas.....	76
<i>Figura 55.</i> Variación de vacíos en el agregado mineral respecto al porcentaje.....	78
<i>Figura 56.</i> Variación de los vacíos del agragado mineral de las diferentes.....	78
<i>Figura 57.</i> Variación de vacíos llenos de asfalto respecto al porcentaje. ....	80
<i>Figura 58.</i> Variación de los vacíos del agregado mineral de las diferentes . ....	80
<i>Figura 59.</i> Parámetros Marshall de la mezcla modificada con 0.5% caucho. ....	83

## RESUMEN

El presente trabajo de Investigación denominado “DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANO DE CAUCHO PARA MEJORAR PROPIEDADES MECÁNICAS, MÉTODO VIA SECA EN LA AVENIDA POLONIA 2019”. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, tiene como objetivo Determinar los cambios en sus propiedades mecánicas al diseño de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca., además Diferenciar el comportamiento mecánico en función de los parámetros del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica modificada con la incorporación de grano de caucho, utilizando el método vía seca en comparación con la mezcla asfáltica convencional. Como también Demostrar el valor de la perdida por desgaste y la resistencia a al daño inducido por la humedad de las mezclas asfálticas convencional y modificada con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca.

La tesis se ha dividido en tres capítulos, el primero se encuentra la Introducción y trata de los siguientes temas: la realidad problemática, los trabajos previos, las teorías relacionadas al tema, la formulación del problema, justificación del estudio, hipótesis y objetivos. El segundo capítulo es la Metodología y contiene los siguientes temas: el método de estudio, el tipo de método, el nivel del estudio, tipo de diseño, el estudio de las variables, la población, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, método de análisis de datos y aspectos éticos. El tercer capítulo contiene los a los Resultados y trata los siguientes temas: recopilación de la información y aplicación de los métodos de análisis.

Finalmente se expone las discusiones, conclusiones y recomendaciones, además se anexa el instrumento de recolección de datos, la operacionalización de variables y la matriz de consistencia.

**Palabras clave:** Grano de caucho, mezcla asfáltica modificada, método Marshall, método vía seca, composición de la mezcla.

## ABSTRACT

The present work of investigation denominated "DESIGN OF ASPHALTIC MIXING INCORPORATING RUBBER GRAIN TO IMPROVE MECHANICAL PROPERTIES, METHOD DRY IN THE AVENUE POLAND 2019". Thesis to choose the title of Civil Engineer, aims to show how to influence the incorporation of rubber in the design of the pavement mixture by applying the method of dry road, in addition to the way rubber grain modifies the mechanical behavior in the mixture asphalt, as well as determining how the incorporation of the rubber grain in the modified asphalt mixture affects its strength and deformation, both in the direction and in the dry route method.

The thesis is divided into three chapters, the first one is the introduction and it deals with the following topics: the problematic reality, the previous works, the theories related to the topic, the formulation of the problem, the justification of the study, the hypothesis and the objectives. The second chapter is the Methodology and contains the following topics: the study method, the type of method, the level of study, the study of the variables, the population, the techniques and the data collection instruments, the method of analysis of data and ethical aspects. The third chapter contains the following topics: information collection and application of the methods of analysis.

Finally, it presents the discussions, conclusions and recommendations, as well as an instrument for data collection, the operation of variables and the consistency matrix.

**Keywords:** Rubber grain, modified asphalt mix, marshall method, dry method, mix composition, strength and deformatio.

## **I. INTRODUCCIÓN**



Actualmente en nuestro país existe gran cantidad de llantas de vehículos que se encuentran fuera de servicio, estos materiales demoran mil años en poder degradarse, y el espacio que ocupan en los vertederos los hacen cada día más contaminantes.

Al día de hoy, muchas instituciones han visto una oportunidad que parte de este material, países como Colombia ya vienen trabajando desde hace más de 10 años continuamente con este elemento para obtener beneficios para la industria y medio ambiente.

Es tanta la contaminación de neumáticos en desuso que en España por ejemplo se acumulan por cada año, unas 250,000 toneladas de llantas en desuso, solo la mitad son almacenados en los vertederos, y pasan la mayor parte del tiempo en abandono; hasta hace poco la práctica de quema directa a la intemperie era mayor, gracias a las autoridades que vienen trabajando con mucha disciplina, esto ha ido disminuyendo, en buena parte, a nivel mundial se están incrementando las prácticas de reciclaje y procesamiento de llantas de vehículos para múltiples beneficios, estas mezclas de cementos asfálticos a base de caucho triturado son la nueva sustancia que está mejorando significativamente los pavimentos de las ciudades Europeas, estados unidos y países latinos como México, Brasil, Argentina y Colombia.

Según (Sánchez y Campagnoli, 2016, p. 438) Colombia elabora ciento diez mil toneladas de neumáticos usados cada año, la tercera parte se encuentra en Bogotá; eliminar estos residuos se ha convertido en una labor muy dificultosa, el constante almacenamiento de estos elementos han contribuido al nacimiento de roedores e insectos, la quema indiscriminada de neumáticos ha expuesto a enfermedades a los seres vivos del entorno, la emanación de estos gases tóxicos deterioran al ecosistema y causan malestares ambientales, un dato muy curioso sobre contaminación, es la proliferación de mosquitos, los cuales transmiten a través de sus picaduras: fiebre, dengue y encefalitis, que viene hacer hasta cuatro mil veces más su reproducción en neumáticos que contienen agua estancada que agua estancada en ambiente natural.

Para (Rondón y Reyes, 2015, p. 345) las llantas que derivan de los neumáticos en desuso son los elementos que más se desechan alrededor del mundo, además manifiesta que la forma más común de usar el grano de llanta pulverizada es para fines constructivos, a su

vez esta práctica ha ido evolucionando a través de todo el mundo, gracias a la participación del polímero con el asfalto se logran mejores condiciones en las mezclas asfálticas.

La finalidad de utilizar estos nuevos componentes ya modificados es para aumentar la rigidez y la resistencia que poseen las cargas monotónicas, al ahuellamiento, a fatiga y al envejecimiento. De igual manera el objetivo es que la carpeta asfáltica tenga una vida útil más duradera.

Para Campaña y Galeas (2015) Vol. 36 N° 3, revista Politécnica, menciona en su investigación que: Una medida se promulgó en Europa, el cual indica: desde el año 2006 la directiva europea prohíbe el depósito de neumáticos en contenedores, el cual fomenta la contaminación atmosférica, la polución, la proliferación de animales rastreros e insectos infectocontagiosos. Otra manera de darle servicialidad a estos materiales o llamados también neumáticos fuera de uso (NFU) son a través del recauchutado para darle más tiempo de vida útil al neumático, otra alternativa es que gran parte de este material son destinados a la industria de fundición u otros rubros relacionados, con el objetivo generar fuente de energía, también es considerado combustible para otras fabricaciones.

Los neumáticos fuera de uso son considerados no peligrosos, pero si implica mucha labor el poder desacerse de ellos, ocupan mucho espacio y peso, a causa de estas características hace que el trabajo requiera de participación de varias personas dedicadas al trabajo de ordenamiento y limpieza de los vertederos, rellenos sanitarios u otros complejos destinados, sumado a esto la acumulación continua genera gastos de mantenimiento y conservación.

Citando nuevamente al país de España, su gobierno proyecta que para el 2020 se fabricarán más de 300,000 toneladas de caucho, debido al incremento de la demanda de coches, por eso es importante conocer y desarrollar nuevas formas de volverlos útiles, no solo el sector de los neumáticos, se trata de volver renovables a muchos materiales que ya terminaron su ciclo de vida, es por ello que se intenta concientizar a la población difundiendo programas de desarrollo sostenible en toda institución: en las escuelas, en las universidades, institutos, en los centros laborales, en la casa, en la comunidad, etc.

Actualmente el acopio de neumáticos en vertederos, resultan ser los causantes ante problemas de estabilidad, lo que sucede es que con el tiempo este material genera problemas de seguridad, por otro lado, la quema indiscriminada provoca la emisión de gases tóxicos dañinos para todo ser vivo.

Por tal motivo el reciclaje de llantas usadas y caucho representa una alternativa sostenible y beneficiosa, respecto a las características de sus propiedades, la llanta posee maleabilidad y polivalencia.

En resumen, el caucho como materia prima contiene múltiples beneficios, que son utilizados de distintas formas, veamos los ejemplos.

- En diversos materiales como los destinados al sector construcción.
- Como superficie de pisos en los gimnasios y salas de juego
- Funciona como aislamiento para los vehículos automotores
- Componentes de mezclas asfálticas modificadas como el caso del cemento asfáltico o caucho-asfalto.
- Pisos o baldosas a base de caucho
- Como material para campos de césped artificial

Otro sector que cobra auge es el sector transporte, ya que es una de las áreas donde se desarrolla la economía peruana, sabemos que si no hay carreteras asfaltadas no llega el progreso, por ello se ha convertido, éste sector en fuente de trabajo para los distintos rubros, la construcción de más carreteras asfaltadas genera grandes impactos positivos, como el desarrollo a un pueblo y la mejora de la económica para sus habitantes de manera indirecta, pero también hay que ser conscientes que, la contaminación estará presente si esas carreteras no tienen un sistema de mantenimiento preventivo, porque el abandono de estas, genera poco a poco desorden, tráfico, acopio de basura, descuido de los mismos pobladores y/o transeúntes, como es el caso de muchas pistas en la ciudad de Lima.

La alternativa es contrarrestar el incremento de sustancias tóxicas en la fabricación de asfalto para los pavimentos, ¿Cómo hacerlo? con la recolección de llantas en desuso, con la finalidad de ir limpiando el medio ambiente y al mismo tiempo generando un nuevo producto con mayor ventaja que servirá como solución a los problemas actuales que

presentan los pavimentos asfálticos, el cual iba tener otro final en los vertederos o en la quema de llantas que lo hace más contaminante

Analizando el entorno, estudiando el problema, observando que existe materia prima en desuso, y aplicando conceptos de ingeniería estamos convencidos que se debe desarrollar el diseño de mezclas asfálticas modificadas que aporten beneficios en la carpeta asfáltica, al mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla, tendremos pavimentos asfálticos con mejores condiciones para una mayor vida útil, estas soluciones son las que necesita la comunidad, el desarrollo de nuevos materiales.

la realidad problemática de la contaminación que tiene nuestra ciudad, es la acumulación de llantas de neumáticos los cuales se encuentran abandonados en los vertederos, en las vías públicas, el acopio de llantas al libre tránsito trae consecuencias como la aparición de roedores e insectos, a ello se suma el inicio de todos agentes contaminantes.

A nivel mundial, la cifra de llantas que llegan a su vida útil es alrededor de los mil millones por año, estos neumáticos, podrían aprovecharse para su reciclaje y en base a ellos, procesarlos y conseguir nuevos productos.

La llanta de un vehículo está compuesta de acero, sustancias orgánicas, entre otros componentes, los cuales que se pueden emplear como materia prima y energía, también puede sustituir al carbón, adicionalmente sirve como base para la creación de otros productos.

El pasado el 13 de mayo del 2016, sucedió un accidente de gran magnitud, se trató de un incendio intencionado que arremetió el más grande cementerio de neumáticos de Europa, ubicado entre los pueblos de Seseña y Valdemoro, en Toledo (España), los neumáticos quemaron el 70% de las 11 hectáreas que ocupaba el recinto. Según la agencia de comunicación RTVE, más de 6,000 personas fueron desalojadas de sus casas a causa de la gran nube de humo tóxica, que poseía sustancias cancerígenas, tales como el benceno y los benzoapirenos.

Luego de 20 días los medios de comunicación dijeron que el incendio se había extinguido hasta el 3 de junio, el vertedero de Seseña era un acopio de neumáticos, muy asinado, estaba fuera del límite de recepción, en el 2009 lo cerraron por incumplimiento de las normas medioambientales, pero los ciudadanos de forma clandestina seguían arrojando sus llantas viejas hasta acumular 100,000 toneladas.

En base a este problema, debemos evitar que ocurra un caso parecido en nuestro país, por ello las universidades, las municipalidades conjuntamente con el gobierno local deben elaborar programas de recolección de llantas y poner más énfasis en la fabricación de mezclas asfálticas modificadas, para garantizar mejores pavimentos con más tiempo de vida útil.

La otra idea positiva sería los avances en investigación y desarrollo que plantean distintos estudiosos del tema, tesis de varias universidades, han creado nuevas aplicaciones a partir de este residuo, hoy es posible transformarlos en aislantes acústicos, carreteras ecológicas, guardar railes, pistas de atletismo, parques infantiles, vías de metro, bio gas, calzados, preservativos, moda y decoración, entre otros, se estima que si un neumático, sino no se transforma a otro bien, puede tardar más de mil años en descomponerse.

En el país de Colombia se fabrican cerca de 110 mil toneladas de llantas al año, algo así como 7 millones de unidades, de las cuales una tercera parte están en Bogotá. La eliminación de estos residuos ha resultado particularmente dificultosa. La quema directa provoca molestias ambientales, pues genera la expulsión de agentes nocivos que contienen sustancias contaminantes y son distribuidos por todo el ambiente, sin embargo, la custodia de los neumáticos a comparación de la quema, es menos peligroso y dañino, porque solo se tiene a las llantas guardadas y no experimentan alteraciones en sus propiedades.

Por otro lado lo malo es que estas montañas de llantas forman nidos de roedores infecciosos, insectos y otros animales que contraen enfermedades, estos insectos con su picadura transmiten: fiebre, dengue y encefalitis, estas picaduras llegan a ser 4,000 veces más en agua atrapada dentro de una llanta que en el ambiente natural, no podemos dejar pasar este problema que viene afectando la salud de la comunidad, no solo es reutilizar un bien, sino que también es no contaminar y evitar las enfermedades infectocontagiosas.

Con todo esto, la reutilización de los neumáticos a través de sus múltiples productos o bienes es una idea para el desarrollo sostenible eficiente, no podemos dejar a una ciudad que siga contaminando, o siga quemando llantas, cuando se pueden hacer nuevos productos, en este estudio desarrollaremos la importancia del grano de caucho y sus mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de este material granulado para un mejor desempeño dentro de la línea de estudio, diseño de infraestructura vial.

Entre los principales trabajos previos tenemos los siguientes antecedentes internacionales:

Verdezoto (2016) Después de realizar pruebas a las muestras de carpeta de rodadura convencional, con 5% de caucho reciclado y otra con 10%.

Lo que no sucedió con la mezcla que tiene 10% de caucho el cual no cumple con los requerimientos establecidos. Es posible que sea por el exceso del porcentaje de caucho lo que hace que la mezcla sea poco adhesiva y cohesiva, y que los agregados no se adhieran al ligante, esto hace que los agregados queden sueltos en la mezcla compactada, por lo tanto, su estabilidad es baja y su porcentaje de vacíos es alto, entonces tendríamos una carpeta asfáltica débil a los agentes agresores.

Se pudo observar mayor mejora en el módulo de rigidez con un incremento de 33.37 % frente a la mezcla convencional, esto hará posible un diseño de carpetas de rodadura de menor espesor y con el mismo soporte de una carpeta asfáltica convencional, ya que el módulo de rigidez determina considerablemente el diseño de un pavimento.

También podemos afirmar que en los ensayos de ahuellamiento donde la tolerancia de deformación es el 1%; el comportamiento de la mezcla modificada está muy lejos de acercarse a este porcentaje mientras que la mezcla sin modificar se acerca más a las mezclas inadecuadas que están por encima del 1% concluyendo así que la mezcla modificada con el 5% de caucho también es resistente al ahuellamiento.

Rodríguez (2016) en su trabajo de la universidad de Costa Rica. Los beneficios que se puede obtener con el uso de la mezcla del ligante asfáltico con caucho reciclado son múltiples sin embargo destacaremos los más relevantes; además de contrarrestar la contaminación que las llantas ocasionan en el mundo también tenemos otros beneficios: el caucho aumenta en volumen la mezcla asfáltica lo que hace que envuelva con capas más gruesas a los agregados pétreos, permite la trabajabilidad y manejabilidad a temperaturas tibias, se ha comprobado la reducción del ruido al contacto con los neumáticos y una mejora considerable en la fricción, se ha demostrado que tiene mayor durabilidad y menor deformación evitando la formación de grietas y el ahuellamiento, también se puede mencionar que reduce el costo de mantenimiento que se cuenta con diversas técnicas por todo el mundo. También existen algunas limitaciones en costa rica pues no existen

empresas proveedoras de polvo de caucho la compactación es un tema muy importante cuando se decide incorporar caucho reciclado a esta mezcla de asfalto del mismo modo se recomienda no almacenar el producto cuando ya esté mezclado es mejor darle la disposición final dentro de las 24 horas.

Campana, Salomé y Guerrero (2015) Ha determinado que la gravedad específica y la densidad son ligeramente inferiores en comparación con la mezcla asfáltica sin modificar, debido a que encontramos mayor volumen de vacíos y más permeabilidad en las mezclas asfálticas modificadas. Para lograr una adecuada combinación de los materiales involucrados en este proceso se ha experimentado que el tiempo de digestión será como mínimo de dos horas. De esta manera se obtendría la reología modificada en comparación del asfalto original que haría posible la variación de la rigidez aplicada con carga a una determinada temperatura. Es decir que las mezclas asfálticas modificadas con incorporación de caucho reciclado presentan un módulo de rigidez mayor lo que nos permite diseñar pavimentos asfálticos con menores espesores y por consiguiente reducir el volumen en el uso de materiales. De esta manera según los resultados, es una buena oportunidad ya que se puede mejorar propiedades con respecto a la convencional; además de ser más resistentes y duraderas con menor costo de mantenimiento.

Salamanca (2018) Para el estudio comparativo se aplicó el ensayo Marshall tradicional, normada por 8.302.47 del M.C.-V.8, y para el asfalto con caucho se debe respetar los procedimientos expresado en 5.420.302 del M.C.-V.5, de este modo se estaría asegurando la correcta combinación de los materiales.

Los ensayos realizados a las diferentes mezclas nos demuestran que El asfalto modificado con polvo de caucho tiene un 60% más de rigidez en comparación con los asfaltos multigrado y modificado con polímeros. Así mismo el asfalto modificado con polímeros tiene mayor rendimiento a fatiga. Se observa que el asfalto con caucho tiene un comportamiento a fatiga un poco más que el asfalto tradicional registrado en investigaciones previas, pero comparado con los asfaltos modificados con polímeros está muy debajo. Entonces, se tiene al asfalto con caucho como una solución viable, con menores costos para la obra, con un comportamiento beneficioso a los deterioros del pavimento y principalmente, contrarrestar la contaminación del medio ambiente.

Además, en las pruebas de campo después de dos años no se pueden observar considerables diferencias entre los distintos asfaltos modificados ya que el deterioro por ahuellamiento se pudo manifestar en los primeros años. Por lo tanto, en los tres casos se considera satisfactorio.

Schilling (2018) Buscó modificar un ligante asfáltico con la usando polvo de caucho reciclado, a través del método vía húmeda, con la finalidad de analizar los cambios en sus características reológicas, su resistencia bajo ciertas condiciones y la factibilidad de utilizar este método. Tomando como referencia la investigación realizada, se observa que el uso de caucho, se estudia y se aplica en varios países, mostrando diferentes matices en cuanto a los procedimientos realizados, donde todos coinciden en que esta tecnología es una alternativa prometedora ecológico, económico y en su comportamiento a los agentes externos por la variación resistente en sus propiedades mecánicas.

Se recomienda investigar a nivel país, con el objetivo de generar un manual de modificación de ligantes con caucho, también considerar las bases de los procedimientos a seguir, además contemplar los valores mínimos y máximos a cumplir en la práctica, al mismo tiempo tener un control certificado de los laboratorios donde se confiará las pruebas, con la finalidad de experimentar el rendimiento en terreno de esta tecnología, con las características climatológicas y de carga nacionales.

Entre los principales trabajos previos tenemos los siguientes antecedentes nacionales:

Álvarez y Carrera (2017) en su trabajo de la universidad privada Antenor Orrego Ha determinado diseñar mezcla asfáltica utilizando: 5% de asfalto, 20% de agregado pasa 3/4", 35% triturado pasa 1/2", 20% de arena lavada zarandeada, otro 20% en arena triturada y un 1.5 % de GCR, ya que cumple con la normativa de valores límites que exige el MTC. En el proceso de pruebas se pudo ver que las briquetas que contienen el 1.5% y 2% de grano de caucho reciclado superan los 900 Kg. De estabilidad. Por consiguiente, solo estas muestras fueron aceptadas por el MTC. A mayor cantidad de polvo de caucho que se incrementa en las briquetas disminuyen la resistencia a la compresión, también se observó que, a mayor porcentaje de grano de caucho, aumenta el porcentaje de vacíos.

Una de las limitaciones que se pudo observar en el desarrollo de este proyecto es la porosidad de las muestras debido a la flexibilidad que posee el grano de caucho sin embargo



se ha podido contrarrestar con la compactación adecuada de la misma. Por consiguiente, se recomienda tomar en cuenta esta limitación y realizar una compactación adecuada a las muestras para conseguir los límites adecuados de servicio que debería proporcionar dicho pavimento donde se desea utilizar estas muestras. Por otro lado, se recomienda un mezclado adecuado de los materiales ya que el polvo de caucho absorbe con facilidad el ligante asfáltico, el mezclado debe garantizar la homogenización de los materiales y el bañado adecuado de todos los agregados pétreos.

Cervera (2016) en su trabajo de la Universidad Privada del Norte. Realizar estudios a la mezcla asfáltica incorporando grano o polvo de caucho reciclado de acuerdo cual amerite el caso, determinando cada vez el mejor comportamiento a las diferentes fallas que presenta un pavimento convencional y promover el uso de caucho y en mayor porcentaje posible hasta lograr una concientización en nuestras autoridades y puedan dictaminar normas u ordenanzas que exijan el uso de caucho reciclado en la construcción de infraestructuras viales.

Ejecutar tramos con mezcla asfáltica modificada para realizar estudios a los pavimentos in situ y a la exposición a agentes externos reales y su comportamiento ante ellos. Solo de esta manera será posible la incorporación de grano de caucho reciclado en pavimentos. Asimismo, se estaría haciendo ver a las empresas la necesidad de contar con plantas procesadoras de grano de caucho ya que es una oportunidad futurista cercana para muchos sectores de la producción de insumos.

Tueros (2016) en su trabajo de la universidad peruana los andes La nueva mezcla asfáltica trabajada con polvo de caucho reciclado mejora el comportamiento de la banda de rodadura volviéndola más rígida y disminuyendo la deformación plástica frente a las cargas recibidas de los vehículos pesados que producen ahuellamientos. Del mismo modo se pudo comprobar una considerable mejora en la durabilidad.

Se recomienda a los profesionales encargados de la elaboración de proyectos de infraestructura vial considerar de una manera casi obligatoria la utilización en pavimentos de la nueva mezcla asfáltica alterada con polvo de caucho reciclado de los neumáticos en desuso. Ya que se pudo comprobar las modificaciones de forma positiva en las propiedades mecánicas aumentando la resistencia a la fatiga y prolongando la durabilidad. Además de

ser una alternativa de solución para contrarrestar la contaminación ambiental que los neumáticos en desuso provocan.

Entre las principales teorías relacionadas al tema tenemos la primera que está vinculado a la variable Grano de Caucho.

Según (Rondón y Reyes, 2015, p. 347) en su libro Pavimentos: materiales, construcción y diseño, edición original publicada por Ecoe Ediciones Ltda., Bogotá (Colombia), quien indica en su literatura, que el tamaño de grano de caucho ideal que derivan de las llantas en desuso y que son utilizados como modificadores de asfalto nos recomienda que debe ser menor a 6.3 mm.

Por otro lado, para Tortum et al. (2005), menciona que el tamaño correcto para obtener mejores comportamientos en mezclas asfálticas debe ser 0.425mm (tamiz N° 40 en un ensayo de granulometría por tamizado).

Según los autores mencionados existen diversos estudios a raíz del caucho, y el más usado es el grano de caucho o grano de neumático triturado con el fin de mezclarlos con los agregados básicos de un diseño de mezcla asfáltica, con el objetivo de encontrar una solución adecuada que contenga cemento asfáltico modificado el cual llamaremos “asfalto caucho”, este componente va hacer posible que el comportamiento mecánico mejore en la carpeta de rodadura, haciéndolo más resistente y duradero en el tiempo. Estas investigaciones determinan la manera de poder obtener nuevos productos de materiales fuera de servicio.

Para lograr grano de neumático pulverizado, es necesario el proceso de trituración. De modo que, al ser los neumáticos elementos muy particulares, no se pueden disolver fácilmente de otra manera, ya que su elaboración comprende una gran cantidad de membranas, creadas con alrededor de 250 componentes, estos compuestos con elementos principalmente de cauchos naturales y sintéticos que se encuentran muy bien estructurados y entrelazados.



Figura 1. Composición del neumático  
Fuente: Tratamiento de Neumáticos Usados (2016)

La trituración del neumático fuera de servicio, comprende en triturar o moler a través de las moliendas, de modo que se debe separar los metales y tejidos que lo contienen.

