



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y

ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**ASFALTO VARIADO CON MATERIAL RECICLADO DE
NEUMÁTICOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTO
FLEXIBLE, MOQUEGUA 2019.**

PRESENTADO POR

BACHILLER: EDWIN ABRAHAM MAMANI MAMANI

ASESOR

MGR. KARLA FIORELLA CORNEJO LECAROS

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2021

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Jurado	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras	x
Índice de ecuaciones	xi
Resumen.....	xii
Abstract	xiii
Introducción	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática	1
1.2 Definición del problema	2
1.2.1 Problema general..	2
1.2.2 Problemas específicos.....	3
1.3 Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1 Objetivo general.....	3
1.3.2 Objetivos específicos	3
1.4 Justificación e importancia de la investigación	3
1.5 Variables. Operacionalización.....	4
1.5.1 Variables.....	4

1.6	Operacionalización de variables	5
1.7	Hipótesis de la Investigación	6
1.7.1	Hipótesis general	6
1.7.2	Hipótesis específicas.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	7
2.2	Bases teóricas.....	13
2.2.1	Asfalto.....	13
2.2.2	Mezcla de asfalto.....	14
2.2.3	Funcionalidad de mezcla asfáltica	14
2.2.4	Clasificación de las mezclas de asfalto.....	16
2.2.5	Componentes de una mezcla de asfalto	16
2.2.6	Tipos de agregado pétreo.....	21
2.2.7	Propiedades de agregado pétreo.	22
2.2.8	Consideración en el empleo del agregado pétreo	22
2.2.9	Clasificación de agregados pétreos de conformidad al tamaño.....	23
2.2.10	Diseño de mezcla asfáltica – método Marshall.....	29
2.2.11	Normatividad para la metodología.....	36
2.3	Marco conceptual	40

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1	Tipo de investigación.....	45
3.1.1	Tipo.....	45

3.1.2 Método de investigación.....	45
3.1.3 Materiales y metodología.....	45
3.2 Diseño de investigación.....	46
3.3 Población y muestra.....	46
3.3.1 Población.....	46
3.3.2 Muestra.....	47
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	48

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Desarrollo experimental	49
4.1.1 Ensayos de control de calidad de agregado	50
4.2 Diseño para mezclado asfáltico por metodología Marshall.....	61
4.2.1 Cálculo de peso unitario, de muestra compactada.....	61
4.2.2 Peso determinado Bulk de mezcla de agregado.	63
4.2.3 Pesos efectivos netos de agregado.....	63
4.2.4 % de asfaltos absorbidos.....	65
4.2.5 Contenido asfáltico efectivo	65
4.2.6 % VMA en mezclado compactado.	66
4.2.7 % de vacío de aire en mezclado compactado	68
4.2.8 Vacíos llenos de asfalto	69
4.2.9 Cálculo de contenidos óptimos de masa asfáltica convencional	70
4.2.10 Resultados de diseño del mezclado asfáltico en caliente	72
4.3 Diseño para mezclados de asfalto – método Marshall (Asfalto modificado)	72

4.3.1 Cálculo de peso unitario de muestreo compactado	72
4.3.2 Peso específico Bulk del mezclado y/o combinación de agregados	73
4.3.3 Peso efectivo de agregados.....	74
4.3.4 % de asfaltos absorbidos.....	75
4.3.5 Contenido de masa asfáltica efectiva.....	76
4.3.6 % VMA en mezclado compactado.	77
4.3.7 % de vacío de aire en mezclado compactado	78
4.3.8 Vacíos llenos de asfalto	79
4.3.9 Cálculo de contenidos óptimos de masa asfáltica modificada.....	80
4.3.10 Gráficos Marshall.	81
4.4 Contrastación de hipótesis	82
Contrastación de hipótesis general	83
Contrastación de hipótesis específica a)	89
Contrastación de hipótesis específica b)	89
4.5 Discusión de resultados	91

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	96
5.2 Recomendaciones	97
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	99
APÉNDICE.....	101
ANEXO 1 MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	100
ANEXO 2 CARTA DE AUTORIZACION.....	103
ANEXO 3 PANEL FOTOGRAFICO.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables.....	5
Tabla 2 Composición y características de los distintos tipos de neumáticos	19
Tabla 3 Análisis químico de neumático	20
Tabla 4 410-1 Requerimiento de agregado grueso.....	36
Tabla 5 410-3 Req. para agregado fino	37
Tabla 6 410-4 Req. para cara fracturada	37
Tabla 7 410-5 Req. de equivalencia de arena.....	38
Tabla