Es importante tener cuidado con la granulometría de las partículas y separar los materiales metálicos y textiles que pueden afectar en la composición del grano de caucho obtenido. Dependerá de las aplicaciones, para nuestro trabajo de investigación el grano de caucho se está considerando 0.5 mm.

Características	Requisito
Humedad vs. masa total de la mezcla	0.75% máximo
Gravedad específica	1.15 +- 0.05
Contenido de metales no ferrosos	No debe haber presencia visible
Contenido de metales ferrosos en masa	0.01 % máximo
Contenido de fibras en masa para mezcla en caliente	0.5% máximo
Contenido de fibras en masa para riesgos	0.1 % máximo
Contenido de polvo mineral	4 % máximo
Contenido total de otros elementos extraños	0.25% máximo

Principales características de GCR

Tabla 1

Fuente: Invias 2013

Según (Sánchez y Campagnoli, 2016, p. 348) El porcentaje de grano de caucho es la cantidad determinada para lograr la mezcla asfáltica deseada, estos componentes son todos los materiales granulares no ligados, llamados también agregados pétreos, son partículas provenientes de roca triturada o grava natural triturada, los cuales se encuentran combinadas, son medibles y graduadas con el fin de ser clasificadas para ser consideradas mecánicamente estables, trabajables y fáciles de compactar.

Para Shen (2006) describe un incremento en la resistencia a la deformación permanente, esto ocurre cuando se aumenta el contenido de grano de caucho a la mezcla asfáltica entre 5% a 15%.

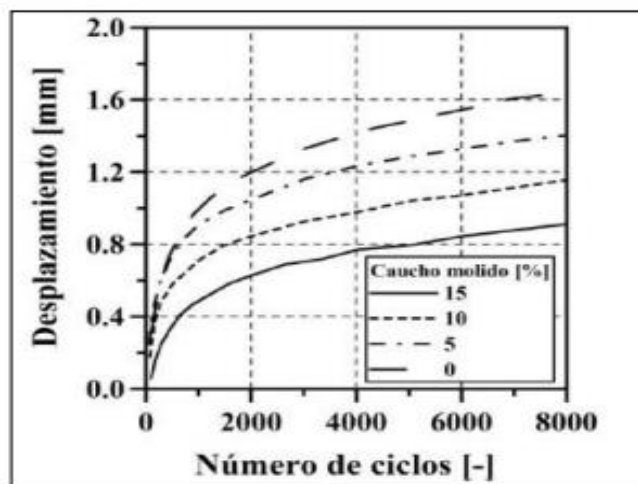


Figura 2. Resistencia a la deformación permanente  
Fuente: Shen (2006)

Además, concluye que el grado de desempeño de los cementos asfálticos colombianos de las ciudades de Apiay y Barrancabermeja incrementaron desde 58.22 a 88.16 y 58.16 a 76.22 cuando se adicionó 13% y 15% de grano de caucho.

Xiao (2007) demuestra que el ahuellamiento disminuye cuando el porcentaje de GCR aumenta en la mezcla asfáltica, tal y como se muestra en la siguiente figura.

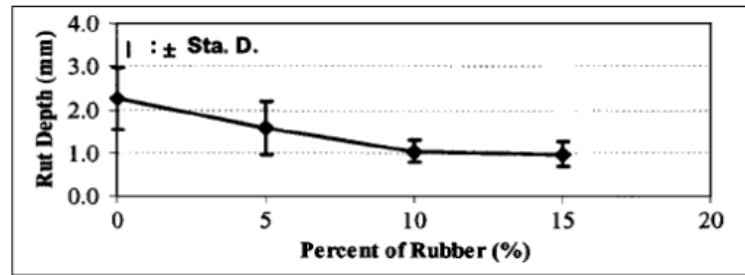


Figura 3. Profundidad de la Huella vs. porcentaje de GCR  
Fuente: Xiao (2007)

Way (2016) menciona que la mezcla asfáltica modificada más el grano de caucho, posee mayor resistencia al agrietamiento, además se logra disminuir del uso del asfalto en las mezclas y reducir el espesor de la carpeta de asfáltica, es beneficioso por la reducción de los costos de construcción y mantenimiento, logra mejoras en la seguridad vial y disminuye el ruido.

Jiménez y Meier (1985) mencionan que al agregar 5% de GCR al peso total de la mezcla asfáltica, ésta aumenta en proporción de 1 a 2 su resistencia a la fatiga con respecto a una mezcla tradicional.

Por otro lado, Punith (2011) indica que, agregando 5.3% de GCR a los agregados a través de la vía seca, la mezcla asfáltica incrementa su resistencia a la fatiga y al ahuellamiento, frente a una mezcla típica.

A continuación, veremos en la figura, como se repliega el material llanta reciclada en el mercado cotidiano.

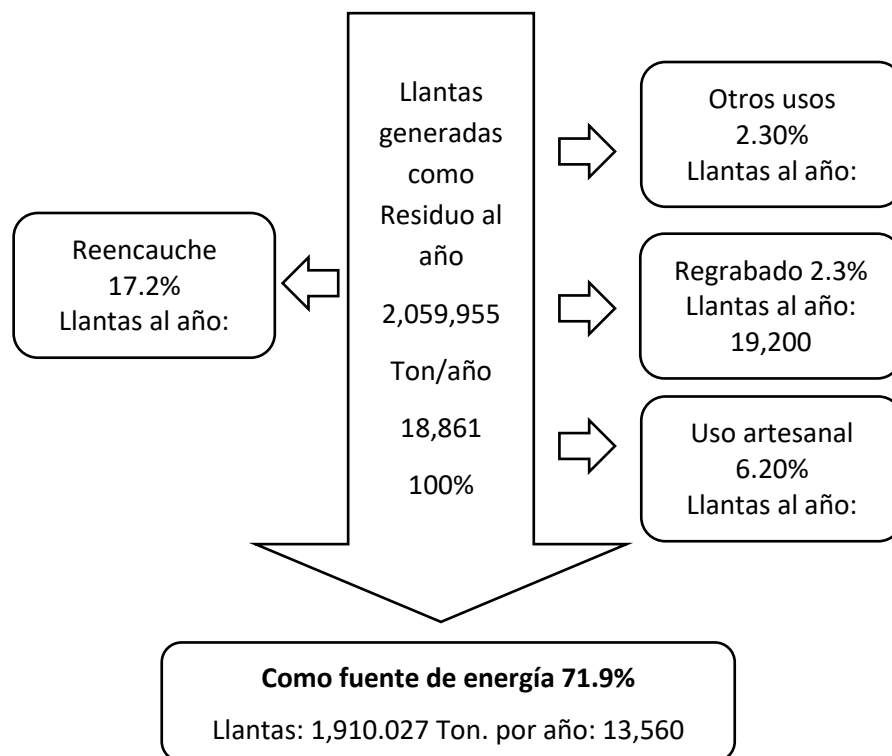


Figura 4. Distribución de aprovechamiento de las llantas usadas en la cadena de gestión (porcentaje en toneladas)

Fuente: (Rondón y Reyes, 2015)

De todas las aplicaciones mencionadas, existe una, que es la más usada, la cual vamos a estudiar, se trata de: EL GRANO DE LLANTA, triturado o molido (GCR) o Grano de Caucho Reciclado, que servirán como aditivo para cambiar los componentes de la homogenización asfáltica. Estas tecnologías de mezclas reinventadas y los cementos de asfalto han sido estudiadas alrededor del mundo, la incorporación de polímeros en el asfalto genera que los elementos mecánicos, físicos, químicos y reológicos se modifiquen. Tal es el caso que se necesita mejorar las condiciones de carga y del medio ambiente, conocer el comportamiento que presentan las mezclas convencionales.

Normalmente los elementos que se quieren reforzar son la resistencia al ahuellamiento, la resistencia a la fatiga, al envejecimiento, la rigidez, como también reducir la susceptibilidad térmica.

Esta tecnología es aplicada con frecuencia en la carpeta asfáltica de una vía o carretera, con la finalidad de otorgarle una vida útil más duradera, en otros casos se consigue pavimentos con espesores de capas asfálticas más delgadas del promedio. Vale decir que, cuando se emplea esta técnica, en la mayoría de casos, los investigadores utilizan emulsiones asfálticas que contiene de polímeros elastoméricos, se entiende por elastoméricos a aquellos

materiales como el caucho natural, éste látex es producido por el árbol de caucho, también están los SBS (estireno-butadieno-estireno), el otro es el caucho sintético, que es un derivado del petróleo, otro elemento es el SBR (estireno-butadieno), y por último el GCR (grano de caucho reciclado, conocido como caucho triturado, proveniente de la llanta de neumáticos, este último será motivo de estudio, el cual centraremos nuestras investigaciones CR).

Según los estudios de Rondón y Reyes (2015) La mayor desventaja en el método vía seca es el costo inicial de la mezcla, por lo que se requieren nuevos equipos en planta como la unidad de mezclado y el almacenamiento de asfalto caucho, es necesario el cambio de bombas y tuberías, además del aumento de la temperatura de mezclado, esto conlleva a mayor consumo de energía en planta. Por estas razones de costos elevados no es recomendable el empleo de la vía húmeda para nuestro trabajo de investigación.

Según Velar en (1997), indica que la vía húmeda necesita la instalación de un tanque de almacenamiento adicional para bitumen, además de una bomba que pueda manejar esta mezcla, que tiene un aspecto más viscosa y abrasiva. Aquí el autor también resalta la importancia de mayor equipamiento para lograr los resultados esperados.

De acuerdo con Loughheed y Papagiannakis (1996), mencionan que el mejor comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas se obtiene cuando el proceso se realiza por vía húmeda.

Ellos afirman que por el proceso vía seca el comportamiento de las mezclas asfálticas tienen resultados como aceptables.

Mientras tanto Cao (2007) precisa todo lo contrario, indica que cuando se realizan los ensayos por la vía seca, existe un incremento en las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas.

Por otro lado, según (Oliver, 1981) y (kaya,1992) Resaltan, para que los Granos de Caucho puedan mejorar, dependerán de una correcta aplicación del método ya sea húmeda o seca, también es determinante la naturaleza de sus agregados, el porcentaje de GCR, del tamaño del caucho triturado, el factor tiempo, la temperatura de mezclado entre el grano de caucho y el ligante.

Allison (1967), Es importante mencionar a este autor, quien precisa en sus investigaciones, es en el año 1840, que se da a conocer en Inglaterra la primera patente de un ligante de asfalto modificado a base de caucho natural, es a partir de los años de 1950 que los estudios del caucho se vienen estudiando con mayor fuerza, posteriormente en la década de los 60, el autor Charles H. Mac Donald descubrió una manera de incorporar el GCR al asfalto a la cual llamo: Asfalto-Caucho, y con mayor énfasis se da el inicio de las próximas investigaciones sobre esta materia.

Las principales ventajas del empleo de granos de neumático son:

Se puede reutilizar y reciclar los neumáticos, de esta manera se reduce el volumen de contaminación que existen en los en vertederos y permite la reducción del empleo de nuevos recursos naturales.

Su empleo en mezclas bituminosas permite la reducción de niveles sonoros en la carpeta de rodadura, porque los amortigua, gracias a las finas partículas de grano de caucho.

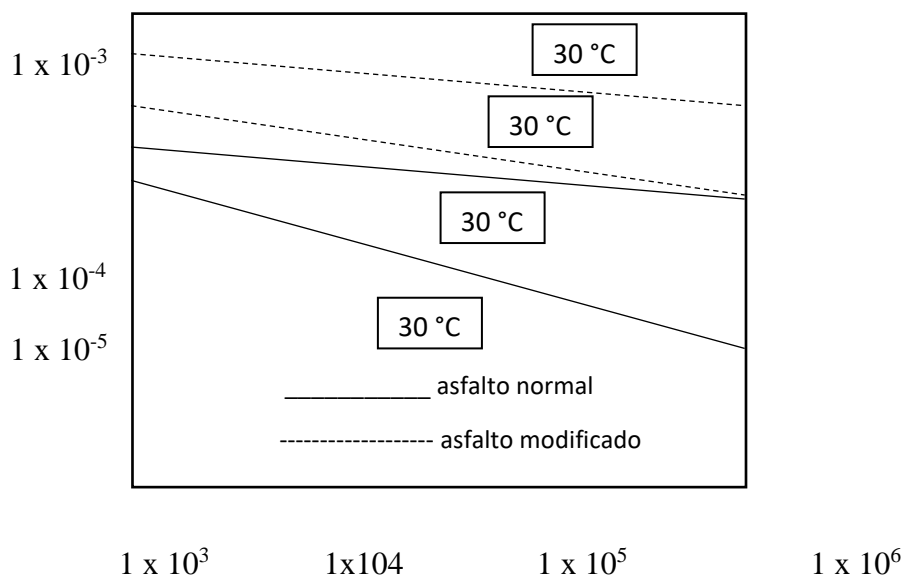
La desventajas más significativas del empleo de granos de neumáticos serian:

- El empleo de altas temperaturas para la vía húmeda, hace que aumenten las emisiones tóxicas que afectan a la fabricación y extensión de los materiales bituminosos.
- El uso del empleo de caucho presenta riesgos mínimos para la salud de los operarios que manipulan estas partículas. Se pudo comprobar en el laboratorio de ensayos de materiales que el personal que trabaja directamente con estos elementos no presenta ningún síntoma de malestar, aparte que utilizan los implementos adecuados para su protección como: mascarillas, guantes, lentes, tapones de oídos, botas, guardapolvo, ropa larga que protege todas las partes del cuerpo.

Entre los cementos de asfaltos modificados con caucho se presentan las siguientes ventajas:

Sibal (2000), se encargó de modificar mezclas asfálticas por vía seca, agregando en él, desechos de caucho molido o grano de caucho triturado, todo con el objeto de evaluar el comportamiento de resistencia a la fatiga ante diversas temperaturas





*Figura 5.* Número de ciclos de carga [-]  
*Fuente:* (Sibal, 2000)

Entre otras ventajas del uso del asfalto con grano de caucho, según autores tenemos los más representativos.

Hitzman (1992) indica que aumenta la resistencia al envejecimiento y oxidación del ligante asfáltico.

Dempster (1978) precisa, que incrementa la resistencia de la mezcla al agrietamiento por bajas temperaturas.

Othman (2006) menciona, que la mezcla asfalto caucho es más flexible a bajas temperaturas y menos plásticas a altas temperaturas.

Dong y Tan (2011) Consideran que la principal ventaja del uso del GCR es el aumento de la resistencia a la humanidad.

Gagle (1973) enfatiza como ventaja el aumento de la elasticidad del ligante

McQuillen (1988) menciona que disminuye el ruido de rodadura.

Al-Dubate (1998) menciona que mejora las propiedades reológicas del asfalto

Lalwani (1982) menciona como ventaja que las mezclas son más durables y con menos mantenimiento.

Halleran y Van (2000) dice que la ventaja sería que se usaría menor espesor de capa asfáltica.

Dempster y McQuillen (1978) coinciden en que mejoran la resistencia al deslizamiento.

Podemos afirmar después de los autores que han estudiado el tema, estos tipos de ligantes modificados están siendo considerados para la construcción de pavimentos asfálticos, en especial la modificación de mezclas de concreto asfáltico, cada vez hay más estudios con caucho reciclado, esto hace que el tema recaude más interés en la población y en las autoridades para ejecutar estos tipos de trabajo, solo para tener como dato desde el año 1994 al año 1998 se han reportado 0.9 millones de toneladas de mezclas asfálticas modificadas con GCR en los Estados Unidos.

Existen varios métodos, estos procedimientos permiten recuperar parte de los materiales antes de ser considerados materiales desechos.

Los neumáticos pasan por diferentes moliendas para reducir su tamaño de acuerdo al uso final a la que será aplicada en este proceso también se aprovecha para separar los agentes que no serán usados así con el acero que se encuentran dentro de estos.

Los neumáticos son sometidos a bajas temperaturas de 195.8 grados centígrados que se logra con la aplicación de nitrógeno líquido, en forma de espuma criogénica, al vacío donde el caucho pierde su textura y se vuelve frágil y quebradizo luego pasa a la molienda para su trituración y su disposición final.

Los neumáticos son sometidos al calentamiento anaeróbico sin presencia de oxígeno para descomponerlos, y de esta manera aparecen diversos hidrocarburos de las cuales está compuesto dicho neumático.

Consiste en la degradación química que sufren los neumáticos al aplicársele GAZ, un gas similar al propano esto se realiza con calentamiento sin producir dioxinas ni furanos muy contaminantes en ausencia de oxígeno.

El método de vía seca consiste en que el caucho triturado reemplaza en un porcentaje del agregado pétreo, mayormente las partículas más finas, el cual es adicionado a la mezcla en temperatura alta, luego recibe al asfalto y forman la mezcla asfáltica.



Figura 6. Técnica Vía Seca

Fuente:

[https://www.google.com.pe/search?q=grano+de+caucho+reciclado+via+humeda&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwik\\_YmO7pPiAhXGwFkKHdEsAYsQ\\_AUIDigB&biw=639&bih=639#imgrc=XB\\_Dep0XRjdFRM:](https://www.google.com.pe/search?q=grano+de+caucho+reciclado+via+humeda&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwik_YmO7pPiAhXGwFkKHdEsAYsQ_AUIDigB&biw=639&bih=639#imgrc=XB_Dep0XRjdFRM:)

Referente a la vía húmeda, El GCR es mezclado con el asfalto a alta temperatura, posteriormente este ligante ya modificado es adicionado al agregado pétreo, este resultado lleva el nombre de Asfalto-Caucho. Los beneficios utilizando esta técnica serian: aumento de viscosidad del cemento asfáltico, disminución de plasticidad en altas temperaturas.

Tiene que ver muchos factores como la cantidad del GCR, la textura como resultado de la trituración, el tamaño del grano, el tipo de cemento asfáltico, el tiempo y la temperatura de cocción y mezclado.



Figura 7. Técnica Vía Húmeda

Fuente:

([https://www.google.com.pe/search?q=grano+de+caucho+reciclado+via+humeda&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwik\\_YmO7pPiAhXGwFkKHdEsAYsQ\\_AUIDigB&biw=639&bih=639#imgdii=KDhSPZVcvj9QZM:&imgrc=XB\\_Dep0XRjdFRM:](https://www.google.com.pe/search?q=grano+de+caucho+reciclado+via+humeda&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwik_YmO7pPiAhXGwFkKHdEsAYsQ_AUIDigB&biw=639&bih=639#imgdii=KDhSPZVcvj9QZM:&imgrc=XB_Dep0XRjdFRM:))

Para (Rondón y Reyes, 2015, p. 445) Es el producto de una mezcla de agregados pétreos que son cuidadosamente clasificados por sus cualidades y en cantidades adecuadas para ser combinadas con asfalto de acuerdo al requerimiento para construir firmes. A su vez estas proporciones determinarán las propiedades físicas de este producto (mezcla asfáltica). Se clasifican de diversas formas, pero la más usada es: Por fracciones de agregados (tamaño) y por la temperatura de puesta en obra.

Para (Rondón y Reyes, 2015, p. 80) Las mezclas asfálticas en Colombia son conocidas como MDC (Mezclas Densas en Caliente) para la correcta fabricación y aplicación de estas mezclas, es de vital importancia compactarse y extenderse a temperaturas elevadas que oscilan de 140 a 180°C, esto dependerá de la viscosidad del asfalto. El bajo contenido de vacíos con aire incorporado es una de las características principales que contiene la mezcla asfáltica, estas se dan entre 3% a 9%. En la elaboración de las mezclas asfálticas, los agregados deberán satisfacer los requerimientos de granulometría.

Según Minaya y Ordóñez (2006) “Estas mezclas están compuestas por agregados de gradación continua y ligante de cemento asfáltico y los agregados se miden de acuerdo a los parámetros que se encuentran en la tabla N°4” (p. 163).

Para (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 163) En estas mezclas se puede utilizar ligante modificado o ligante de cemento asfáltico. Sirve como una capa drenante dentro de la estructura del pavimento y en la superficie del pavimento, mayormente sirven para la base permeable y para proporcionar drenaje libre en la superficie.

Según (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 163) Estas son similares a las mezclas open – garded ya que proporcionan capas densas impermeables. Las mezclas Gap se clasifican en dos tipos, el cual una de ellas es el stone mastic asphalt (SMA), esta mezcla requiere cantidades de filler mineral significativamente de agregados que alcancen el 8 a 10 % del material pasante por el tamiz 0.075mm o N° 200.

<b>Gradación densa</b>	<b>Open – garded</b>	<b>Gap - graded</b>
Convencional Tamaño máximo nominal usualmente de 12.5 a 19mm (0.5 a 0.75 pulg.)	Porous friction course	Gap - graded convencional
Large – Stone Tamaño máximo nominal usualmente de 25 a 37.5mm (1 a 1.5 pulg.)	Base permeable tratada con asfalto	Stone Mastic Asphalt (SMA)
Arena Asfalto Tamaño máximo nominal menos que 9.5mm (0.375 pulg.)		

*Figura 8. Tipos de mezclas asfálticas en caliente.  
Fuente: Minaya y Ordóñez (2006)*

Según (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 167) Las mezclas comprenden diferentes características como; el contenido de asfalto, vacíos en el agregado mineral, vacíos de aire y la densidad de la mezcla. El contenido de asfalto cumple una función muy importante ya que esta rodea las partículas formando una película y además es adsorbida por los agregados en un determinado porcentaje.

Para (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 178) Los agregados que comprenden una mezcla asfáltica ya sea agregado fino y grueso, están compuestos por el material que pasa el tamiz N°8 (2.36mm). Los agregados finos pertenecen a la cantidad máxima permitida que pasa por el tamiz N°8 y el agregado grueso corresponde a la cantidad mínima que pasa por el tamiz N°8. El agregado que pasa el tamiz N°200 deberá obtener un índice de plasticidad menor que 4% y no debe contener materia orgánica para ser utilizado como filler o material de relleno. El porcentaje de cemento asfáltico se determina en base al peso de la mezcla.

Para Minaya y Ordóñez (2006) “Es necesario el requerimiento de gradaciones densas en los agregados para las mezclas asfálticas en caliente. Para este fin se muestran las siguientes especificaciones recomendadas por la norma ASTM D 3515 en las tablas que se muestran a continuación” (p. 178).

*Composición típica del concreto asfáltico para mezclas convencionales.*

Tamiz	Tamaño máximo nominal del agregado				
	(1 ½")	(1")	(¾)	(½")	(⅜")
	Porcentaje acumulado que pasa (por peso)				
50 mm(2")	100				
37.5 mm(1 ½")	90-100	100			
25.0 mm(1")		90-100	100		
19.0 mm(¾)	56-80		90-100	100	
12.5 mm(1/2")		56-80		90-100	100
9.5 mm( ⅜")			56-80		90-100
4.75 mm(Nº4)	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85
2.36 mm(Nº8)	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
0.30 mm(Nº50)	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23
0.15 mm(Nº100)					
0.075 mm(Nº200)	0-5	1-7	2-8	2-10	2-10
Cemento asfáltico, % en peso de la mezcla total	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12

*Figura 9*

*Fuente: Minaya y Ordóñez (2006)*

*Datos básicos para muestras de mezclas asfálticas.*

a) Constituyentes:						
Material	Gravedad Específica			Composición de Mezcla		
	Bulk	AASHTO	ASTM	% por peso total de mezcla	% por peso del total de agregado	
Cemento asfáltico	1.030 (Gb)	T 228	D 70	5.3 (Pb)	5.6 (Pb)	
Agregado grueso	2.716 (G1)	T 85	C 127	47.4 (P1)	50.0 (Pb)	
Agregado fino	2.689 (G2)	T 84	C 128	47.3 (P2)	50.0 (Pb)	
Filler mineral		T 100	D 854			
b) Mezcla asfáltica.						
	Gravedad específica bulk de la mezcla compactada, Gmb (ASTM D 2726)				2.442	
	Gravedad específica teórica máxima de la mezcla, Gmm (ASTM D 2041)				2.535	

*Figura 10*

*Fuente: Minaya Y Ordóñez (2006)*

Según (Rondón y Reyes, 2015, p. 156) La fatiga, son los principales mecanismos de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas y mecánicas de diseño del pavimento, así como también el exceso de deformación permanente en la dirección vertical. Este fenómeno es uno de los principales mecanismos de daño de mezclas asfálticas en pavimentos en servicio.

Para la formulación del problema, según el análisis de la realidad problemática presentada, el proyecto de investigación busca determinar un objetivo central, para ello se formula, la siguiente pregunta, el cual será motivo de estudio y posteriormente la sustentación.

El problema general del estudio responde a la siguiente pregunta ¿De qué manera influye, la incorporación del grano de caucho en el diseño de la mezcla asfáltica por el método vía seca para mejorar sus propiedades mecánicas, del pavimento de la Avenida Polonia año 2019?

Los problemas específicos responden a cómo explicar de qué manera modifica el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de grano de caucho, para incrementar la resistencia a la fatiga del pavimento de la Avenida Polonia.

- ¿Qué beneficios aporta para la mezcla asfáltica, la incorporación de grano de caucho en una composición de mezcla asfáltica, utilizando el método vía seca, en el pavimento de la Avenida Polonia?
- ¿Cómo incide la incorporación de grano de caucho en la mezcla asfáltica respecto a su resistencia y deformación, utilizando el método vía seca, en la Avenida Polonia?

La justificación del proyecto de investigación da a conocer la problemática con la que se vive día a día, el desorden y la acumulación de llantas en desuso, las cuales se convierten en una grave contaminación ambiental, por otro lado estos materiales ocupan bastante espacio en los vertederos, los cuales se encuentran llenos la mayoría de veces, de igual manera en los botaderos o basureros de techo libre, ocasiona muchos problemas ambientales, por ejemplo cuando llueve el agua empozada rápidamente se fermenta, contrayendo un foco infeccioso al entorno, se prolifera de esta manera la aparición de insectos, mosquitos, roedores, otro problema es que al existir llantas viejas con el alza de temperaturas en épocas de verano estas suelen incendiarse o en todo caso son quemadas a cielo abierto convirtiendo en una gran llama de fuego y contaminación atmosférica, estos gases tóxicos contienen CO<sub>2</sub> y son dañinos para la salud de todo ser vivo, aparecen enfermedades respiratorias, enfermedades en la superficie corporal, en el sistema respiratorio, en el sistema nervioso, en



otras ocasiones se puede contraer cáncer, también se pueden presentar problemas en el desarrollo del bebe.

La justificación del estudio está basada en las herramientas utilizadas que permitirán facilitar el desarrollo de la investigación mediante el empleo de pruebas de ensayo en laboratorio y la aplicación in situ de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de caucho triturado.

La justificación tecnológica de este trabajo de investigación analizará los parámetros de diseño contemplados en la Norma C.E.010 Pavimentos Urbanos (aprobado en el 2010).

Además, contamos con el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG-2013”

Todo lo relacionado a la línea de investigación sobre Infraestructura vial, para que el trabajo guarde relación con las bases y parámetros establecidos por la norma.

La justificación económica es justificable, lo dicen los expertos, o las personas que han estudiado previamente las reacciones del asfalto caucho, y los grandes beneficios que se consiguen en base a estas mezclas modificadas, si bien protege a la superficie de la carpeta asfáltica, lo hace más durable, tiene mejor resistencia a la abrasión, a la humedad, al ahuellamiento, a la fricción, agrietamiento, a la fatiga, al deslizamiento, entre otros factores, múltiples beneficios para ponerlo en práctica, a parte que las llantas en desuso las encontramos en todas partes es cuestión solo de recolectarlas.

Nuestra hipótesis planteada, pretende concretar una respuesta asertiva, según los estudios que se van a realizar y de acuerdo a la pregunta que queremos responder, nuestra hipótesis es la siguiente:

La incorporación del grano de caucho influye significativamente en la mezcla asfáltica en la mejora de sus propiedades mecánicas por el método vía seca, del pavimento de la Avenida Polonia año 2019.

- La incorporación de grano de caucho modifica el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica utilizando el método vía seca en el pavimento de la Avenida Polonia.
- La incorporación del grano de caucho en la mezcla asfáltica por el método vía seca, aumenta la resistencia al ahuellamiento del pavimento de la Avenida Polonia año 2019.

Nuestro objetivo general, responde a la pregunta planteada, por ello vendría hacer:

Demostrar la influencia de la incorporación del grano de caucho en el diseño de mezcla asfáltica por el método vía seca para mejorar sus propiedades mecánicas del pavimento de la Avenida Polonia año 2019.

- Explicar de qué manera la incorporación de grano de caucho modifica el comportamiento mecánico en la mezcla asfáltica utilizando el método vía seca en el pavimento de la Avenida Polonia.
- Determinar cómo incide la incorporación del grano de caucho en la mezcla asfáltica modificada respecto a su resistencia y deformación, utilizando el método vía seca en la Avenida Polonia.



Figura 11. Diseño de mezcla asfáltica

Fuente

([https://www.google.com.pe/search?q=mezcla+asfaltica&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjckaDXrpTiAhVIw1kKHQ03DF4Q\\_AUIDigB&biw=639&bih=602&dpr=1.5#imgrc=ZMKkN8vbjDmGFM:](https://www.google.com.pe/search?q=mezcla+asfaltica&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjckaDXrpTiAhVIw1kKHQ03DF4Q_AUIDigB&biw=639&bih=602&dpr=1.5#imgrc=ZMKkN8vbjDmGFM:)).

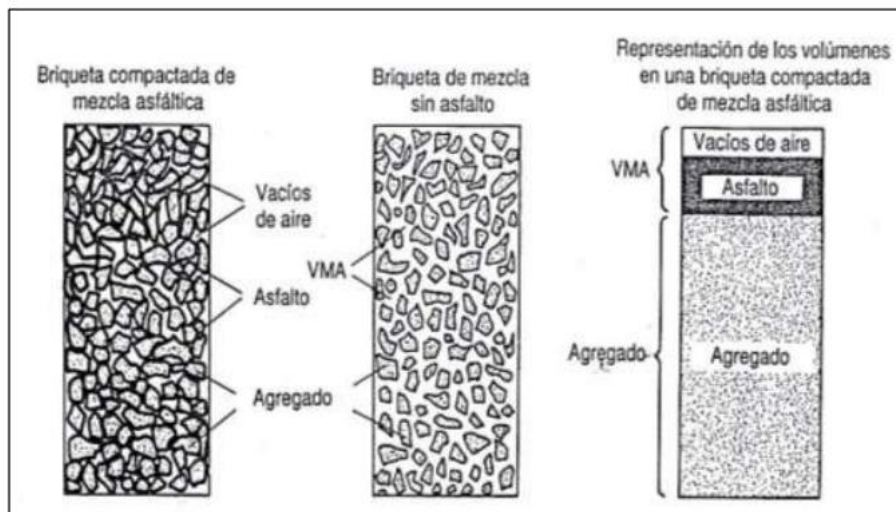


Figura 12. Probeta de mezcla compactada

Fuente: (Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada. Adaptado de Instituto del Asfalto (1982).

<i>Estabilidad Baja</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamientos, y afloramiento o exudación.
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un corto tiempo; dificulta para la compactación.
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas.	Ahuellamiento y canalización

*Figura 13* Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Poca Durabilidad</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Bajo contenido de asfaltos.	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación.	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Agregados susceptibles al agua (Hidrofílicos).	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

*Figura 14* Causas y efectos de una poca durabilidad  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Mezcla Demasiado Permeable</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación Y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

*Figura 15* Causas y efectos de la permeabilidad  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Mala Trabajabilidad</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda.
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable.

*Figura 16*  
 Causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Mala Resistencia a la Fatiga</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

*Figura 17* Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Poca Resistencia al Deslizamiento</i>	
<i>Causas</i>	<i>Efectos</i>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropelaje
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

*Figura 18* Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Ensayos</i>	<i>Norma</i>	<i>Requerimiento</i>	
		<i>Altitud (msnm)</i>	
		$\leq 3.000$	$> 3.000$
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

*Figura 19* Requerimientos para los agregados gruesos.  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Ensayos</i>	<i>Norma</i>	<i>Requerimiento</i>	
		<i>Altitud (msnm)</i>	
		$\leq 3.000$	$> 3.000$
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Índice de Plasticidad (malla N° 200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (**)	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

*Figura 20* Requerimientos para los agregados finos.  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Tamiz</i>	<i>Porcentaje que pasa</i>		
	<i>MAC - 1</i>	<i>MAC - 2</i>	<i>MAC - 3</i>
25,0 mm (1")	100		
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	
12,5 mm (1/2")	67 - 85	80 - 100	
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 µm (N° 40)	14 - 25	17 - 28	16 - 29
180 µm (N° 80)	8 - 17	8 - 17	9 - 19
75 µm (N° 200)	4 - 8	4 - 8	5 - 10

*Figura 21* Requerimientos de usos granulométricos.  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Abertura de malla</i>	<i>Mezcla cerrada</i>								
	<i>Tamaño máximo nominal del agregado</i>								
	<i>2 in</i>	<i>1 1/2 in</i>	<i>1 in</i>	<i>3/4 in</i>	<i>1/2 in</i>	<i>3/8 in</i>	<i>N° 4</i>	<i>N° 8</i>	<i>N° 16</i>
	<i>(50 mm)</i>	<i>(37,5 mm)</i>	<i>(25,0 mm)</i>	<i>(19,0 mm)</i>	<i>(12,5 mm)</i>	<i>(9,5 mm)</i>	<i>(4,75 mm)</i>	<i>(2,36 mm)</i>	<i>(1,18 mm)</i>
2 ½"(63mm)	100	...	...	...	...	...	...	...	...
2"(50mm)	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...	...
1 ½"(37,5mm)	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...	...
1"(25,0mm)	60 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...	...
¾"(19,0mm)	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...	...
½"(12,5mm)	35 - 65	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...	...
3/8"(9,5mm)	...	...	...	56 - 80	...	90 - 100	100	...	...
N°4(4,75mm)	17 - 47	23 - 53	29 - 59	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100	...	100
N°8(2,36mm)	10 - 36	15 - 41	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100	...	95 - 100
N°16(1,18mm)	...	...	...	...	...	...	40 - 80	...	85 - 100
N°30(600µm)	...	...	...	...	...	...	35 - 65	...	70 - 95
N°50(300µm)	3 - 15	4 - 16	5 - 17	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40	...	45 - 75
N°100(150µm)	...	...	...	...	...	...	3 - 20	...	20 - 40
N°200 (75µm)	0 - 5	0 - 6	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10	...	9 - 20

*Figura 22* Gradaciones para mezclas cerradas.  
*Fuente:* Adaptado de Norma ASTM D 3515.



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

*Figura 23* Selección del tipo de cemento asfáltico.  
*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Tipo</i>		<i>Grado Penetración</i>									
<i>Grado</i>	<i>Ensayo</i>	<i>PEN</i>		<i>PEN</i>		<i>PEN</i>		<i>PEN</i>		<i>PEN</i>	
		<i>40-50</i>		<i>60-70</i>		<i>85-100</i>		<i>120-150</i>		<i>200-300</i>	
		<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>	<i>min</i>	<i>máx</i>
<b>Pruebas sobre el Material Bituminoso</b>											
Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Olienses)											
Solvente Nafta - Estándar		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	AASHT O M20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
<b>Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2mm, 5h</b>											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754	0,8		0,8		1,0		1,3		1,5	
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	50		75		100		100			

*Figura 24* Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración *Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Parámetro de Diseño</i>	<i>Clase de Mezcla</i>		
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN (831 kg)	5,44 kN (555 kg)	4,53 kN (462 kg)
3. Flujo 0,01 (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	Ver Tabla 2.15		
<b>Inmersión - Compresión (MTC E 518)</b>			
1. Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (min)	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.		

*Figura 25* Requisitos para mezcla de concreto bituminoso. *Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Ensayos</i>	<i>Norma</i>	<i>Requerimiento</i>	
		$\leq 3.000$	$> 3.000(*)$
Adherencia (Agregado grueso)	MTC E 517	+95	-
Adherencia (Agregado fino)	MTC E 220	4 min. (**)	-
Adherencia (mezcla)	MTC E 521	-	+95
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	-	80 min.

- (\*) mayor a 3000 msnm y zonas húmedas o lluviosas.
- (\*\*) grado inicial de desprendimiento.

*Tabla 2.15.* Vacíos mínimos en el agregado mineral. Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Tamiz</i>	<i>Vacíos mínimos en agregado mineral %</i>
	<i>Marshall</i>
2,36 mm (N° 8)	21
4,75 mm (N° 4)	18
9,50 mm (3/8")	16
12,5 mm (1/2")	15
19,0 mm (3/4")	14
25,0 mm (1")	13
37,5 mm (1 1/2")	12
50,0 mm (2")	11,5

*Figura 26* Requisitos de adherencia.

*Fuente:* Adaptado de Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013).

<i>Criterios para Mezcla del Método Marshall</i>	<i>Transito Liviano</i>		<i>Transito Mediano</i>		<i>Tránsito Pesado</i>	
	<i>Carpeta y Base</i>					
	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta.	35		50		75	
Estabilidad, N (kg.)	3336 (340)		5338 (544)		8006 (816)	
Flujo 0,25 mm (0.01 pulgadas)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	Ver Tabla 2.17					
Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

*Figura 27* Criterios del Instituto del Asfalto (USA) para el diseño Marshall.  
*Fuente:* Adaptado de Instituto del Asfalto (1982).

<i>Máximo tamaño de partícula nominal</i>		<i>Porcentaje mínimo VMA</i>		
		<i>Porcentaje diseño vacíos de aire</i>		
<i>mm</i>	<i>in</i>	<i>3.0</i>	<i>4.0</i>	<i>5.0</i>
1.18	Nº 16	21.5	22.5	23.5
2,36	Nº 8	19.0	20.0	21.0
4,75	Nº 4	16.0	17.0	18.0
9,50	3/8.	14.0	15.0	16.0
12,5	½.	13.0	14.0	15.0
19,0	¾.	12.0	13.0	14.0
25,0	1.0	11.0	12.0	13.0
37,5	1.5	10.0	11.0	12.0

*Figura 28* Mínimo porcentaje de vacíos mínimos en el agregado mineral.  
*Fuente:* Adaptado de Instituto del Asfalto (1982).

## **II. MÉTODO**

## **2.1 Método: Científico**

Creswell (2013) y Reichardt (2004) denominan a los experimentos como estudios de intervención, debido a que un investigador produce una situación para sustentar como afecta a los que intervienen como variable, ellos mencionan que la experimentación es bienvenida siempre y cuando se actúe con ética, por ejemplo no se debe experimentar con seres humanos con un virus nuevo para saber cómo evoluciona, una investigación con diseño experimental es cuando se manipulan las variables de forma adrede, por ejemplo la variable independiente que es la causante, después compararlo con la dependiente y medir su efecto, de esta manera se ve si una variable ejerce acción sobre la otra.

En esta investigación se manipulará la mezcla asfáltica convencional incorporándole un porcentaje de grano de caucho reciclado con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas de la misma por lo tanto es una investigación con diseño experimental toda vez que se está manipulando la variable dependiente a fin de modificarla con la intervención de la variable independiente (grano de caucho reciclado)

## **2.2 Tipo: Aplicada**

Para Ibáñez (2017) “La investigación aplicada pretende dar soluciones de forma práctica a los problemas concretos y no pretende desarrollar teorías o principios” (p. 42).

El trabajo es una investigación aplicada; ya que se le practicarán los ensayos correspondientes a los agregados antes de aplicarle el ensayo Marshall al diseño de mezclas asfálticas para determinar la cantidad optima de asfalto, estabilidad, fluencia y las resistencias correspondientes que la modificación causara.

## **2.3 Nivel: Descriptivo – Correlacional**

Morales (2010) es utilizado para medir dos variables se correlacionan entre sí, es decir la magnitud de variaciones que sufre una variable a causa de las modificaciones experimentadas en la otra variable.

De acuerdo a los ensayos realizados en esta investigación donde se pretende modificar mezcla asfáltica convencional incorporándole grano de caucho se obtendrán diversos resultados que serán objeto de comparación y estudio con la mezcla asfáltica convencional además de mantener correlación directa entre las dos variables dependiente e independiente.

## **2.4 Diseño: Experimental**

Para Hernández (2014) se le llama diseño experimental cuando se manipula intencionalmente la variable independiente con la finalidad de modificar los resultados (p. 129). Esto nos permite identificar y cuantificar las causas efectuadas en la variable independiente y los efectos logrados en la variable dependiente.

La presente investigación tendrá un diseño experimental pues en este caso se manipulará la granulometría y el porcentaje de grano de caucho (variable independiente) con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada (variable dependiente) en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

## **2.5 Operacionalización de Variables**

### **2.5.1 Identificación de variables**

Variable Independiente: Grano de Caucho (X)

Variable Dependiente: Mezcla asfáltica (Y)

### **2.5.2 Operacionalización de variables**

La variable independiente consta de una dimensión, mientras que la variable dependiente consta de dos dimensiones toda vez que es la variable que tendrá modificaciones a causa de la manipulación intencional en la variable independiente.

### 2.5.3 Matriz de consistencia de Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADOR	ESCALA O MEDICIÓN
Variable Independiente  <b>Grano de Caucho</b>	Los cauchos reciclados son los componentes de las llantas, es un derivado del látex, estas se pueden utilizar sin procesar o reducirlos de tamaño, para poder lograr granos pequeños, las técnicas pueden ser totalmente mecánicas o los que combinan tratamientos mecánicos con químicos y térmicos (Sánchez y Campagnoli, 2016, Pavimentos asfálticos de carreteras).	Las partículas de caucho tienen como procedencia, las llantas de los neumáticos sin servicio, y que se utilizan como modificadores de asfalto debe ser menor a 6.3 mm. De acuerdo con Tortum (2005), el tamaño con el cual se experimentan mejores comportamientos en las mezclas parece ser de 0.425mm (tamiz N° 40, en un ensayo de <b>granulometría</b> por tamizado),(Rondón y Reyes, 2015, Pavimentos).	<b>Porcentaje de grano de caucho</b>	Son todos los materiales granulares no ligados, llamados también agregados pétreos, son partículas provenientes de roca triturada o grava natural triturada, los cuales se encuentran combinados, son medibles y graduados con el fin de ser clasificadas para ser consideradas mecánicamente estables, trabajables y fáciles de compactar (Sánchez y Campagnoli, 2016, Pavimentos asfálticos de carreteras).	Granulometría del grano de caucho reciclado	Escala de Intervalo
					Peso Específico del grano de caucho	Escala de Intervalo



<p><b>Variabl e dependiente</b></p>	<p>Es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo cementado y un producto asfáltico que se coloca sobre la base.</p>	<p>La capa superior se encuentra en contacto directo con las cargas del tránsito. Sus funciones principales son: soportar la abrasión producida por éste soportar adecuadamente los efectos de la lluvia y la temperatura y minimizar la infiltración del agua superficial,</p>	<p><b>Composición de la mezcla</b></p>	<p>Es uno de los primeros mecanismos de daño de capas asfálticas en estructuras de pavimentos flexibles y semirrígidos, es la deformación vertical constante que se va almacenando en toda la estructura de la vía, por motivo de la circulación permanente de los vehículos, esto conlleva a la aparición de huellas delgadas de forma longitudinal, distribuidas en la superficie de la carpeta de rodadura (Wang y Zhang, 2009).</p>	<p>Agregados pétreos -Ligante asfáltico Mezcla Condiciones de campo</p>	<p>Escala Nominal Escala Nominal Escala Nominal Escala Nominal</p>
<p><b>Mezcla asfáltica</b></p>	<p>El contenido, el espesor de la carpeta asfáltica lo define el diseño estructural del pavimento (Pavimentos asfálticos de carreteras, Sánchez y Campagnoli, 2016)</p>	<p>también deberá presentar una elevada <b>resistencia al daño inducido por la humedad y un valor mínimo a la pérdida por desgaste</b> (Pavimentos asfálticos de carreteras, Sánchez y Campagnoli, 2016).</p>	<p><b>Resistencia al desgaste y al daño inducido por la humedad.</b></p>	<p>Los principales mecanismos de degradación que se intentan controlar en las metodologías empíricas y mecánicas de diseño del pavimento son la fatiga y el exceso de deformación permanente en la dirección vertical, el fenómeno de fatiga es uno de los principales mecanismos de daño de mezclas asfálticas en servicio (Pavimentos, Rondón y Reyes, 2015)</p>	<p>Resistencia al daño inducido por la humedad  Valor de la Pérdida por desgaste</p>	<p>Escala Nominal Escala Nominal Escala Nominal Escala Nominal</p>

### 2.5.4 Matriz de Consistencia

<b>PROBLEMA GENERAL</b>	<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL</b>
¿De qué manera cambia sus propiedades mecánicas con la incorporación del grano de caucho el diseño de la mezcla asfáltica por el método vía seca?	Determinar los cambios en sus propiedades mecánicas al diseño de la mezcla asfáltica con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca.	El diseño de la mezcla asfáltica por el método vía seca, mejora significativamente en sus propiedades mecánicas con la incorporación del grano de caucho.
<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b>
¿Qué beneficios aporta en el comportamiento mecánico, la incorporación de grano de caucho en una composición de mezcla asfáltica, utilizando el método vía seca, en función de los parámetros del ensayo Marshall?	Diferenciar el comportamiento mecánico en función de los parámetros del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica modificada con la incorporación de grano de caucho, utilizando el método vía seca en comparación con la mezcla asfáltica convencional.	la mezcla asfáltica modificada con la incorporación de grano de caucho por el método vía seca, mejora significativamente los parámetros del ensayo Marshall con respecto a la mezcla asfáltica convencional.
¿Cómo incide la incorporación de grano de caucho en la mezcla asfáltica modificada respecto a su resistencia al daño inducido por la humedad y el valor de la pérdida por desgaste en comparación con la mezcla asfáltica convencional?	Demostrar el valor de la pérdida por desgaste y la resistencia a al daño inducido por la humedad de las mezclas asfálticas convencional y modificada con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca.	La mezcla asfáltica modificada con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca, aumenta la resistencia al daño inducido por la humedad y tiene menor pérdida por desgaste en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

## 2.6 Población y Muestra

### Población

Lepkowsky (2008) comunica que población es el universo, y esta a su vez, es un conjunto de todos aspectos que guardan relación entre sus elementos, es decir comparten características en común.

Para nuestro proyecto de investigación la población será todas las briquetas realizadas con la mezcla asfáltica convencional y las que fueron realizadas con mezcla asfáltica modificada con grano de caucho método vía seca a ensayar en el laboratorio,

### Muestra

Sampieri (2014) menciona que se denomina muestra a una pequeña agrupación del universo, se le conoce también como porción, del cual se extrae información valiosa, estos datos deben representar idóneamente a la población.

Para nuestro trabajo de investigación la muestra será:

### Número de muestras para los ensayos de caracterización y desempeño de la mezcla asfáltica convencional y modificada.

---

<i>Mezclas</i>	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>					<i>Número de muestras</i>
	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>	
<i>0.0%</i>	3	3	3	3	3	15
<b>140 - 145°C</b>						
<i>0.5%</i>	3	3	3	3	3	15
<i>1.0%</i>	3	3	3	3	3	15

1.5%	3	3	3	3	3	15
<b>Resistencia al daño inducido por la humedad – AASHTO T283</b>						
0.0%	-	-	6	-	-	6
<b>140 - 145°C</b>						
0.5%	-	-	-	6	-	6
<b>Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del Ensayo Cántabro de pérdida por desgaste - MTC E 515</b>						
0.0%	-	-	4	-	-	4
<b>140 - 145°C</b>						
0.5%	-	-	-	4	-	4
<b>Total, número de muestras</b>						<b>80</b>

Tabla 2 (Fuente Propia)

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

### Técnicas

Según las literaturas seleccionadas debemos someter nuestros ensayos a diferentes pruebas en laboratorio los cuales servirán como datos referenciales para poder obtener dicha mezcla modificada o componente asfalto-caucho. Básicamente las técnicas empleadas con la de ensayos en laboratorio, los instrumentos de recolección de datos podrán ser muestras de la zona a intervenir para conocer el material actual del pavimento, los cuales serán estudiados en laboratorio y en base a ello elaborar nuestra mezcla asfáltica modificada.

## **Instrumentos**

En este trabajo de investigación se utilizarán las Fichas de recolección de datos, las fichas de inspección, los cuales servirán para registrar datos de las muestras de los ensayos en laboratorio.

## **Confiabilidad**

Para este trabajo de investigación la confiabilidad es muy cercana, ya que el laboratorio en la cual se va a realizar los ensayos, cuenta con los certificados acreditados, y son especialistas en este tipo de estudios que tiene que ver con el asfalto.

## **Validez**

El factor validez en nuestro trabajo de investigación lo determinará los expertos, ya que son conocedores de este tipo de estudios, y además en el laboratorio obtendremos los resultados con el cual el instrumento a utilizar podrá validar o garantizar su resultado.

## **2.8 Método de análisis de datos**

Según León y Montero (2003) "En estos estudios, a diferencia de los estudios cuantitativos se busca recaudar información sobre las peculiaridades de los sujetos estudiados. Así que su manera de trabajar es en no estructurar el modo en que se recoge los datos, independientemente de la técnica que se haya empleado" (p.215).

## **2.9 Aspectos éticos**

Sobre los aspectos éticos, es necesario por el principio de veracidad y legalidad difundir nuestro proyecto de investigación, de manera objetiva, sin la necesidad de incurrir a actos de plagio, réplicas, información falsa, o imitación parcial de trabajos existentes, por el contrario de debe fomentar la originalidad, la autenticidad, la innovación, el respeto ante lo ajeno, manteniendo la línea de investigación y los lineamientos de autenticidad.

El otro aspecto ético sería que todo trabajo realizado en campo no afectare a los transeúntes ni vehículos en movimiento, cumpliendo las normas de seguridad, señalización de tráfico y evitando el embotellamiento innecesario, para ello el tramo en estudio no es de mucha afluencia vehicular, además, solo se trabajara en un solo carril.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1 Análisis de Resultados

En este capítulo presentaremos los resultados obtenidos después de una larga investigación teórica y práctica en los laboratorios de Suelos y Asfalto del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, ubicado en la Av. Túpac Amaru N° 180 Rímac, costado del Country Club Fuerte Hoyos Rubio.

La finalidad de mostrar los resultados es dar a conocer los diferentes comportamientos que presenta la mezcla asfáltica, uno de ellos es que se concentra en encontrar la solución a problemas mecánicos, el cual dependerá de las proporciones de granos de caucho y la forma de empleo de los mismos.

El otro objetivo que queremos dar a conocer es mitigar los impactos ambientales negativos que generan la acumulación significativa de los neumáticos fuera de uso.

Estos resultados contienen procedimientos y ensayos aplicados, poseen características principales de los materiales empleados, presenta criterios con base teórica para seleccionar mezclas asfálticas que puedan cumplir los requisitos mínimos para su procesamiento, cada proceso con sus respectivos resultados, los resultados obtenidos fueron contrastados bajo la realización de un trabajo de campo, el cual requirió de realizar excavaciones en la Avenida Republica de Polonia, ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho, en las intersecciones con la Av. San Martín, Av. Santa Rosa y la Av. Buenos Aires, fue necesario tener tres diferentes tipos de tierra, por ello se tuvo que evaluar tres calicatas en diferentes tramos de la avenida, también se realizó estudios de corte directo con equipo DPL para hallar la capacidad portante del terreno, requisito indispensable para conocer las características del suelo en la cual se piensa asfaltar dicha mezcla.

La Avenida escogida reúne las características necesarias para brindar un resultado más cercano al fin del estudio, según la tabla de los requerimientos Marshall, la zona a intervenir se ubica como una avenida de tráfico pesado, para lo cual se necesitó la fabricación de briquetas, fue necesario realizar 75 golpes de compactación por cada briketa en uso.

Es necesario iniciar con una mezcla asfáltica convencional, primero para ver el resultado estándar o resultado base, posteriormente con la incorporación de granos de caucho a través de la vía seca, con la finalidad de comparar la diferencia que existe en el



comportamiento mecánico de la mezcla en estudio. Luego al agregar distintas proporciones de granos de caucho se puede apreciar diferentes resultados en otros casos no hay mucha diferencia, gracias a las distintas pruebas podemos afirmar que esta mezcla convencional cumple con los requisitos mínimos de una mezcla asfáltica en caliente, bajo los términos del Manual de Carreteras y Especificaciones Técnicas Generales para Construcción año 2013.

### 3.2 Estudio de Suelos

Se realizó el estudio de suelo, que fue fundamental para tomar decisiones referentes a las proporciones empleadas para los ensayos, se trabajó en tres calicatas, cada uno ubicadas en diferentes tramos de la avenida República de Polonia, para conocer los diferentes características de los suelos y cómo responden ante la aplicación de las distintas mezclas la convencional y la creada a base de la incorporación de grano de caucho, estos ensayos estuvieron realizados bajo la compactación de proctor NTP 339.141 modificado, bajo el análisis granulométrico y el ensayo de penetración dinámica.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos.

<b>CALICATAS</b>			
<b>Capacidad de carga Kg./cm<sup>2</sup></b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Capacidad última de carga	5.41	4.61	4.39
Factor de seguridad	3.00	3.00	3.00
Capacidad admisible de carga	1.80	1.54	1.46

*Figura 29* Resultados del ensayo: Capacidad portante de suelos  
(Fuente Propia)

De estos resultados la capacidad admisible requerida para esta investigación será de 1.46 Kg./cm<sup>2</sup>.

### **3.3 Materiales**

#### **3.3.1 Cemento asfáltico**

Es uno de los materiales más importantes de la mezcla asfáltica, este cemento se puede encontrar de dos tipos: los sólidos y semisólidos de característica aglomerante que se ablanda cada cierto tiempo al aumentar o disminuir las temperaturas, son constituidos por hidrocarburos pesados provenientes del petróleo refinado.

Las evaluaciones del estudio se han llevado a cabo en la ciudad de Lima, en el distrito de San Juan de Lurigancho, correspondiente a la zona 04, considerada como zona de alto riesgo, con un factor de  $Z = 0.45$  (aceleración máxima horizontal).

El cemento generalmente ha trabajado con mucho éxito en las obras de pavimentación por ser un material termoplástico, repelente al agua y resistente a los ácidos.

Los criterios para seleccionar el tipo de cemento asfáltico, se dieron en base a un análisis de sus componentes.

Según el manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción año 2013, el cual indica que para la temperatura media anual se encuentra entre 15°C y 24°C, a veces mayor a 24°C, por lo cual se recomienda emplear el cemento asfáltico de grado de penetración PEN 60 - 70, llamado también asfalto de petróleo o asfalto para carreteras, es idóneo para obras de pavimentación, por lo que presenta propiedades y características adecuadas, es de naturaleza viscosa de color negro, se emplea con la combinación de grava y arena en la pavimentación de carreteras, autopistas, caminos y demás vías.

## ESPECIFICACIONES

ENSAYOS	ASTM/MTC	Uds	MÉTODO		Resultado
			Mínimo	Máximo	
	D-5 / T-49	dmm	60	70	65
PENETRACIÓN a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm					
VOLATILIDAD Gravedad específica a 15.6/15.6 °C	D-70 / T-228			Reportar	
Punto de inflamación, Cleveland, copa abierta °C	D-92 / T-46			232	
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	D-113 / T-51			100	
SOLUBILIDAD, % masa	D-2042, D7553/T-44			99.0	
SUSCEPTIBILIDAD TERMINCA Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:	D-1754 / T-179				
Perdida por calentamiento, % masa	D-5 / T-49			0.8	
Penetración retenida, % del original	D-113 / T-51			52+	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	Frances RLB		-1.0	+1.0	
Índice de susceptibilidad termina FLUIDEZ	D-2170 / T-201			Reportar	
Viscosidad cinemática a 100°C, cSt	D-2170 / T-201			200	
Viscosidad cinemática a 135°C,					

*Figura 30*

Resultados del ensayo de caracterización del cemento asfáltico PEN 60-70.

*Fuente Propia*

### REQUERIMIENTO GENERAL:

El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.

### 3.4 Agregados

El material utilizado en el mezclado, posee características como: dureza, textura, limpieza, agregados gruesos triturados, arena chancada, estos finos son limpios y no plásticos, estas condiciones benefician la calidad de la mezcla asfáltica.

- Agregado Grueso TM 3/4" (ver Tabla 4.2 y Figura 4.1).
- Agregado Grueso TM 3/8" (ver Tabla 4.3 y Figura 4.2).
- Agregado Fino. (ver Tabla 4.4 y Figura 4.3).

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	Piedra Chancada 3/4" Cant. La Gloria		Arena Chancada Cant. La Gloria							
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400										
3/4"	19.050		100.0								
1/2"	12.700	15.0	85.0								
3/8"	9.525	29.0	56.0								
1/4"	6.350	30.0	26.0								
N° 4	4.760	20.0	6.0		100.0						
N° 6	3.360	6.0	-	10.0	90.0						
N° 8	2.380	-	-	11.0	79.0						
N° 10	2.000	-	-	9.0	70.0						
N° 16	1.190	-	-	12.0	58.0						
N° 20	0.840	-	-	9.0	49.0						
N° 30	0.590	-	-	8.0	41.0						
N° 40	0.426	-	-	7.0	34.0						
N° 50	0.297	-	-	6.0	28.0						
N° 80	0.177	-	-	5.0	23.0						
N° 100	0.149	-	-	6.0	17.0						
N° 200	0.074	-	-	7.0	10.0						
-200	-	-	-	10.0	-						

Figura 31 . Agregado grueso TM 3/4 - Gradación  
Fuente Propia



Figura 32 Agregado Grueso TM 3/4”  
Fuente Referencial

AGREGADO GRUESO								
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA	
			ANTES	DESPUÉS				
2"	1 1/2"	A-5						
1 1/2"	1"	P-40						
1"	3/4"	K-15						
3/4"	1/2"	S-17	760.0	639.4	15.87	15	2.38	
1/2"	3/8"	D-5	1510.0	1350.8	10.54	29	3.06	
3/8"	N°4	L-31	2600.0	2344.4	9.83	50	4.92	
TOTAL :						94.00	10.36	

CANTERA (ARENA)

AGREGADO FINO								
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA	
			ANTES	DESPUÉS				
3/8"	N°4	1A						
N°4	N°8	2A						
N°8	N°16	5A						
N°16	N°30	3A						
N°30	N°50	4A						
N°50	N°100							
N°100	--							
TOTAL :						0.00	0.00	

Figura 33 TM 3/8 de agregado grueso - Gradación.  
Fuente Propia



*Figura 34* TM 3/8 de agregado grueso - Gradación.



*Figura 35* Agregado Grueso TM 1/4"



Figura 36 Agregado Fino

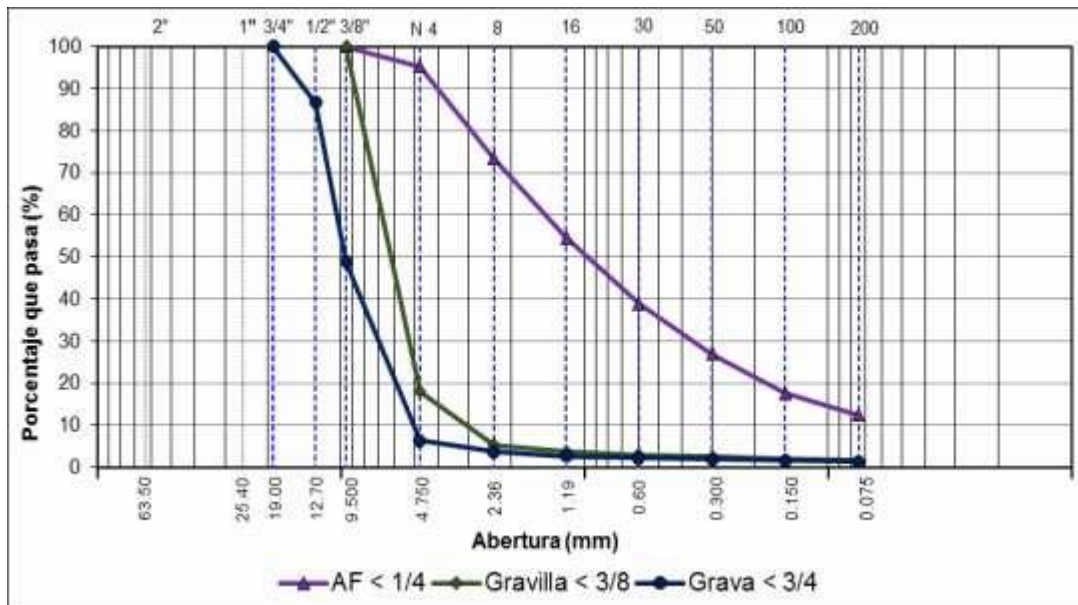


Figura 37

Curva de distribución granulométrica individual de 3 tipos de agregados.

Fuente: Resultado de la Investigación

**Porcentaje de combinación de agregados.**

<i>Agregados</i>	<i>Porcentaje</i>
grueso TM 3/4"	100%
grueso TM 3/8"	85%
Arena Fina	100%

*Tabla 3* Fuente Propia

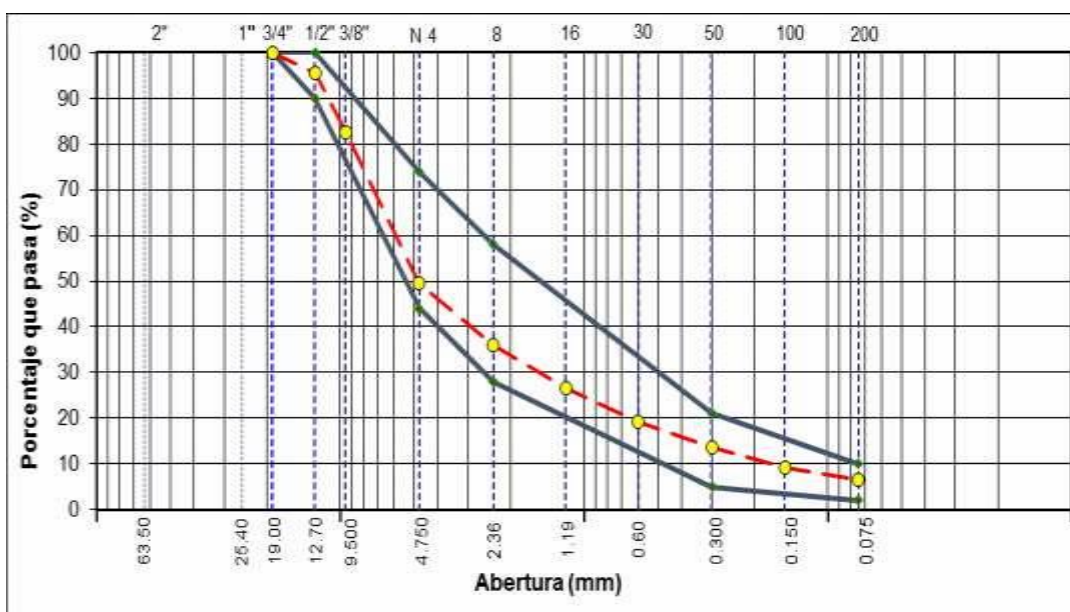


Figura 38 Gradación combinada

*Fuente:* Resultado de la Investigación



**Características físicas del agregado grueso.**

<i>Ensayo</i>	<i>Norma MTC</i>	<i>Resultado</i>	<i>Requerimiento</i>	<i>Criterio De Aceptación</i>
Durabilidad (Sulfato de magnesio)	MTC E 209	94	10.36% máx.	Cumple
Abrasión	MTC E 207	16	15.8% máx.	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	94	10.36% min.	Cumple
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 211	9.4	8.7% máx.	Cumple
Caras Fracturadas	MTC E 210	92.6 / 89.5	90.5% / 80.6%	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.02	0.5% máx.	Cumple
Adherencia	MTC E 519	10a	> 5	Cumple
Absorción (*)	MTC E 206	0.44	1.0% máx.	No Cumple

*Tabla 4 Fuente: Resultado de la Investigación*

## Características físicas del agregado fino.

<i>Ensayo</i>	<i>Norma MTC</i>	<i>Resultado</i>	<i>Requerimient o</i>	<i>Criterio De Aceptació n</i>
Equivalente de Arena	MTC E 114	78	60% min.	Cumple
Angularidad	MTC E 222	45	30% min.	Cumple
Índice de Plasticidad (Malla N° 40)	MTC E 111	NP	NP	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	69	35% min.	Cumple
Índice de Plasticidad (Malla N° 200)	MTC E 111	NP	4% máx.	Cumple
Sales Solubles	MTC E 219	0.04	0.50% máx.	Cumple
Absorción (*)	MTC E 206	1.4	0.50% máx.	No Cumple

Tabla 5 Resultado de la Investigación

### 3.5 Diseño de mezcla asfáltica convencional.

#### 3.5.1 Ensayo Marshall

Este ensayo nos permitirá conocer la cantidad adecuada de asfalto (contenido óptimo) que será necesaria para nuestro diseño en la mezcla convencional. Para ello se utilizaron los porcentajes de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% y 6.0%, las cuales se muestran en la siguiente figura.



*Figura 39*

Probetas Marshall de la mezcla asfáltica convencional con diferentes porcentajes de asfalto.

**Resultado del diseño Marshall de la mezcla convencional.**

*Diseño Marshall de mezcla (T° mezcla: 140-145° C y T° compactación: 140-145° C) Parámetros de Diseño Unidad*

**Resultados**

		4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Cemento Asfáltico	%	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Densidad	kg/cm <sup>3</sup>	2.427	2.431	2.440	2.445	2.457
Estabilidad	kg	934.0	3675.0	11.34	1076.0	984.0
Flujo	0.01"	2.6	2.9	3.0	3.1	3.2
Vacíos	%	6.0	5.1	4.0	3.0	1.8
Vacíos Agregado Mineral	%	14.1	14.3	14.5	14.8	14.8

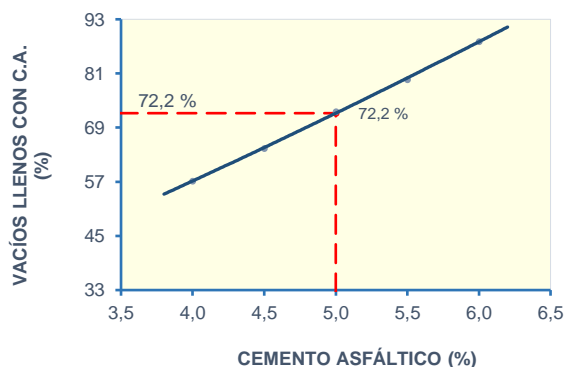
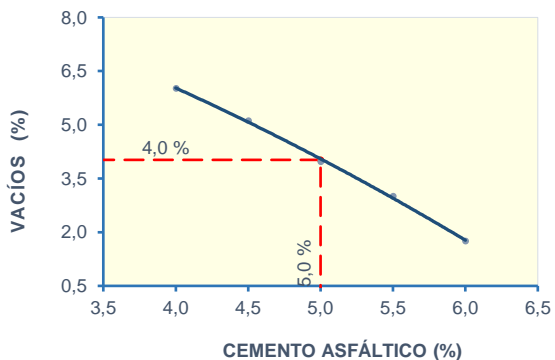
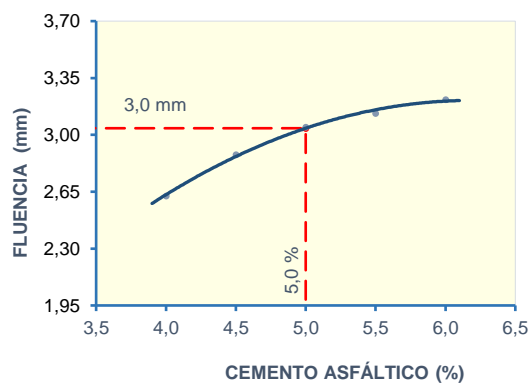
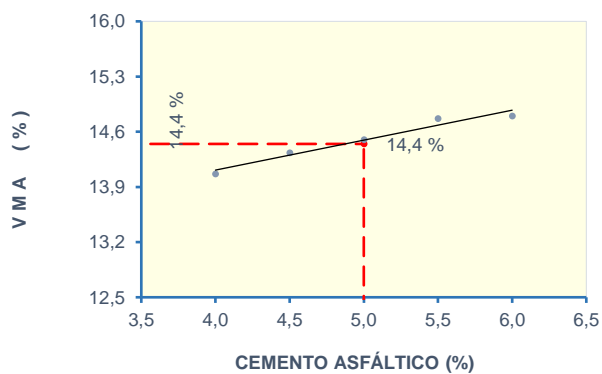
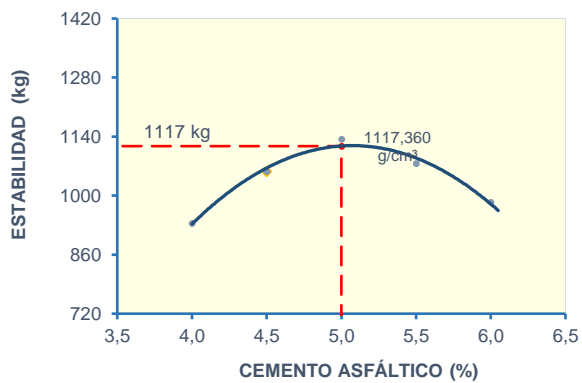
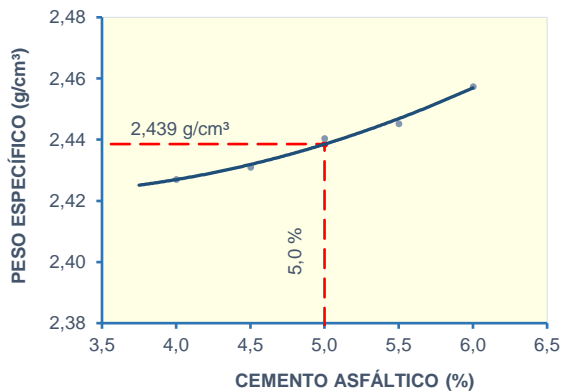
*Tabla 6*

Resultado del diseño Marshall de la mezcla convencional.



*Figura 40* Aplicando compresión diametral a la briqueta convencional en la maquina marshall

**Ensayos para medir las mezclas bituminosas convencionales usando el método Marshall**



<i>Parámetro de diseño de la mezcla convencional</i>	<i>Diseño Requerimientos</i>		<i>Criterio de aceptación</i>
Óptimo Cemento Asfáltico (%)	5.0		----
Granulometría	ok	Huso D-5 (ASTM D3515)	Cumple
<b>Marshall MTC E 504</b>			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	75	
2. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2.439	-	----
3. Estabilidad (mínimo) (kg.)	1117.4	8.15 kN / 831 kg	Cumple
4. Flujo (0.01" / 0.25mm)	3.0	8 - 14 / 3 - 5	Cumple
5. Relación estabilidad - flujo (kg/cm)	3675.0	1700 - 4000	Cumple
6. prueba de tracción indirecta AASTHO T 283 (%)	4.0	3% - 5%	Cumple
7. Vacíos en el agregado mineral (%)	14.4	14 % min	Cumple
8. Relación polvo - asfalto	1.30	0.6 - 1.3	Cumple
<b>Índice de Compactibilidad</b>	6.3	5% min	Cumple
<b>Resistencia conservada en la</b>			
	84.9	80% min	Cumple

Tabla 7

*Requerimientos EG-2013 de la mezcla asfáltica convencional y diseño Marshall.*

Fuente: Resultado de la Investigación

### 3.5.2 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho mediante proceso por vía seca.

#### Grano de caucho

El caucho triturado empleado en este trabajo de investigación lo adquirimos con un proveedor local “Star Grass”, ubicado en la calle Llumpa 830 Los Olivos, a dos cuadras de las Av La Palmeras con Av. Naranjal quien brinda el servicio de venta de caucho granulado para canchas de grass sintético, costando el saco de 30kg a s/50.00. Este producto es obtenido del reciclado de neumáticos en desuso, para luego ser triturado con la máquina trituradora de llantas ZTTS, el cual separa las llantas de los elementos de metal que contiene un neumático.



*Figura 41* Muestra del Grano de Caucho referencial  
*Fuente* Imagen Referencia

### Granulometría de los granos caucho original

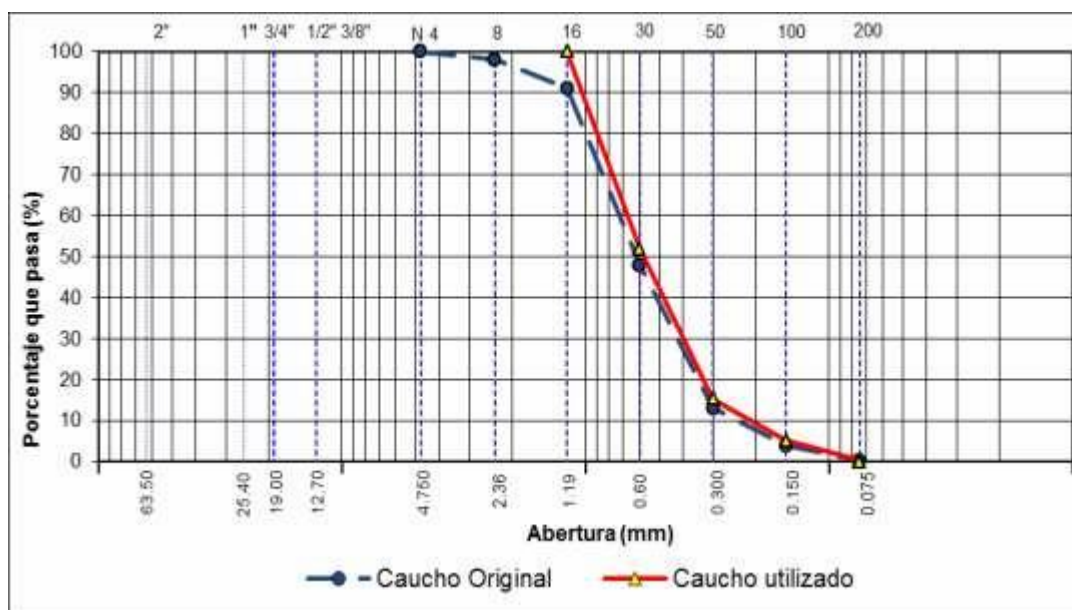
<i>Tamiz</i>		
		<i>Porcentaje que Pasa %</i>
<i>ASTM</i>		
<i>m</i>	<i>m</i>	
N° 4	4.75	100.
	0	0
N° 8	2.36	98.0
	0	
N° 16	1.19	91.0
	0	
N° 30	0.60	48.0
	0	
N° 50	0.30	13.0
	0	
N° 100	0.15	4.0
	0	
N° 200	0.07	0.3
	5	

*Tabla 8* Grano de caucho suministrado por Caucho Perú.  
*Fuente:* Resultado de la Investigación



<i>Tamiz</i>		<i>Porcentaje que Pasa %</i>
<i>ASTM</i>	<i>mm</i>	<i>CEDEX 2007 – P2</i>
Nº 16	<i>Utilizado</i>	1.19
Nº 30		0.6
Nº 50		0.3
Nº 100		0.15
Nº 200		0.075

*Figura 42* Granulometría del grano de caucho utilizado  
*Fuente:* Resultado de la Investigación



*Figura 43*  
 Curva de gradación de los granos de caucho original y utilizado.  
*Fuente:* Resultado de la Investigación



*Figura 44*

Muestra de caucho para hallar la cantidad de acero libre

*Fuente:* Resultado de la Investigación

#### **Determinación del contenido óptimo de asfalto y porcentaje de caucho.**

Para este procedimiento se ha determinado de acuerdo al tipo de materiales que la temperatura sea de 140°C y el proceso de digestión sea de dos horas, el mismo que será aplicado a las diferentes briquetas construidas convenientemente con diferentes características en contenido de asfalto así mismo con diferentes porcentajes de contenido de caucho de tal manera que al ser aplicada en el aparato Marshall de acuerdo a la sección MTC E504, pueda arrojar diferentes resultados con los cuales se pueda determinar el contenido óptimo de asfalto y el porcentaje adecuado de caucho para nuestro diseño de mezcla asfáltica modificada con respecto a la mezcla asfáltica convencional.



*Figura 45*  
Probetas de mezcla asfáltica modificada a temperatura de 140°C.  
*Fuente:* Resultado de la Investigación



*Figura 46*  
Ensayo Marshall de la mezcla asfáltica modificada con caucho.  
*Fuente:* Resultado de la Investigación

### 3.5.3 Porcentaje óptimo de asfalto y caucho.

Para determinar el contenido óptimo de asfalto y el porcentaje adecuado de caucho ha sido necesaria la fabricación de briquetas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico de 4.0%, 5.0%, 5.5% y 6.0% del mismo modo se aplicaron los porcentajes de caucho 0.5%, 1.0% y 1.5% para cada una respectivamente con un proceso de digestión por dos horas y la temperatura de 140°C. que nos permite visualizar de una forma más comparativa y determinar el contenido óptimo de asfalto caucho.

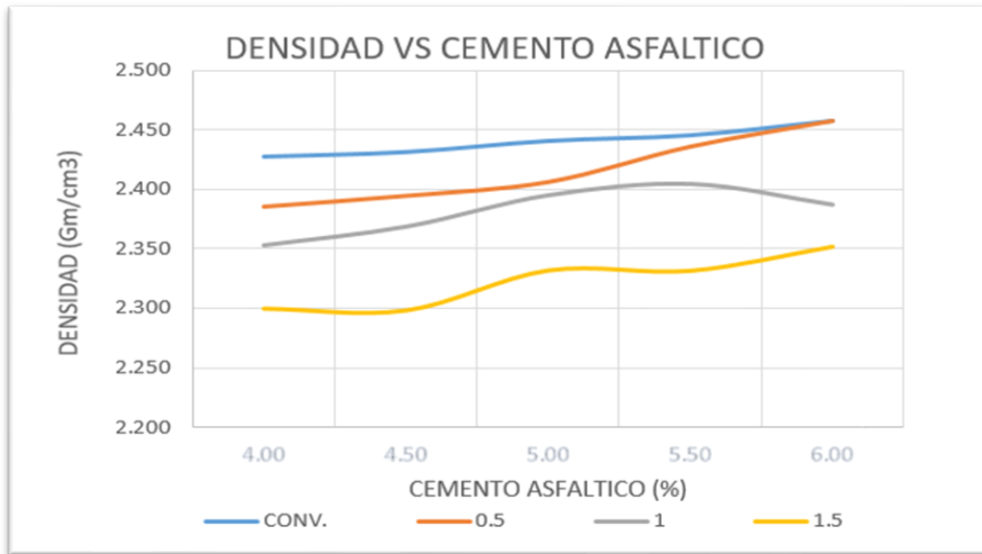
- **Densidad.**

A continuación, se encuentran los parámetros de la densidad obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

	<i>Densidad (gr/cm<sup>3</sup>)</i>				
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>				
Mezclas	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	2.427	2.431	2.440	2.445	2.457
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	2.385	2.394	2.406	2.436	2.457
1.0%	2.352	2.368	2.395	2.404	2.387
1.5%	2.300	2.299	2.332	2.331	2.351

*Tabla 9 Resultados de densidad para mezclas con temperatura de digestión de 140 - 145°C.*

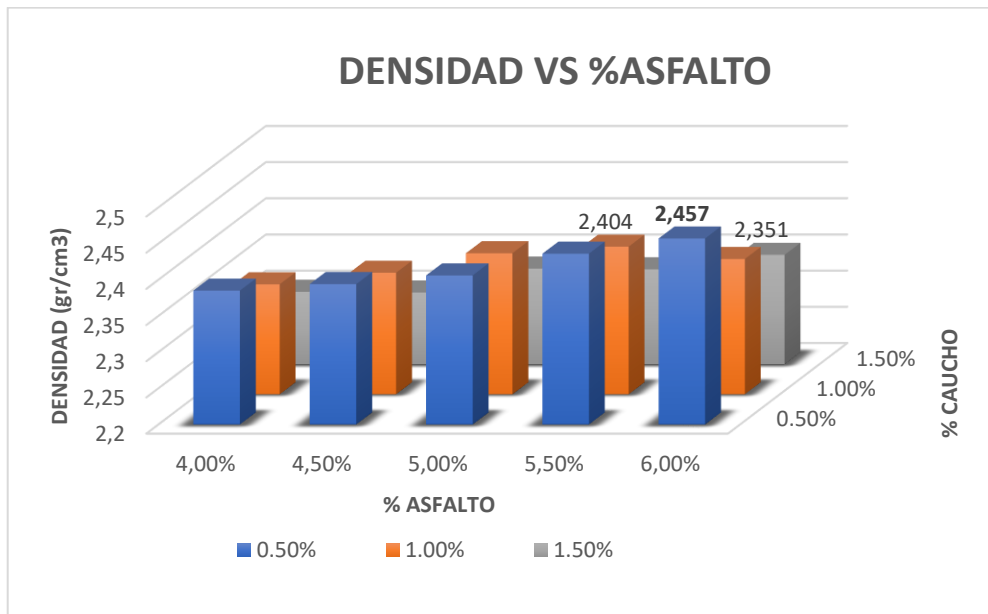
Fuente: Resultado de la investigación



*Figura 47*

Variación de densidad respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezclas modificadas con caucho a 140 - 145°C.

*Fuente:* Resultado de la Investigación



*Figura 48*

Variación de la densidad de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5% .

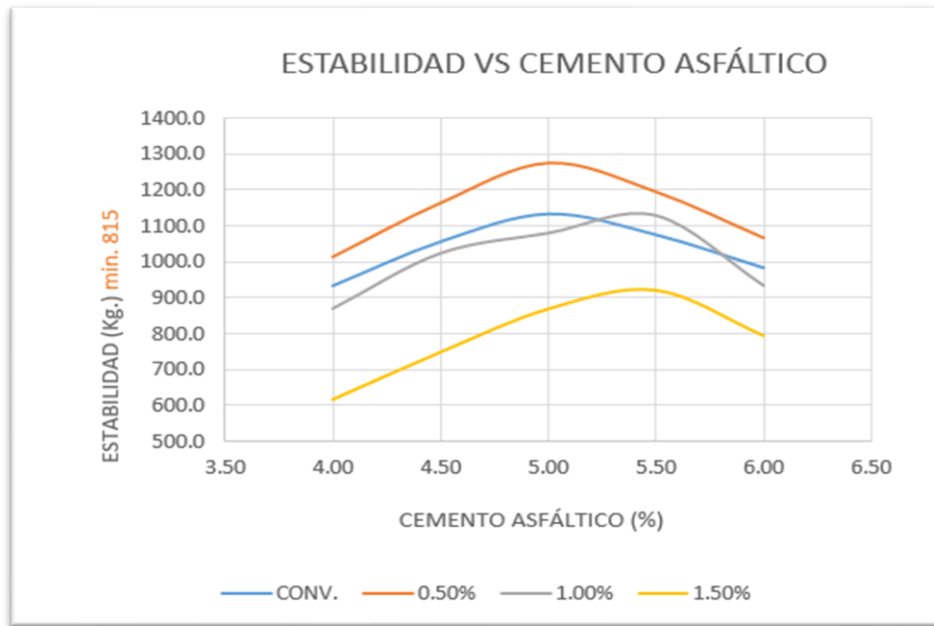
*Fuente:* Resultado de la Investigación

- **Estabilidad.**

A continuación, se encuentran los parámetros de la estabilidad obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

<i>Estabilidad (kg.)</i>					
<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>					
<i>Mezclas</i>	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	934.0	1057.0	1034.0	1076.0	984.0
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	1014.0	1164.0	1275.0	1195.0	1067.0
1.0%	872.0	1026.0	1082.0	1031.0	936.0
1.5%	618.0	750.0	870.0	922.0	796.0

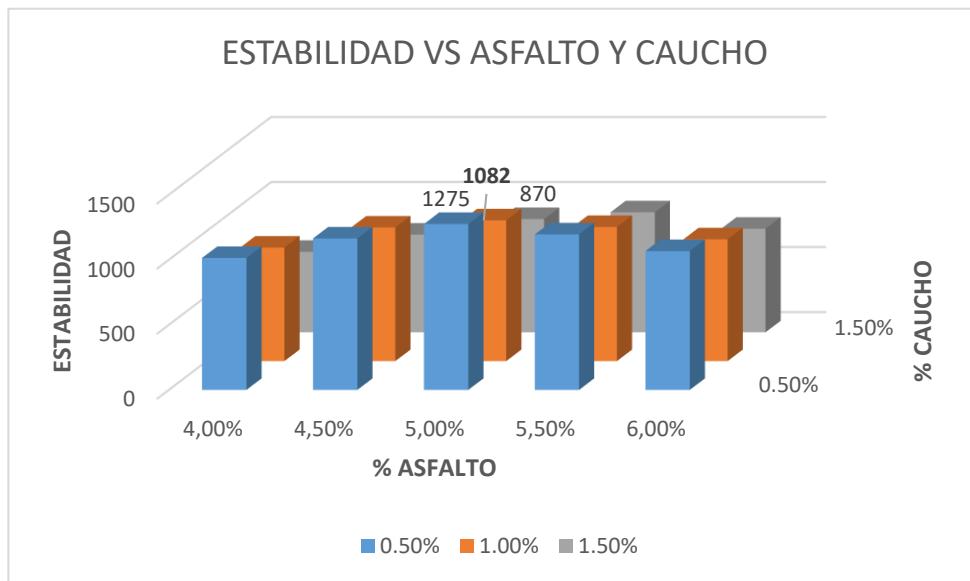
*Tabla 10*  
*Resultados de estabilidad para mezcla con temperatura de digestión de 140 – 145 °C.*  
*Fuente: Resultado de la investigación*



*Figura 49*

Variación de la estabilidad respecto al porcentaje de cemento asfáltico, para mezclas modificadas con caucho a 140 - 145°C.

*Fuente:* Resultado de la investigación



*Figura 50*

Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5%

*Fuente:* Resultado de la investigación

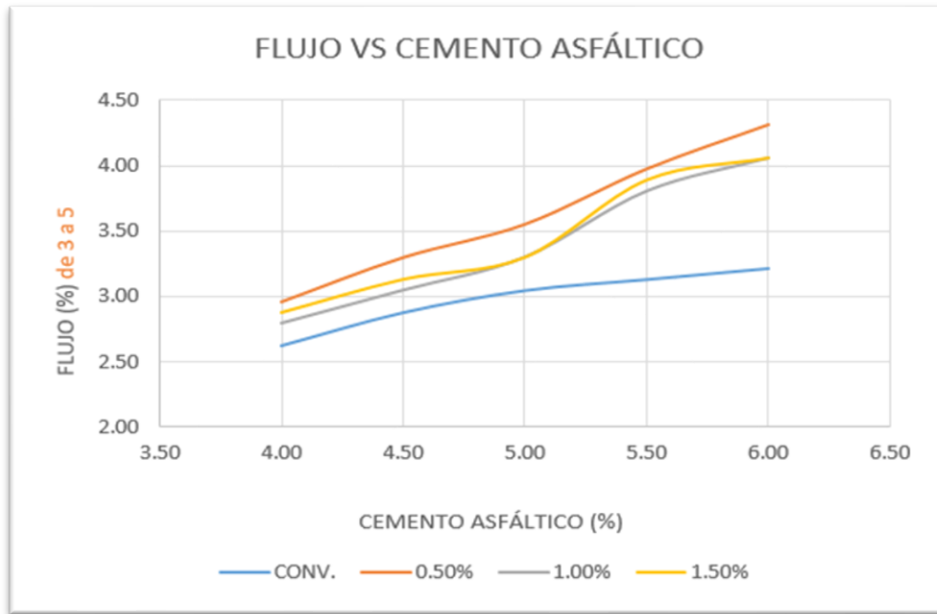
- **Flujo.**

A continuación, se encuentran los parámetros del flujo obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

*Tabla 11*  
*Resultados del flujo para mezcla con temperatura de digestión*  
*de 140 - 145°C*  
*Fuente: Resultado de la investigación*

<i>Flujo (0.01")</i>					
<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>					
<i>Mezclas</i>	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	2.6	2.9	3.0	3.1	3.2
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	3.0	3.3	3.6	4.0	4.3
1.0%	2.8	3.0	3.3	3.8	4.1
1.5%	2.9	3.1	3.3	3.9	4.1

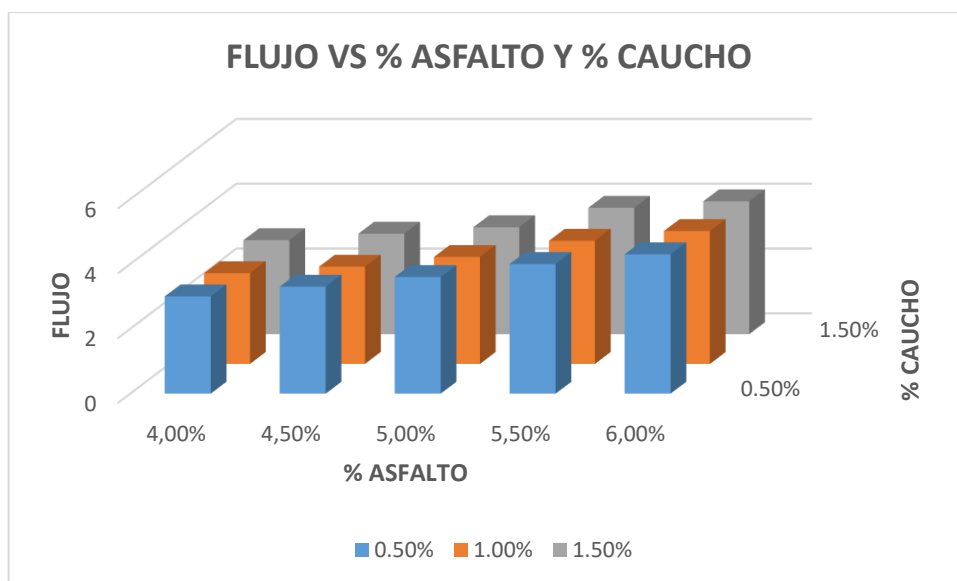




*Figura 51*

Variación del flujo respecto al % cemento asfáltico, para mezclas modificadas con caucho a 140 -145°C

*Fuente:* Resultado de la investigación



*Figura 52*

Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5%.

*Fuente:* Resultado de la investigación

- **Vacíos en la mezcla total.**

A continuación, se encuentran los parámetros de vacíos en la mezcla total obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

<i>% Vacíos</i>					
<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>					
<i>Mezclas</i>	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	6.0	5.1	4.0	3.0	1.8
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	7.4	6.3	5.1	3.1	1.8
1.0%	7.5	6.1	4.6	3.7	3.4
1.5%	10.2	9.7	7.9	5.5	3.6

*Tabla 12*  
Resultados de vacíos para mezcla con temperatura de digestión  
140 - 145°C.

*Fuente:* Resultado de la investigación

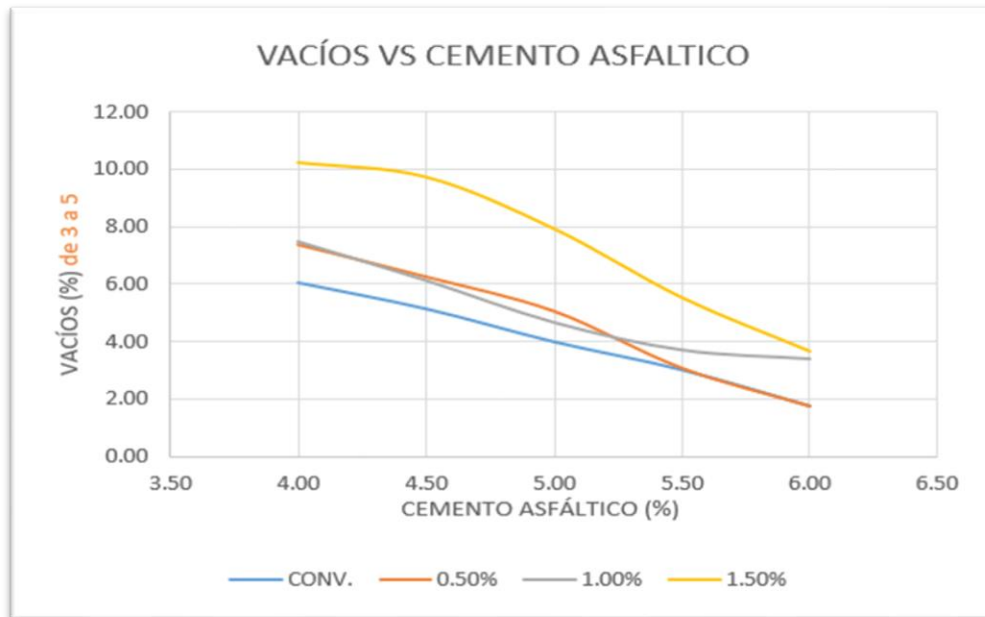


Figura 53

Variación %vacíos respecto al %cimento asfáltico, para mezclas modificadas con caucho a 170°C por 2 horas de tiempo de digestión.

Fuente: Resultado de la investigación

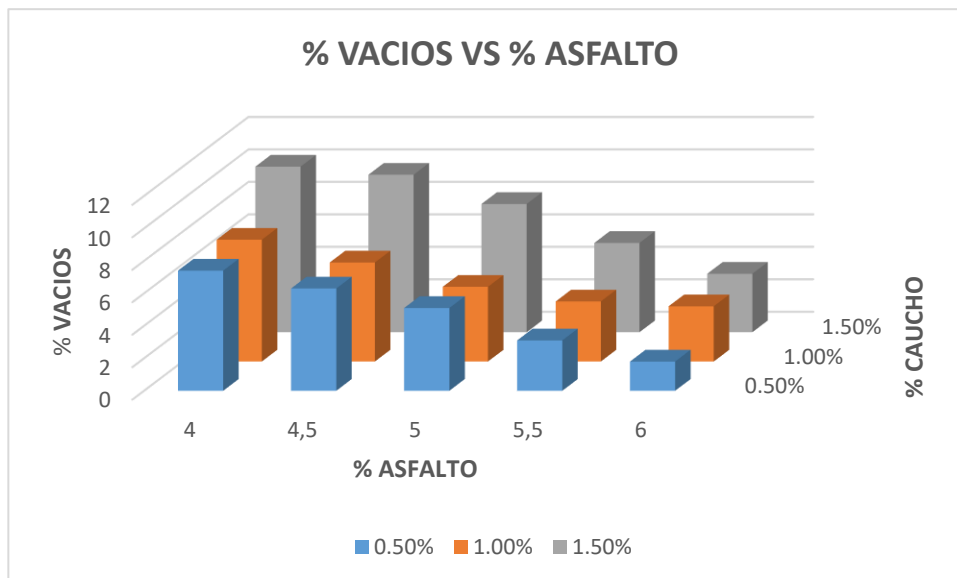


Figura 54

Variación de la estabilidad de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5%.

Fuente: Resultado de la investigación

- **Vacíos en el agregado mineral.**

A continuación, se encuentran los parámetros de los vacíos en el agregado mineral obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

<i>Mezclas</i>	<i>% VMA</i>				
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>				
	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	14.1	22.9	23.0	23.3	23.4
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	15.5	15.7	15.7	15.1	14.8
1.0%	15.6	15.4	15.0	15.2	16.2
1.5%	17.0	17.5	16.7	17.2	16.9

*Tabla 13*  
*Resultados de vacíos en el agregado mineral para mezcla con temperatura de digestión 140 - 145°C.*  
*Fuente: Resultado de la investigación*

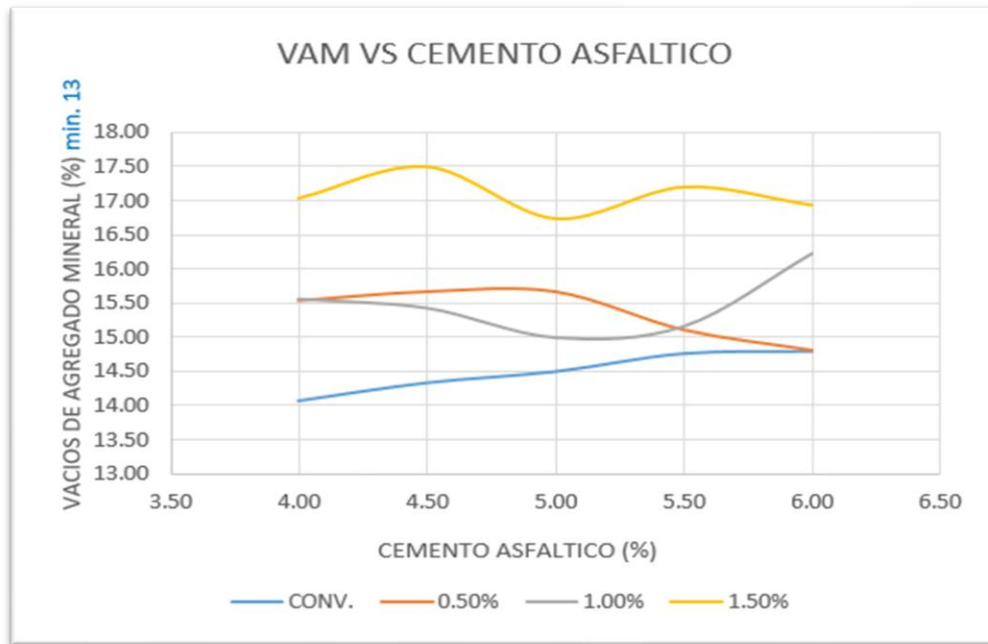


Figura 55

Variación de vacíos en el agregado mineral respecto al % cemento asfáltico, para mezclas modificadas con caucho a 140 - 145°C.

Fuente: Resultado de la investigación

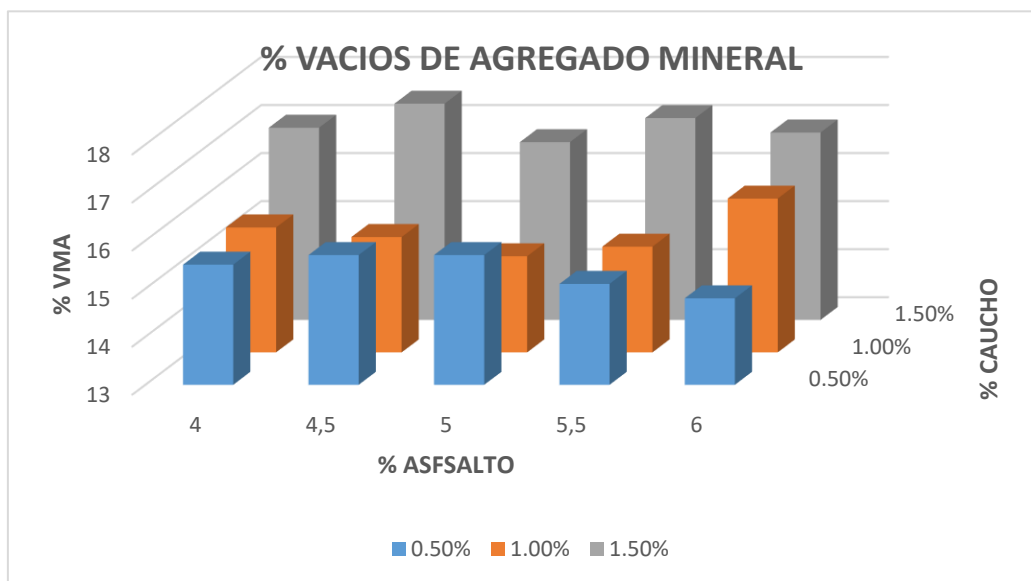


Figura 56

Variación de los vacíos de en agregado mineral de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5%.

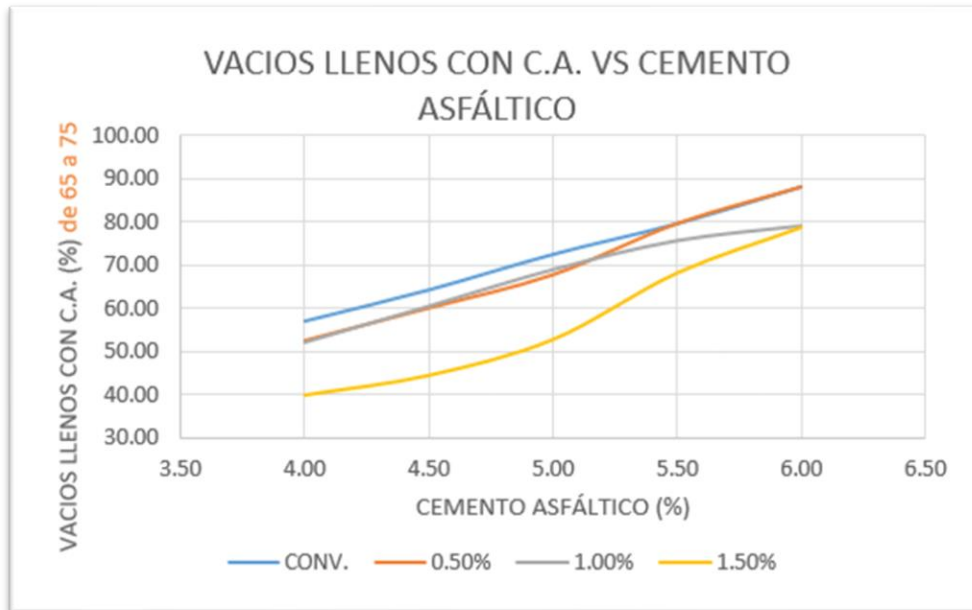
Fuente: Resultado de la investigación

- **Vacíos llenos de asfalto.**

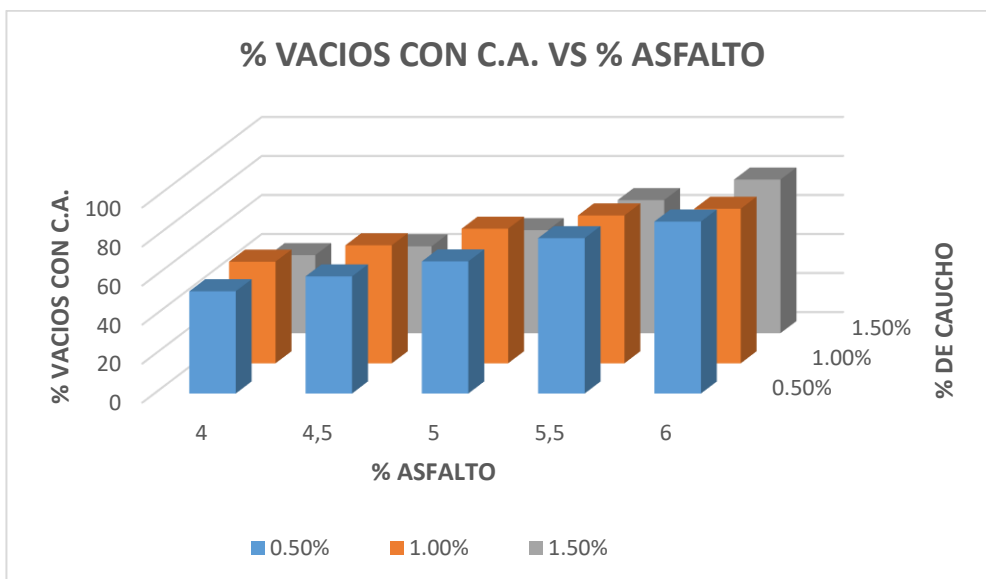
A continuación, se encuentran los parámetros de los vacíos llenos de asfalto obtenidas de las pruebas realizadas a las diferentes muestras modificadas con variación de porcentajes de asfalto y caucho para realizar las comparaciones con respecto a la mezcla asfáltica convencional.

*Tabla 14*  
Resultados de vacíos llenos de asfalto para mezcla con temperatura de digestión 140 - 145°C.  
*Fuente:* Resultado de la investigación

<i>Mezclas</i>	<i>% VFA</i>				
	<i>Porcentaje de Asfalto (%)</i>				
	<i>4.0</i>	<i>4.5</i>	<i>5.0</i>	<i>5.5</i>	<i>6.0</i>
0.0%	57.2	77.7	95.1	96.3	97.8
<b>140 - 145°C</b>					
0.5%	52.4	60.0	67.7	79.6	88.1
1.0%	52.1	60.5	69.0	75.8	79.2
1.5%	40.0	44.5	52.8	68.2	78.7



**Figura 57**  
 Variación de vacíos llenos de asfalto respecto al porcentaje de cemento asfáltico para mezclas modificadas con caucho a 140 - 145°C.  
*Fuente:* Resultado de la investigación



**Figura 58**  
 Variación de los vacíos de en agregado mineral de las diferentes mezclas modificadas con incorporación de grano de caucho de 0.5%, 1.0% y 1.5%.  
*Fuente:* Resultado de la investigación

*Tabla 15*

Rango del cemento asfáltico para evaluar el porcentaje de caucho de acuerdo a los Criterios del Instituto del asfalto (1982).

*Fuente:* Resultado de la investigación

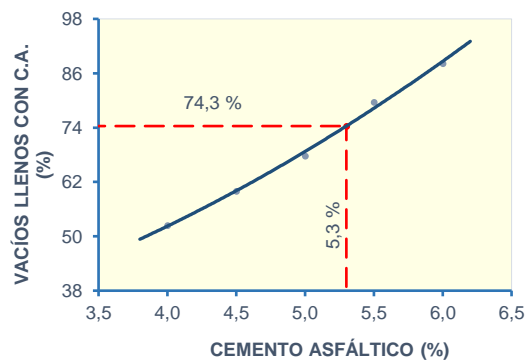
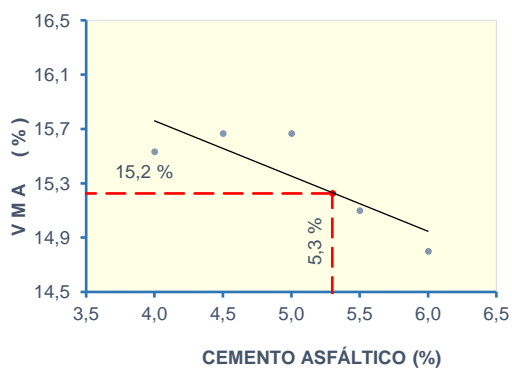
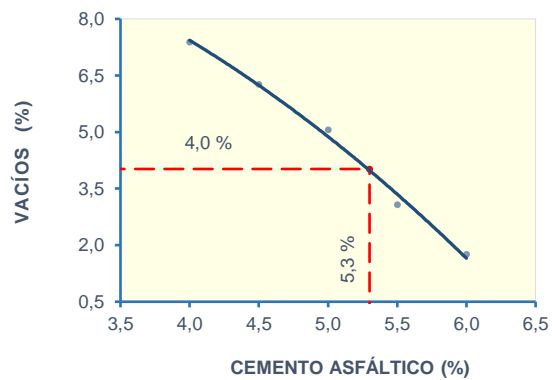
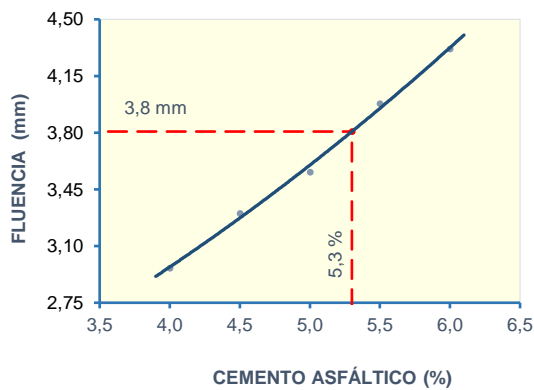
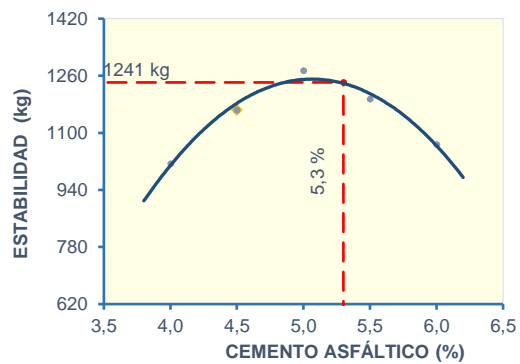
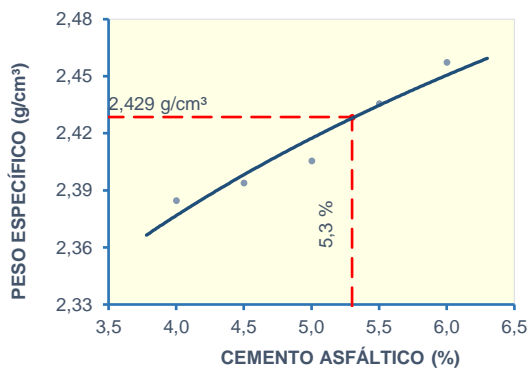
<i>Mezclas 140 - 145°C</i>	<i>Requerimientos Esp. Técnicas.</i>	<i>Porcentaje de Cemento Asfáltico para cumplir los parámetros Marshall</i>				
		<i>mínimo</i>	<i>máximo</i>	<i>0.5%</i>	<i>1.0%</i>	<i>1.5%</i>
<i>(caucho)</i>						
1. Densidad	-----	-----	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	
2. Estabilidad (kg)	815	-----	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	
3. Flujo (0.01")	8	14	5.0 - 5.6	-----	-----	
4. % Vacíos	3	5	5.1 – 5.6	4.9 - 6.0	5.8 - 6.0	
5. % VAM	13	-----	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	4.0 – 6.0	
6. % VFA	65	75	4.9 – 5.3	4.9 – 5.5	5.4 – 5.8	



## Diseño final de la mezcla modificada con caucho.

En los siguientes gráficos, se puede observar los parámetros Marshall de la mezcla asfáltica modificada con 0.5% de caucho elaboradas a una temperatura de digestión de 140°C, de donde se podrá determinar el diseño final con el contenido óptimo de cemento asfáltico.

### Ensayos para medir la resistencia de las mezclas bituminosa modificada con caucho usando el método Marshall.



---

**Parámetros de diseño de la mezcla modificada**

**Diseño Requerimientos**

**Criterio de**

**Aceptación**

---

Óptimo Cemento Asfáltico (%)	5.30		----
------------------------------	------	--	------

---

Granulometría	ok	Huso D-5 (ASTM D3515)	Cumple
<b>Marshall Instituto del Asfalto</b>			
1. Compactación, numero de golpes por lado	75	75	Cumple
2. Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	2.429		----
3. Estabilidad (mínimo) (kg.)	1241.4	8006 N / 816 kg	Cumple
4. Flujo (0.01" / 0.25mm)	13.80	8 - 14 / 3 - 5	Cumple
6. Porcentaje de vacíos con aire (%)	4.0	3% - 5%	Cumple
7. Vacíos en el agregado mineral (%)	15.2	14.7 % min	Cumple
8. Vacíos llenos de asfalto (%)	74.3	65 - 75	Cumple
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	93.7	80% min	Cumple

*Figura 59*

*Parámetros Marshall de la mezcla modificada con 0.5% caucho y contenido óptimo de asfalto de 5.3%.*

*Fuente: Resultado de la investigación*

### 3.6 Contrastación de la hipótesis

Podemos afirmar que la incorporación de granos de caucho mejora significativamente el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica modificada a través del método vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional.

Para verificar la hipótesis general se emplea la fórmula del T Student, uno es para el diseño de mezcla asfáltica convencional y la otra es para el diseño de mezcla asfáltica modificado incorporando 0.5% de granos de caucho, a partir de muestras pequeñas menores a 30, con un nivel de significancia de 0.05 (nivel de confiabilidad de 95%).

---

**Resultados de Ensayo Marshall**

---

<i>N°</i>	<i>Características</i>		<i>Convencional</i>	<i>0.5% Caucho</i>
<i>MA</i>				
<i>C</i>				
1	Óptimo de Cemento Asfáltico	%	5.0	5.50
2	N° de Golpes en cada lado	unid	75	75
3	Densidad	kg/cm <sup>3</sup>	2,440	2.436
4	Estabilidad	kg	1,334	1,195.0
5	Flujo	0.01"	3.0	13.8
6	Vacíos	%	4.0	4.0
7	Vacíos Agregado Mineral	%	15.3	15.1

---

*Tabla 16* Resultados de ensayo Marshall.  
*Fuente:* Resultado de la investigación

### 3.6.1 Contratación de hipótesis específicas.

Ho: no existe diferencia.

H1: existe diferencia.

*Tabla 17*  
Análisis de t Student para la Estabilidad de la mezcla asfáltica  
convencional y modificada con 0.5% de caucho.  
*Fuente:* Resultado de la investigación

<i>N° de muestra</i>	<i>Estabilidad (kg)</i>		<i>Contraste</i>
	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi)</i>	
1	1343	2156	Dos Colas
2	1357	2173	Ho: $\mu_1 =$
3	1380	2206	$\mu_2$ Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

**Convencional****Modificada**

$n = 3$

$X = 1134$

$S^2x = 352.5$

$m = 3$

$Y = 1195$

$S^2y = 192.0$

$\text{Grados de libertad: } 3 + 3 - 2 = 4$

$\text{Nivel de significancia al 95\%: } \alpha = 0.05$

$$S^2 x = \frac{(1114 - 1134)^2 + (1138 - 1134)^2 + (1151 - 1134)^2}{3 - 1} = 352.5$$

$n = 3$

$m = 3$

$x = 1134$

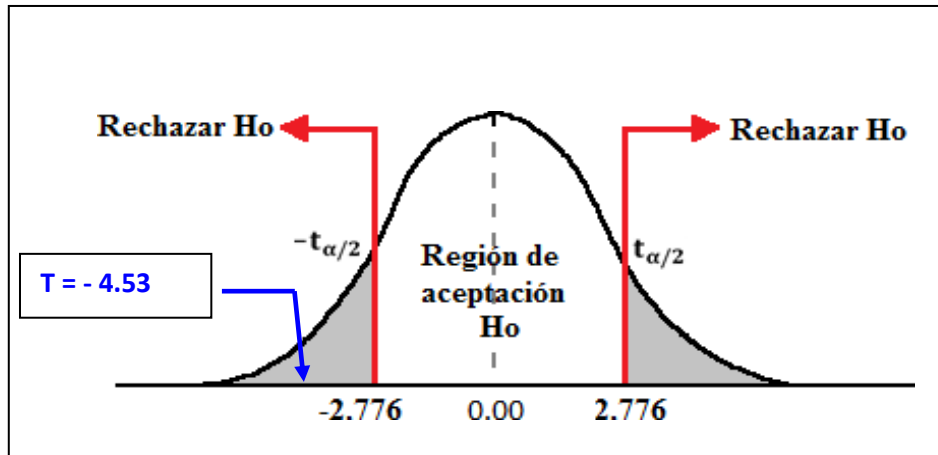
$y = 1195$

$$S^2 y = \frac{(1203 - 1195)^2 + (1179 - 1195)^2 + (1203 - 1195)^2}{3 - 1} = 192.0$$

Calculo de la distribución T Student:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2x + (m-1)S^2y}{n+m}}} \times \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{1134 - 1195}{\sqrt{\frac{(3-1)352.5 + (3-1) \cdot 192}{3+3}}} \times \sqrt{\frac{3 \cdot 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -4.53$$



- Resultado:  $t = -4.53$  no pertenece a la región de aceptación.  $= < -2.776, 2.776 >$

Ho Se acepta.

Ho:; no existe diferencia

H1:; existe diferencia

Tabla 18

Análisis de *t* Student para la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Fuente: Resultado de la investigación

<i>Estabilidad (kg)</i>			
<i>N° de muestra</i>	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi)</i>	<i>Contraste Bilateral</i>
1	1343	2156	Dos Colas
2	1357	2173	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	1380	2206	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

**Convencional****Modificada**

$n = 3$

$X = 3.1$

$S^2_x = 0.03$

$m = 3$

$Y = 4.0$

$S^2_y = 0.03$

Grados de libertad:  $3 + 3 - 2 = 4$

Nivel de significancia al 95%:  $\alpha$   
 $= 0.05$

$$S^2_x = \frac{(3.0 - 3.1)^2 + (3.3 - 3.1)^2 + (3.0 - 3.1)^2}{3 - 1} = 0.03$$

$n = 3$

$m = 3$

$x = 3.1$

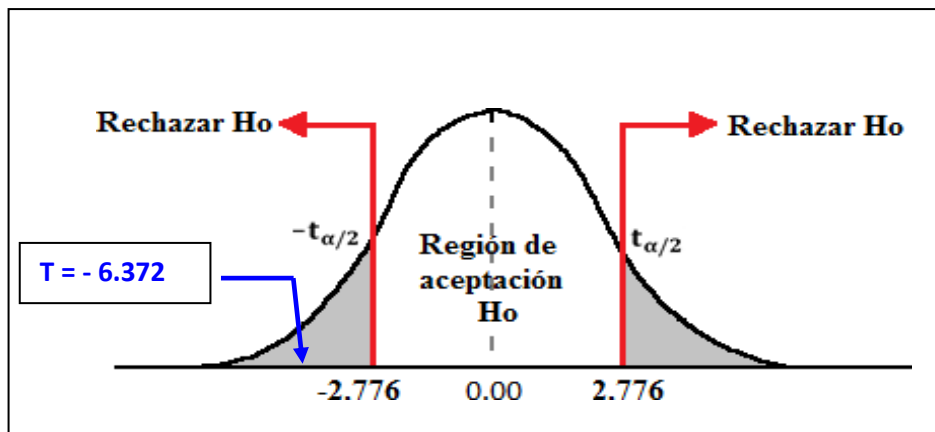
$y = 4.0$

$$S^2_y = \frac{(3.8 - 4.0)^2 + (4.1 - 4.0)^2 + (4.1 - 4.0)^2}{3 - 1} = 0.03$$

Calculo de la distribución T Student:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2_x + (m-1)S^2_y}{n+m}}} \times \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{3.1 - 4.0}{\sqrt{\frac{(3-1)0.03 + (3-1)0.03}{3+3}}} \times \sqrt{\frac{3 \times 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -6.372$$



- Resultado:  $t = -6.372$  pertenece a la región de aceptación.  $= < -2.776, 2.776 >$

Ho Se rechaza, la diferencia es significativa a un nivel de 5%

Ho: no existe diferencia.

H1: existe diferencia.

*Tabla 19*

Análisis de t Student para la Estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

*Fuente:* Resultado de la investigación

<i>N° de muestra</i>	<i>Estabilidad (kg)</i>		<i>Contraste Bilateral</i>
	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi)</i>	
1	1343	2156	Dos Colas
2	1357	2173	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	1380	2206	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$



**Convencional****Modificada**

$$n = 3$$

$$X = 3.0$$

$$S^2_x = 0.13$$

$$m = 3$$

$$Y = 3.1$$

$$S^2_y = 0.04$$

$$\text{Grados de libertad: } 3 + 3 - 2 = 4$$

$$\text{Nivel de significancia al 95\%: } \alpha = 0.05$$

$$S^2_x = \frac{(2.6 - 3.0)^2 + (3.3 - 3.0)^2 + (3.1 - 3.0)^2}{3 - 1} = 0.13$$

$$n = 3$$

$$m = 3$$

$$x = 3.0$$

$$y = 3.1$$

$$S^2_y = \frac{(2.9 - 3.1)^2 + (3.3 - 3.1)^2 + (3.1 - 3.1)^2}{3 - 1} = 0.04$$

Calculo de la distribución T Student:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2_x + (m-1)S^2_y}{n+m}}} \times \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{3.0 - 3.1}{\sqrt{\frac{(3-1)0.13 + (3-1)0.04}{3+3}}} \times \sqrt{\frac{3 \times 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -0.42$$

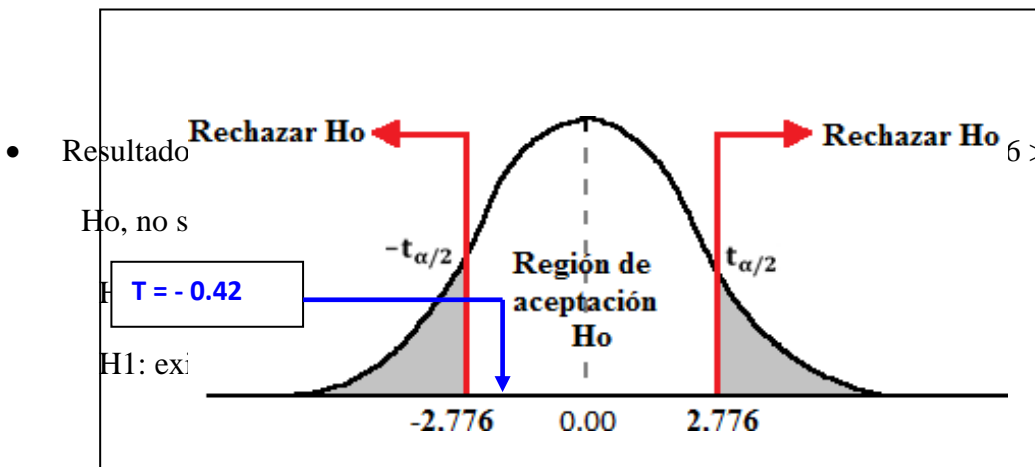


Tabla 20  
 (t Student) para la Estabilidad con 0.5% de caucho.  
 Fuente: Resultado de la investigación

N° de muestra	Estabilidad (kg)		Contraste Bilateral
	MAC Convencional ( $X_i$ )	MAC Modificado 0.5% Caucho ( $Y_i$ )	
1	1343	2156	Dos Colas
2	1357	2173	$H_0: \mu_1 = \mu_2$
3	1380	2206	$H_0: \mu_1 \neq \mu_2$

**Convencional****Modificada**

$n = 3$

$X = 3.1$

$S^2_x = 0.03$

$m = 3$

$Y = 4.0$

$S^2_y = 0.03$

$\text{Grados de libertad: } 3 + 3 - 2 = 4$

$\text{Nivel de significancia al 95\%: } \alpha = 0.05$

$$S^2_x = \frac{(3.0 - 3.1)^2 + (3.3 - 3.1)^2 + (3.0 - 3.1)^2}{3 - 1} = 0.03$$

$n = 3$

$m = 3$

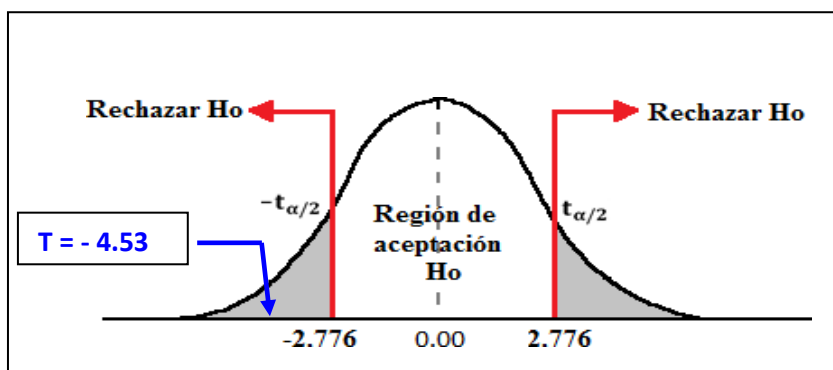
$x = 3.1$

$y = 4.0$

$$S^2_y = \frac{(3.8 - 4.0)^2 + (4.1 - 4.0)^2 + (4.1 - 4.0)^2}{3 - 1} = 0.03$$

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2_x + (m-1)S^2_y}{n+m}}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{3.1 - 4.0}{\sqrt{\frac{(3-1)0.03 + (3-1)0.03}{3+3}}} \cdot \sqrt{\frac{3 \times 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -6.372$$



- Resultado:  $t = -4.53$  pertenece a la región de aceptación  $= < -2.776, 2.776 >$

Ho Se rechaza, la diferencia es a un nivel de 5%

### b.-Hipótesis específica 02

La mezcla asfáltica modificada con la incorporación del grano de caucho por el método vía seca, aumenta la resistencia al daño inducido por la humedad y tiene menor pérdida por desgaste en comparación con la mezcla asfáltica convencional.

Para validar estadísticamente la hipótesis específica se utilizará la distribución de probabilidad T Student para dos tipos de muestras independientes (prueba de dos colas), una es diseño de mezcla asfáltica convencional sin incorporación de grano de caucho, con 5.0% de contenido de asfalto y la otra el diseño de mezcla asfáltica modificado con incorporación de 0.5% granos de caucho, con 5.5% de contenido de asfalto.

**La Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Seco.** Para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional la Resistencia es de 50.00 psi, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho la Resistencia es de 52.13 psi; lo cual nos indica que la Resistencia de esta mezcla modificada con caucho, sometida a esta prueba es superior a la mezcla convencional en 2.13 psi. equivalente a 4.26%.

Ho: no existe diferencia

H1: existe diferencia

Tabla 21

Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Seco) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

Fuente: Resultado de la investigación

<i>Resistencia de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad – Grupo</i>			
<i>N° de</i>	<i>Seco (Mpa)</i>		
<i>muestras</i>	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi)</i>	<i>Contraste Bilateral</i>
1	51.67	51.67t	Dos Colas
2	49.42	51.74	Ho: $\mu_1 = \mu_2$ Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$
3	48.91	52.99	

**Convencional**

$n = 3$

$X = 50.00$

$S^2_x = 2.1567$

**Modificada**

$m = 3$

$Y = 52.13$

$S^2_y = 0.5917$

$$S^2_x = \frac{(51.67 - 50.00)^2 + (49.42 - 50.00)^2 + (48.91 - 50.00)^2}{3 - 1} = 2.1567$$

$$S^2_y = \frac{(51.67 - 52.13)^2 + (51.74 - 52.13)^2 + (52.99 - 52.13)^2}{3 - 1} = 0.5917$$

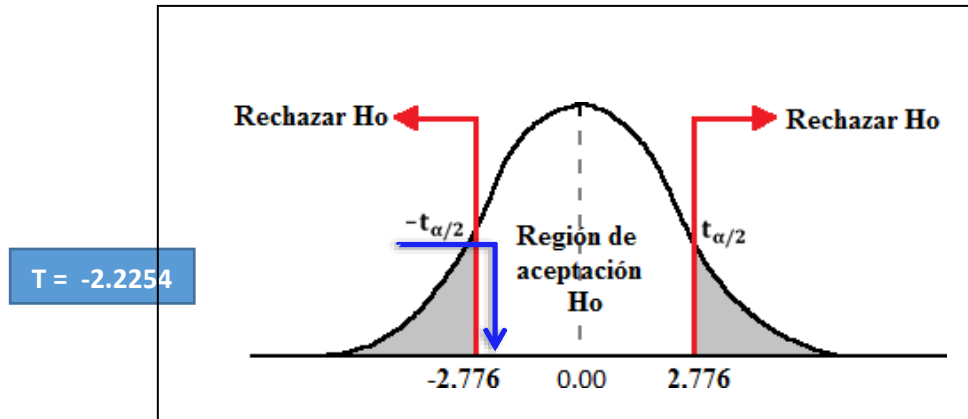
$$T = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2_x + (m-1)S^2_y}{n+m}}} \times \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{50 - 52.13}{\sqrt{\frac{(3-1)2.1567 + (3-1)0.5917}{3+3}}} \times \sqrt{\frac{3 \times 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -2.2254$$

Resultado: como  $T = -2.2254 \notin$

$R.A = \langle -2.776, 2.776 \rangle$ ,

**H<sub>0</sub>** se rechaza.



La **Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Húmedo** para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional la Resistencia es de 38.29 psi, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho la Resistencia es de 43.66 psi; lo cual la Resistencia de esta mezcla modificada con caucho, sometida a esta prueba es superior a la mezcla convencional en 5.37 psi. que equivale a 14%.

Ho: no existe diferencia significativa

H1: existe diferencia significativa

*Tabla 22*

Análisis de t Student para la Resistencia al daño inducido por humedad (Grupo Húmedo) de la mezcla asfáltica convencional y modificada con 0.5% de caucho.

*Fuente:* Resultado de la investigación

---

***Resistencia de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad – Grupo***

<i>muestra</i>	<i>Húmedo (Mpa)</i>		
	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi) Bilateral</i>	<i>Contraste</i>
1	37.82	43.73	Dos Colas
2	37.97	43.90	Ho: $\mu_1 = \mu_2$
3	39.07	43.34	Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

---

*N° de*



**Convencional****Modificada**

$n = 3$

$X = 38.29$

$S^2x = 0.4659$

$m = 3$

$Y = 43.66$

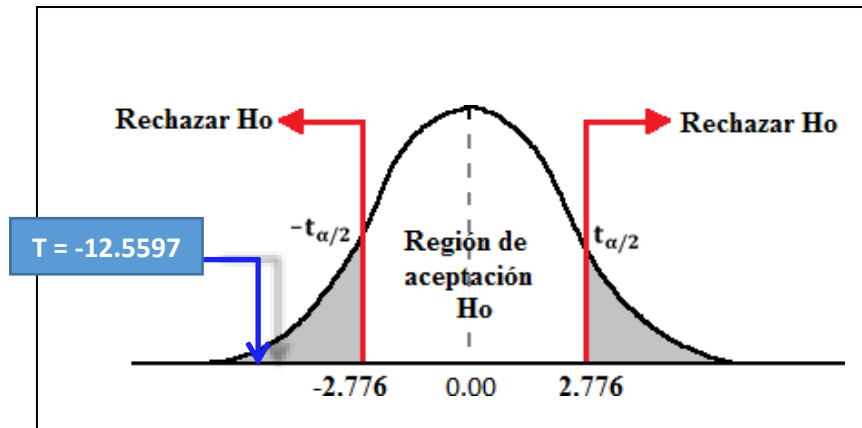
$S^2y = 0.0825$

 $y$ 

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2x + (m-1)S^2y}{n+m}}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}} =$$

$$T = \frac{38.29 - 43.66}{\sqrt{\frac{(3-1)0.4659 + (3-1)0.0825}{3+3}}} \cdot \sqrt{\frac{3 \times 3 \cdot (3+3-2)}{3+3}} = -12.5597$$

Resultado: como  $T = -12.5597 \notin$  $R.A = < -2.776, 2.776 >$ ,**Ho** se rechaza.



La **Perdida por Desgaste** en las briquetas de Mezcla Asfáltica Convencional es de 4.5 %, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 3.6%; y la perdida por desgaste de esta mezcla modificada con caucho es menor a la perdida por desgaste de la mezcla convencional en 0.9%, que equivale a 25%.

$H_0$ : no existe diferencia

$H_1$ : existe diferencia.

Tabla 23  
 Análisis de t Student para la pérdida por desgaste de la mezcla asfáltica  
 convencional y modificada con 0.5% de caucho.

*Fuente:* Resultado de la investigación

<i>Perdida por Desgaste – Cántabro (%)</i>			
<i>N° de muestra</i>	<i>MAC Convencional (Xi)</i>	<i>MAC Modificado 0.5% Caucho (Yi)</i>	<i>Contraste Bilateral</i>
1	4.20	3.50	
2	4.50	3.50	
3	4.60	3.60	Dos Colas
4	4.50	3.60	Ho: $\mu_1 = \mu_2$ Ho: $\mu_1 \neq \mu_2$

$$n = 4$$

$$X = 4.5$$

$$S^2x = 0.0333$$

$$m = 4$$

$$Y = 3.6$$

$$S^2y = 0.0067$$

x

y

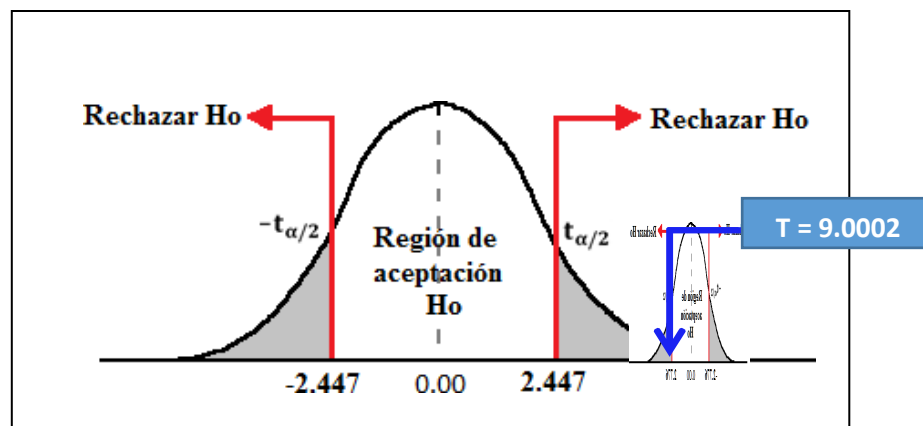
Calculo de la distribución T Student:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n-1)S^2x + (m-1)S^2y}{n+m}}} \times \sqrt{\frac{n \cdot m \cdot (n+m-2)}{n+m}}$$

$$T = \frac{4.5 - 3.6}{\sqrt{\frac{(4-1)0.0333 + (4-1)0.0067}{4+4}}} \times \sqrt{\frac{4 \times 4 \cdot (4+4-2)}{4+4}} = 9.0002$$

Resultado: como  $T = 9.0002 \notin R.A = < -2.447, 2.447 >$ ,

**H<sub>0</sub>** se rechaza.



#### **IV. CONCLUSIONES**

## 4.1 Conclusiones

### 4.1.1 Conclusión general

La incorporación de grano de caucho mejora significativamente el comportamiento mecánico de la mezcla modificada mediante el proceso por vía seca, respecto a la mezcla asfáltica convencional. Lo cual, a través de la evaluación de los ensayos realizados, la reología y el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada tiene las siguientes características: presenta mayor resistencia a la deformación con valores de deformación permisibles (Marshall), mayor cohesión y resistencia a la disgregación de la mezcla (Cántabro). Beneficios con los cuales se puede concluir que la infraestructura vial construida con las características de esta mezcla asfáltica tendrá mayor durabilidad y resistencia a los agentes agresores, aumentando la vida útil del pavimento.

### 4.1.2 Conclusiones específicas

- La diferencia en cuanto al comportamiento mecánico en función de los parámetros Marshall, de la mezcla modificada con la incorporación de granos de caucho mediante el proceso por vía seca, con respecto a la mezcla asfáltica convencional, se tiene lo siguiente:
  - La **Estabilidad** de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es significativamente superior que la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional en 61%.
  - El **Flujo** de la mezcla asfáltica modificada con incorporación de granos de caucho es ligeramente mayor que el flujo de la mezcla asfáltica convencional en 1%, pero su incremento no es significativo.
- La diferencia en cuanto al comportamiento de la mezcla en función de las propiedades de los ensayos de caracterización y desempeño, de la mezcla modificada con la incorporación de granos de caucho mediante el proceso por vía seca, con respecto a la mezcla asfáltica convencional, se tiene lo siguiente:

- **La Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Seco.** Para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional la Resistencia es de 50.00 psi, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho la Resistencia es de 52.13 psi; lo cual nos indica que la Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 2.13 psi. que equivale a 4.26%.
- **La Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad - Grupo Húmedo** para el diseño de Mezcla Asfáltica Convencional la Resistencia es de 38.29 psi, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho la Resistencia es de 43.66 psi; lo cual la Resistencia de Mezclas Asfálticas al Daño Inducido por Humedad de esta mezcla modificada con caucho es superior a la mezcla convencional en 5.37 psi. que equivale a 14%.
- **La Pérdida por Desgaste** en las briquetas de Mezcla Asfáltica Convencional es de 4.5 %, mientras que de la mezcla modificada con incorporación de 0.5% de granos de caucho es de 3.6%; lo cual la perdida por desgaste de esta mezcla modificada con caucho es menor a la mezcla convencional en 0.9% que equivale a 25%.

Además, la utilización del caucho se considera como una solución para el desarrollo sostenible por la reutilización de residuos de materiales, resolviendo el problema de la disposición final de ellos y disminuyendo la contaminación, lo cual está enmarcado en la Ley N° 28611 – Ley General del Ambiente: Principio del Derecho Ambiental V y la Ley N° 27446 - Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental: Criterio 2 de Protección Ambiental, leyes ambiental vigente del país. Sin embargo, en el Perú se acostumbra quemar los neumáticos o dejarlos en los botaderos esperando que los neumáticos se degraden naturalmente por 1000 años contaminando al ambiente en ese proceso.

## **V. RECOMENDACIONES**



## 5.1 Recomendaciones

1. Se sugiere a los futuros investigadores que aborden el mismo tema de esta investigación averiguar en los laboratorios donde se pretende hacer los ensayos si es que estos cuentan con los equipos adecuados para los análisis de sus probetas o especímenes que se quiere estudiar. porque no todas las instituciones cuentan con los equipos adecuados y suficientes para dicho estudio.
2. la normatividad y legislación de nuestro país a través de nuestras autoridades deberían incluir en los proyectos de construcción de infraestructuras el uso de desechos industriales recuperables como los granos de caucho reciclados. lo cual conllevaría al uso obligatorio de materia prima recuperable como lo es el grano de caucho y tener la responsabilidad de un desarrollo sostenible y no comprometer los recursos naturales de nuestras futuras generaciones.
3. Sugerimos a las autoridades competentes que puedan autorizar la realización de estudio de investigación cumpliendo dos funciones principalmente:
  - Que el estudio de investigación pueda ser de aplicación viable contribuyendo al desarrollo de la comunidad.
  - Que el investigador pueda recibir orientación de la tesis desde mitad de la carrera como un curso de formación obligatoria.
4. Recomendaríamos que también se puedan realizar estudios desde la concepción de un proyecto de obra, administración de proyectos de construcción, desarrollos inmobiliarios, entre otros temas muy relacionados al emprendimiento y manejo de obras civiles, temas muy importantes que en muchas ocasiones son los principales problemas que llega a tener un ingeniero residente, los desarrolladores del proyectos, los financistas de la obra y todo profesional relacionado al proyecto civil.

## REFERENCIAS

Angulo Rodríguez, R. A. y Duarte Ayala, J. L. (2005). Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6916/2/118188.pdf>

Bermejo Muñoz, J. M., Gallego Medina, J. y Saiz Rodríguez, L. (2014). Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático (5ª ed.). Madrid, España: SIGNUS Ecovalor, S.L. Recuperado de [https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/06/Guia\\_betunes\\_signus\\_def.pdf](https://www.signus.es/wp-content/uploads/2017/06/Guia_betunes_signus_def.pdf)

Bermejo Muñoz, R. (2010). Llantas usadas para pavimentos. XI Congreso Nacional Del Asfalto y II Concreto. Asociación Peruana de Carreteras. Recuperado de <http://ligante-asfaltico.blogspot.pe/p/llantas-usadas-en-pavimentos.html>

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (2007). Manual de Empleo de Caucho de NFU en Mezclas Bituminosa (6ª ed.). Madrid, España: CEDEX. Recuperado de [http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/27EDCC96-7C3A-42B5-96B7-F6B87D0BD3DF/116371/Manual\\_NFU.pdf](http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/27EDCC96-7C3A-42B5-96B7-F6B87D0BD3DF/116371/Manual_NFU.pdf)

Clavijo Rey, C. M. y Aranda Rojas, C. A. (2014). Análisis del comportamiento físico - mecánico de una mezcla densa en caliente tipo mdc-2 modificada con caucho y cuero en porcentajes (25%, 75%) respectivamente. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Universidad Católica de Colombia.

Federación Española de la Recuperación y el Reciclaje (2013). Manual de Experiencia Española del Caucho NFU en las mezclas asfálticas. Madrid, España.

Gallego Medina, J. y Saiz Rodríguez, L (2017). Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático (5ª ed.). Madrid, España: SIGNUS Ecovalor, S.L.

Gutiérrez Ariza, D. M. y Vivas Ramírez, S. M. (2014). Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica densa en caliente tipo 2 MDC-2 elaborada con asfalto caucho vulcanizado de suela de bota militar. Programa de Ingeniería Civil Universidad Católica de Colombia. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10983/1532>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill/Interamericana.

Huamán Guerrero, N. W. (2011). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Instituto del Asfalto (1982), Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22. Lexington, Estados Unidos: Asphalt Institute.

Instituto de Desarrollo Urbano (2015). Mejoras mecánicas de las mezclas asfálticas con grano de caucho reciclado – GCR. Boletín técnico N°3. Recuperado de <http://slideflix.net/doc/199037/bolet%C3%ADn-grano-de-caucho-reciclado>

Kennedy T.W. (1983). Tensile Characterization of Highway Pavement Materials. (Research Project 3-9-72-183). State Department of Highways and Public Transportation. The University of Texas at Austin. Recuperado de <https://library.ctr.utexas.edu/digitized/texasarchive/phase2/183-15F-CTR.pdf>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Lima, Perú.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2016). Manual de Ensayo de Materiales. Lima, Perú.

Moreno Anselmi, L. A. (2013). Comportamiento monotónico de mezclas asfálticas MDC-2 adicionadas con desecho de caucho-cuero. *Revista Academia y Virtual*, 6(2) 56-66. doi:10.18359/ravi.409

Moya Calderón, R. y Saravia A, G. (1988). Probabilidad e Inferencia Estadística. Lima, Perú: San Marcos

Navarro Dupré, N. (2013). Confección y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/115523>

Norma AASHTO T 283 (2003). Standard Method of Test Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage.

Norma AASHTO T 324 (2014). Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA).

Norma AASHTO TP 31 (1996). Standard Test Method For Determining The Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension.

Norma ASTM D 3515 (2001). Standard Specification for Hot-Mixed, Hot-Laid Bituminous Paving Mixtures.

Norma NTL 346/90 (1990). Resistencia a la compresión diametral de mezclas bituminosas.

Norma UNE 103 300-3 (1993). Determinación de la humedad de un suelo mediante secado en estufa

Norma UNE 53526 (2001). Elastómeros. Caucho vulcanizado. Determinación de la densidad.

Norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX (2012). Materiales producidos a partir de neumáticos fuera de uso. Especificación de categorías basadas en sus dimensiones e impurezas y métodos para determinar sus dimensiones e impurezas.

Norma UNE-EN 933-2 (1996). Ensayo para determinar las propiedades geométricas de los áridos. Parte 2: Determinación de la granulometría de las partículas. Tamices de ensayo, tamaño nominal de las aberturas.

Nuha Salim. M., Asim Hassan. A., Mohamed Rehan. K. y Mahrez Abdelaziz. (2013). A Review on using crumb rubber in reinforcement of asphalt pavement. The Scientific World Journal 2014, 21. doi: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/214612>

Ocampo, M., Caicedo, B. y González, D. (2002). Mezcla asfáltica mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas. Revista de Ingeniería No 16, 175 – 180. Recuperado de <https://es.slideshare.net/hugoaliacor/mezclas-asfticas-mejoradas-con-caucho-molido-proveniente-de-llantas>

Ramírez Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile. Recuperado de [http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez\\_n/sources/ramirez\\_n.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/ramirez_n/sources/ramirez_n.pdf)

Reyes Lizcano. F. A., Madrid Ahumada. M. F. y Salas Callejas. S. X. (2007). Mezclas asfálticas modificadas con un elastómero (caucho) y un plastómero (tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). Infraestructura Vial, No 17.

Rodríguez Castro, E. (2016). Uso de polvo de caucho de llantas en pavimentos asfálticos.

Rondón Quintana, H. A. (2011). Mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho de llanta (GCR): estado de conocimiento y análisis de utilización en Colombia. VI Jornada de Pavimentos y Mantenimiento Vial, Bogotá D.C. Colombia. Recuperado de <http://es.slideshare.net/alexa842003/articulo-asfalto-caucho>

Rondón Quintana, H. A., Molano Mora, Y. y Tenjo Lancheros, A. M. (2012). Influencia de la temperatura de compactación sobre la resistencia bajo carga monotónica de mezclas asfálticas modificadas con grano de caucho reciclado de llantas. Rev. Tecnológica N° 29, ISSN 0123-7799, 13-31. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n29/n29a02.pdf>

Tratamiento de Neumáticos Usados. (2016). Memoria 2016. Alicante, España: Tratamiento Neumáticos Usados, S.L. Recuperado de [http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu\\_memo\\_16.pdf](http://www.tnu.es/recurso/pagina/archivo/tnu_memo_16.pdf)

Universidad de los Andes (2002). Estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas. Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.

Universidad de los Andes (2005). Segunda fase del estudio de las mejoras mecánicas de mezclas asfálticas con desechos de llantas. Bogotá: Instituto de Desarrollo Urbano.

[http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16229/1/SEGOVIA\\_CARHU\\_AS\\_EST\\_NEU.pdf](http://repositorio.ucsp.edu.pe/bitstream/20.500.12590/16229/1/SEGOVIA_CARHU_AS_EST_NEU.pdf)

<file:///C:/Users/Edwin/Downloads/Goicochea%20Fernandez%20Fredy.pdf>

[http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2919/T030\\_31605837\\_M%20Magui%C3%B1a%20Salazar%20Walther%20Te%C3%B3filo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2919/T030_31605837_M%20Magui%C3%B1a%20Salazar%20Walther%20Te%C3%B3filo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2015/160322.pdf>

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf?isAllowed=y&sequence=1>

<https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/1847-el-granulo-de-caucho-reciclado-gcr-proveniente-de-las-llantas-usadas-sera-utilizado-en-la-construccion-de-vias-en-el-territorio-nacional>

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/1810>

<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2919>

## ANEXOS

### MUESTRAS DE AGREGADO DE LA ZONA A INTERVENIR





## 4. FABRICACIÓN DE LIGANTES Y MEZCLAS CON POLVO DE CAUCHO

Este apartado presenta los procedimientos de fabricación de:

- ✓ los ligantes modificados de alta viscosidad con caucho, BMAVC,
- ✓ los betunes modificados/mejorados con caucho, y
- ✓ las mezclas fabricadas con los ligantes anteriores o modificadas con caucho en el mezclador.

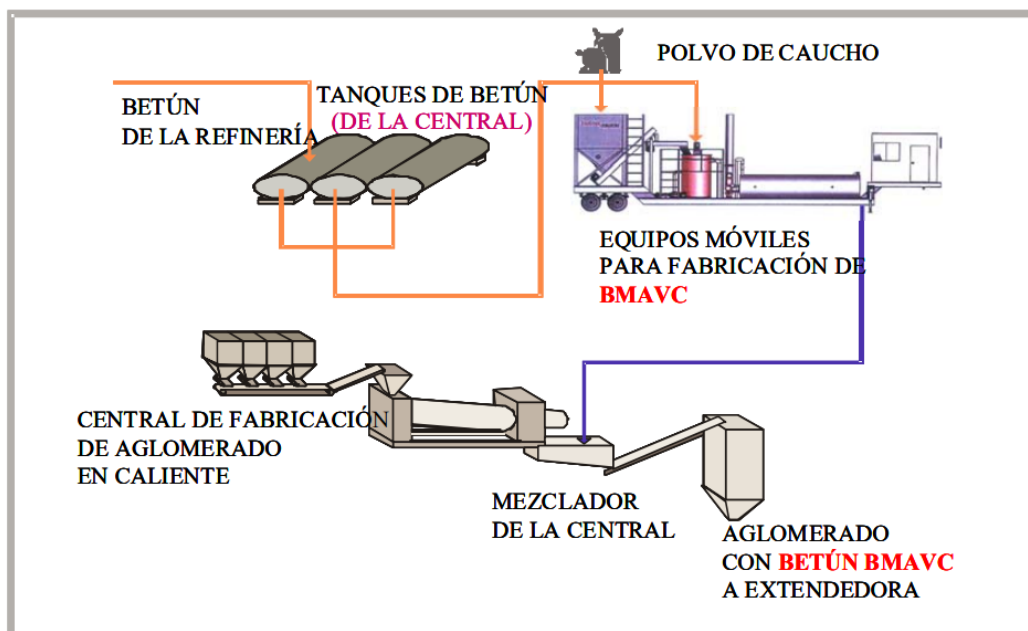
### 4.1. FABRICACIÓN DE BETUNES CON CAUCHO EN EL LUGAR DE EMPLEO

Aunque el proceso general de fabricación del betún modificado con caucho es siempre el mismo, los equipos y los procedimientos de fabricación pueden ser diferentes. Es indispensable, por tanto, que el fabricante disponga de un manual de calidad que, una vez aprobado por la Administración, permita a ésta controlar y seguir el proceso.

El mezclado en el lugar de empleo se realiza generalmente en unidades móviles. Las instalaciones van provistas de una tolva para la alimentación del caucho y de uno o dos tanques. El polvo de caucho se deposita en la tolva mediante una cinta o grúa, después de pasar por un dispositivo de pesaje. En unos sistemas, el mezclado y la reacción se producen en una única cámara mediante un sistema de agitación. Otros están provistos de dos cámaras. En la primera el betún se mezcla con el caucho y el conjunto pasa al tanque de agitación para que se produzca la maduración. Es necesario agitar la mezcla de betún y caucho continuamente para mantener las partículas de caucho dispersas. Si no se hace así, las partículas tienden a depositarse en el fondo o a flotar en la superficie del tanque. Con la agitación, el caucho absorbe las fracciones más ligeras del betún y se hincha, favoreciéndose la dispersión.

Las unidades móviles se colocan en la central de fabricación de mezclas bituminosas. La figura 4.1 presenta una fotografía de una disposición típica.

Figura 4.1  
Esquema operativo para ejecución de obra en una central de fabricación de mezclas bituminosas con aplicación de BMAVC



**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

SOLICITANTE : CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO MUESTRA : Agregados  
 LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA. IDENTIFICACIÓN : La que se indica  
 TESIS : "DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019" CANTIDAD : 250 Kg.  
 FECHA DE INICIO: 03.06.2019 PRESENTACIÓN : Sacos de polietileno  
 FECHA DE TERMINO : 03.06.2019

NTP 400.019 (2 002)		Método de ensayo normalizado para la determinar la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasion e impacto en la maquina de los angeles						
PASA	RET.	GRADO "A"(12)	GRADO "B"(11)	GRADO "C"(08)	GRADO "D"(06)	GRADO "1"(12)	GRADO "2"(12)	GRADO "3"(12)
3"	2 1/2"					2500g		
2 1/2"	2"					2500g		
2"	1 1/2"					5000g	5000g	
1 1/2"	1"	1250g					5000g	5000g
1"	3/4"	1250g						5000g
3/4"	1/2"	1250g	2500g					
1/2"	3/8"	1250g	2500g					
3/8"	Nº 3			2500g				
Nº 3	Nº 4			2500g				
Nº 4	Nº 8				5000g			

NOTA : LOS NÚMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERAS

CÓDIGO DE MUESTRA	TESIS				
GRADACIÓN	"B"				
PESO INICIAL	5000.6				
PESO MATERIAL RET. EN LA MALLA Nº12	4210.7				
PESO MATERIAL PASA EN LA MALLA Nº12	790.1				
PORCENTAJE DE DESGASTE	15.8				

\_\_\_\_\_  
 ING. RESPONSABLE  
 Lima, 03 Junio 2019



**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO**

SOLICITANTE : CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO MUESTRA : Agregados  
 LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA IDENTIFICACIÓN : La que se indica  
 TESIS "DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019" CANTIDAD : 250 Kg.  
 PRESENTACIÓN : SACOS DE POLIETILENO  
 FECHA DE INICIO: 03.06.2019 FECHA DE TERMINO : 03.06.2019

ASTM D5821 NTP 400.040		ENSAYO DE PARTICULAS CON CARAS DE FRACTURA ASTM D - 5821						
DESCRIPCION MALLAS SERIE AMERICANA	Peso Total Retenido en Mallas ( A )	Peso Muestra ( B )		% Caras de Fracturas ( C )		Escala Original ( D )	% Caras de Fracturas ( E )	
		1 a más	2 a más	1 a más	2 a más		1 a más	2 a más
2" - 1 1/2"								
1 1/2" - 1"								
1" - 3/4"								
3/4" - 1/2"	1569.7	1419.6	1465.8	90.4	93.4	15.0	1356.6	1400.7
1/2" - 3/8"	2634.3	2386.2	1950.8	90.6	74.1	29.0	2626.8	2147.5
						44.0	3983.4	3548.2

% CARAS DE FRACTURAS 1 A MAS : 90.5 %

% CARAS DE FRACTURAS 2 A MAS : 80.6 %

**ENSAYO DE PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS  
 NTP 400.040 (1999)**

DESCRIPCION MALLAS SERIE AMERICANA	Peso Total Retenido en Mallas ( A )	PESO MUESTRA CHATAS Y ALARGADAS ( B )	PORCENTAJE DE CHATAS Y ALARGADAS ( C )	Escala Original ( D )	PORCENTAJE PARCIALES DE CHATAS Y ALARGADAS ( E )
2" - 1 1/2"					
1 1/2" - 1"					
1" - 3/4"					
3/4" - 1/2"	1569.7	220.4	14.0	15.0	210.0
1/2" - 3/8"	2634.3	154.5	5.9	29.0	171.1
				44.0	381.1

% DE CHATAS Y ALARGADAS E/D : 8.7 %

\_\_\_\_\_  
 ING. RESPONSABLE

Psj. Húsares de Junín N° 175 Piso 2 Urb. El Retablo - Lima 7- Next. 94710\*0409 / 94710\*0395  
 Cel. 994-509-050 / 988-483-431 - Mail: ojgrg\_ingenieros@yahoo.com.pe

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS**  
**REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**  
**DURABILIDAD DE LOS AGREGADOS POR MEDIO DE SO<sub>4</sub>Mg**  
**ASTM - C88 (MTC E 209)**

**SOLICITANTE :** CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO  
LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA

**IDENTIFICACIÓN** AGREGADOS

**TESIS :** "DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019"

**CANTIDAD:** 250 Kg.

**PRESENTACIÓN :** SACOS DE POLITILENO.

**FECHA DE INICIO:** 29.05.2019

**FECHA DE TERMINO:** 04.06.2019

AGREGADO GRUESO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
2"	1 1/2"	A-5					
1 1/2"	1"	P-40					
1"	3/4"	K-15					
3/4"	1/2"	S-17	760.0	639.4	15.87	15	2.38
1/2"	3/8"	D-5	1510.0	1350.8	10.54	29	3.08
3/8"	N°4	L-31	2600.0	2344.4	9.83	50	4.92
TOTAL :						94.00	10.36

**CANTERA (ARENA)**

AGREGADO FINO							
% PASA	% RET	N° RECIPIENTE	PESOS DE ENSAYO (gr)		% DE PÉRDIDA DE ENSAYO	ESCALONADO ORIGINAL	% DE PÉRDIDA CORREGIDA
			ANTES	DESPUÉS			
3/8"	N°4	1A					
N°4	N°8	2A					
N°8	N°16	5A					
N°16	N°30	3A					
N°30	N°50	4A					
N°50	N°100						
N°100	--						
TOTAL :						0.00	0.00

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

**ING. RESPONSABLE**  
**Lima, 04 Junio 2019**



**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

**SOLICITANTE :** CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO      **MUESTRA**      Agregados  
 LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA.      **IDENTIFICACIÓN**      La que se indica

**TESIS**      "DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA      **CANTIDAD:**      250 Kg.  
 INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO      **PRESENTACIÓN :**      Sacos de polietileno  
 PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES  
 MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN AV.  
 POLONIA - 2019"

**FECHA DE INICIO:** 03.06.2019      **FECHA DE TERMINO:** 03.06.2019

NTP 400.012 (2001)		Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino					
MUESTRA N°		TESIS					
HORA ENTRADA DE SATURACION	(A)	10:06	10:08	10:10	10:12		
SALIDA SATURACION (A+10)	2	10:16	10:18	10:20	10:22		
HORA ENTRADA A DECANTACION	(B)	10:16:56	10:18:55	10:20:51	10:22:55		
SALIDA DECANTACION (B+20)	4	10:36:56	10:38:55	10:40:51	10:42:55		
ALTURA MATERIAL FINO (pulg)	5	5.10	4.90	5.20	5.00		
ALTURA ARENA (pulg)	6	3.40	3.30	3.50	3.40		
EQUIVALENTE ARENA (6/5*100) (%)	7	66.67	67.35	67.31	68.00		
PROMEDIO DE EQUIV. ARENA (%)	8	68					

**ING. RESPONSABLE**  
 Lima, 03 Junio 2019

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

<b>SOLICITANTE :</b>	<b>CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>Agregados</b>
	<b>LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>La que se indica</b>
<b>TESIS</b>	<b>"DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO        GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS        PROPIEDADES MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN        AV. POLONIA - 2019"</b>	<b>CANTIDAD:</b>	<b>250 Kg.</b>
		<b>PRESENTACIÓN :</b>	<b>Sacos de polietileno</b>
<b>FECHA DE INICIO:</b>	<b>03.06.2019</b>	<b>FECHA DE TERMINO:</b>	<b>04.06.2019</b>

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	Piedra Chancada 3/4" Cant. La Gloria		Arena Chancada Cant. La Gloria							
		ABERTURA (mm)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)	PASA (%)	RET. (%)
3"	76.200										
2 1/2"	63.500										
2"	50.800										
1 1/2"	38.100										
1"	25.400										
3/4"	19.050		100.0								
1/2"	12.700	15.0	85.0								
3/8"	9.525	29.0	56.0								
1/4"	6.350	30.0	26.0								
N° 4	4.760	20.0	6.0		100.0						
N° 6	3.360	6.0	-	10.0	90.0						
N° 8	2.380	-	-	11.0	79.0						
N° 10	2.000	-	-	9.0	70.0						
N°16	1.190	-	-	12.0	58.0						
N° 20	0.840	-	-	9.0	49.0						
N° 30	0.590	-	-	8.0	41.0						
N° 40	0.426	-	-	7.0	34.0						
N° 50	0.297	-	-	6.0	28.0						
N° 80	0.177	-	-	5.0	23.0						
N° 100	0.149	-	-	6.0	17.0						
N° 200	0.074	-	-	7.0	10.0						
-200	-	-	-	10.0	-						

OBSERVACIONES :

**ING. RESPONSABLE**  
**Lima, 04 Junio 2019**

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYOS**

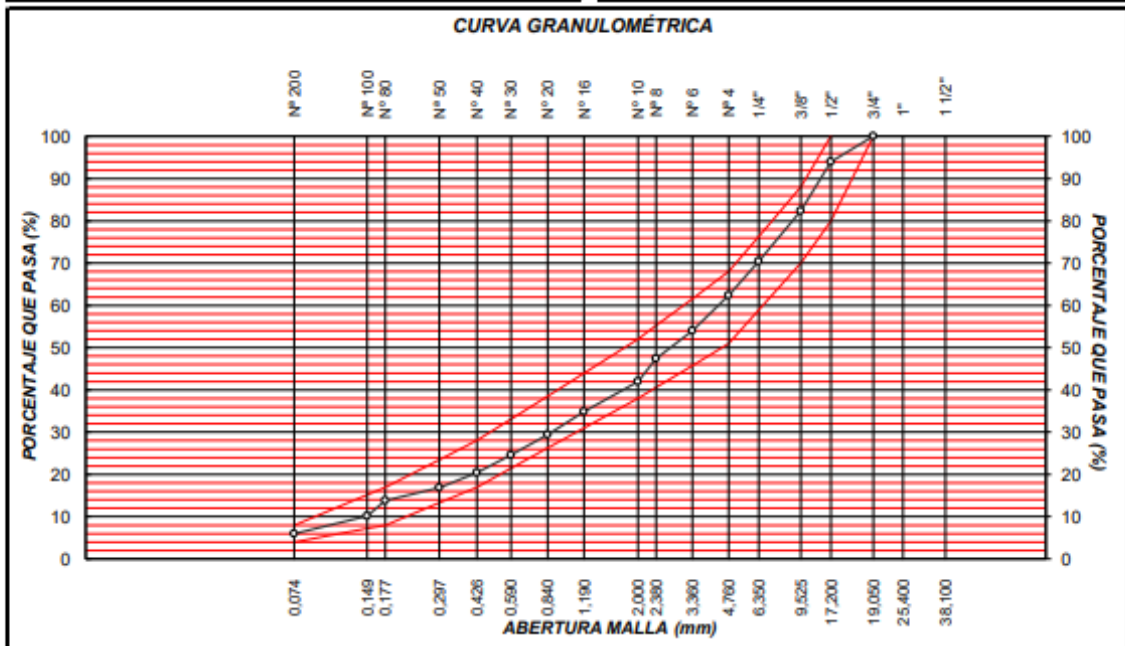
<b>SOLICITANTE :</b>	<b>CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>Agregados</b>
	<b>LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>La que se indica</b>
<b>TESIS</b>	<b>"DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019"</b>	<b>CANTIDAD:</b>	<b>250 Kg.</b>
		<b>PRESENTACIÓN :</b>	<b>Sacos de polietileno</b>
<b>FECHA DE INICIO:</b>	<b>03.06.2019</b>	<b>FECHA DE TERMINO:</b>	<b>04.06.2019</b>

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEZCLA DE AGREGADOS**

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRIA			GRADACIÓN MAC-2
	ABERTURA (mm)	RETENE (%)	PASA (%)	
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050		100.0	100
1/2"	12.700	6.0	94.0	80 - 100
3/8"	9.525	11.6	82.4	70 - 88
1/4"	6.350	12.0	70.4	
N° 4	4.750	8.0	62.4	51 - 68
N° 6	3.360	8.4	54.0	
N° 8	2.380	6.8	47.4	
N° 10	2.000	5.4	42.0	38 - 52
N° 16	1.190	7.2	34.8	
N° 20	0.840	5.4	29.4	
N° 30	0.590	4.8	24.6	
N° 40	0.426	4.2	20.4	17 - 28
N° 50	0.297	3.6	16.8	
N° 80	0.177	3.0	13.8	8 - 17
N° 100	0.149	3.6	10.2	
N° 200	0.074	4.2	6.0	4 - 8
- N° 200		6.0	-	

RESUMEN DE ENSAYO	
INDIVIDUAL	
(1) Piedra Chancada 3/4" Cant. La Gloria	= 40%
(2) Arena Chancada Cant. La Gloria	= 60%
PROPORCIONES EN LA MEZCLA RESULTANTE	
- AGREGADO GRUESO	= 38%
- AGREGADO FINO	= 62%
OBSERVACIONES :	
- Especificaciones del MTC EG-2000	
- Procedente de la cantera :	



**ING. RESPONSABLE**  
 Lima, 04 Junio 2019

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADO DE ENSAYOS**

<b>SOLICITANTE :</b>	<b>CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>Agregados</b>
	<b>LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>La que se indica</b>
<b>TESIS :</b>	<b>"DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA      INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA      MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS,      METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019"</b>	<b>CANTIDAD:</b>	<b>250 Kg.</b>
		<b>PRESENTACIÓN :</b>	<b>Sacos de polietileno</b>
<b>FECHA DE INICIO:</b>	<b>03.06.2019</b>	<b>FECHA DE TERMINO:</b>	<b>04.06.2019</b>

<b>NTP 400.022</b>	<b>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino</b>
Código de la muestra	<b>TESIS</b>
PESO FIOLA (CALIBRADA CON AGUA) <b>A</b>	<b>672.1</b>
PESO FIOLA (CALIBRADA CON AGUA) + PESO MATERIAL <b>B</b>	<b>972.1</b>
PESO FIOLA + AGUA + MATERIAL S.S.S. (EXTRAIDO EL AIRE) <b>C</b>	<b>862.1</b>
VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS <b>D=(B-C)</b>	<b>110.0</b>
PESO DE MATERIAL SECO <b>E</b>	<b>298.7</b>
VOLUMEN DE LA MASA <b>F=D-(PESO MATERIAL S.S.S-E)</b>	<b>108.7</b>
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SECA) <b>E/D</b>	<b>2.715</b>
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SATURADA) <b>MAT.S.S.S/D</b>	<b>2.727</b>
PESO APARENTE (BASE SECA) <b>E/F</b>	<b>2.748</b>
ABSORCIÓN	<b>0.44</b>

\_\_\_\_\_  
**ING. RESPONSABLE**  
 Lima, 04 Junio 2019





**LABORATORIO DE SUELOS Y AGREGADOS  
 REPORTE DE RESULTADO DE ENSAYOS**

<b>SOLICITANTE :</b>	<b>CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>Agregados</b>
	<b>LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA.</b>	<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>La que se indica</b>
<b>TESIS :</b>	<b>"DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA      INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA      MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS,      METODO VÍA SECA EN AV. POLONIA - 2019"</b>	<b>CANTIDAD:</b>	<b>250 Kg.</b>
		<b>PRESENTACIÓN :</b>	<b>Sacos de polietileno</b>
<b>FECHA DE INICIO:</b>	<b>03.06.2019</b>	<b>FECHA DE TERMINO:</b>	<b>05.06.2019</b>

<b>NTP 400.021</b>	<b>AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso</b>	
Código de la muestra	<b>TESIS</b>	
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (EN AIRE) <b>A</b>	<b>1650.8</b>	
PESO MAT. SATURADO Y SUPERFICIALMENTE SECO (SUMERGIDO) <b>B</b>	<b>1044.8</b>	
VOLUMEN DE LA MASA + VOLUMEN DE VACIOS <b>C=(A-B)</b>	<b>606.0</b>	
PESO DE MATERIAL SECO <b>D</b>	<b>1638.5</b>	
VOLUMEN DE LA MASA <b>E=C-(A-D)</b>	<b>593.7</b>	
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SECA) <b>D/C</b>	<b>2.704</b>	
PESO ESPECIFICO BULK (BASE SATURADA) <b>A/C</b>	<b>2.724</b>	
PESO APARENTE (BASE SECA) <b>D/E</b>	<b>2.760</b>	
ABSORCIÓN	<b>0.75</b>	

**ING. RESPONSABLE**  
**Lima, 05 Junio 2019**

## REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO

**PROYECTO** : DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, MÉTODO VÍA SECA EN AV. POLINIA -2019"  
**SOLICITADO** : CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO.  
 LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA. .  
**FECHA** : Lima, Mayo del 2019

### ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

**IDENTIFICACIÓN** : CANTERA "LA GLORIA"  
**TIPO DE ASFALTO** : PEN 60 – 70 (Refinería Conchán)  
**TIPO DE ADITIVO** : Mejorador de adherencia QUIMIBOND 3000  
 (0.5% en peso del asfalto)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/16 – 6.625	5	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

### ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN: 5 - 10

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.

## REPORTE DE RESULTADOS DE ENSAYO

**PROYECTO** : DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA INCORPORANDO GRANOS DE CAUCHO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS, MÉTODO VÍA SECA EN AV. POLINIA -2019"  
**SOLICITADO** : CONDORI TELLO, EDWIN SANTIAGO.  
 LONAZCO MENDOZA, EDWIN PASARELA. .  
**FECHA** : Lima, Mayo del 2019

### ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

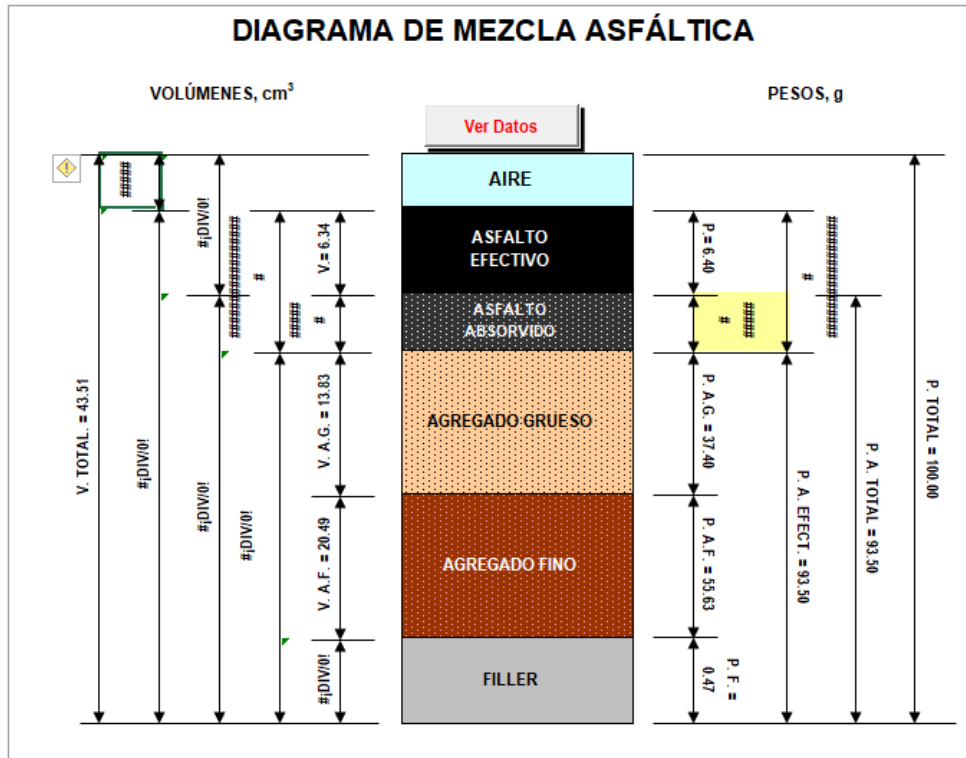
**IDENTIFICACIÓN** : CANTERA "LA GLORIA"  
**TIPO DE ASFALTO** : PEN 60 – 70 (Refinería Conchán)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/256 – 0.414	1	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/128 – 0.828	2	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/64 – 1.656	3	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/32 – 3.312	4	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/16 – 6.625	5	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

**ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN: 0 - 10**

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.

## MARSHALL + 0.5 DE CAUCHO



[Ver Diagrama](#)

% DEAGREGADO GRUESO (En peso de los Agregados)	40.0 %
% DE AGREGADO FINO (En peso de los Agregados)	59.5 %
PORCENTAJE DE FILLER (En peso de los Agregados)	0.5 %

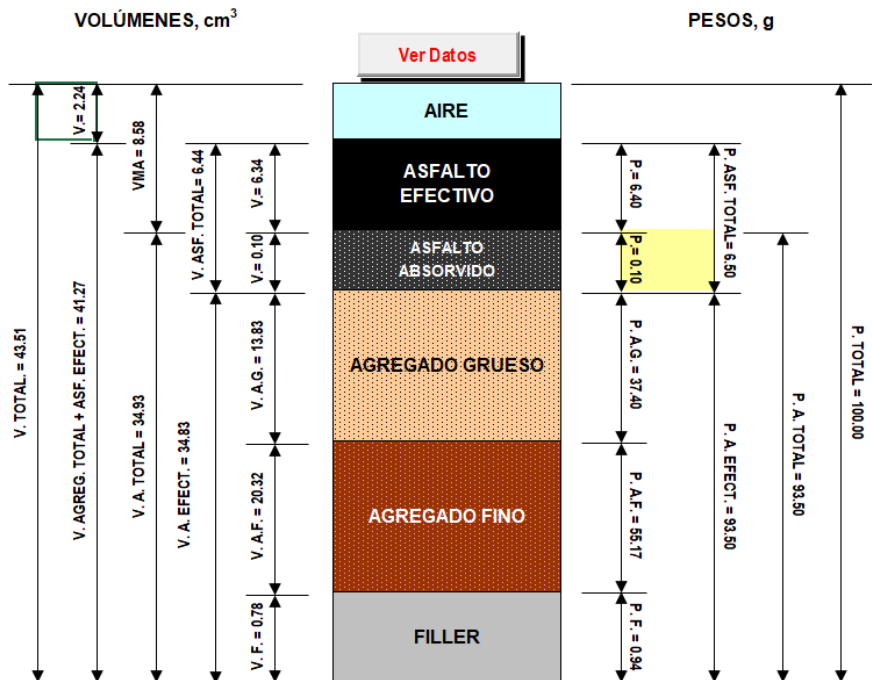
% DE C.A. TOTAL (EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6.50
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.704
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.715
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER	0.000
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	#¡DIV/0!
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.298
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. <sup>3</sup> )	#####
PORCENTAJE DE VACÍOS	#####
V.M.A.	#####
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	#####
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	#####
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.100
PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	0.58



## MARSHALL + 1.0 DE CAUCHO



### DIAGRAMA DE MEZCLA ASFÁLTICA



[Ver Diagrama](#)

% DEAGREGADO GRUESO (En peso de los Agregados)	40.0 %
% DE AGREGADO FINO (En peso de los Agregados)	59.0 %
PORCENTAJE DE FILLER (En peso de los Agregados)	1.0 %

% DE C.A. TOTAL (EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	<b>6.50</b>
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.704
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.715
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER	1.200
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	<b>2.423</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.298
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.677
PORCENTAJE DE VACÍOS	5.200
V.M.A.	19.700
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	73.800
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.684
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.100
PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	6.400

(5)

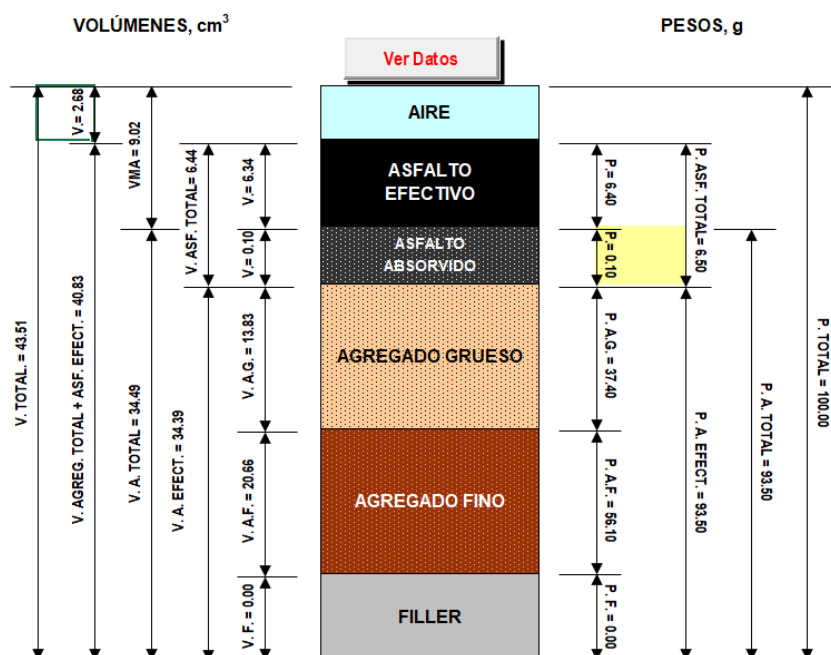


0.61

## MARSHALL CONVENSIONAL



### DIAGRAMA DE MEZCLA ASFÁLTICA



[Ver Diagrama](#)

% DEAGREGADO GRUESO (En peso de los Agregados)	40.0 %
% DE AGREGADO FINO (En peso de los Agregados)	60.0 %
PORCENTAJE DE FILLER (En peso de los Agregados)	0.0 %

% DE C.A. TOTAL (EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	<b>6.50</b>
PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO	2.704
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO	2.715
PESO ESPECÍFICO DEL FILLER	0.000
PESO ESPECÍFICO MÁXIMO (RICE) - ASTM D 2041	<b>2.449</b>
PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.298
PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. <sup>3</sup> )	2.711
PORCENTAJE DE VACÍOS	6.200
V.M.A.	20.700
PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	70.300
PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.718
ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.100
PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	6.400

(5)



0.69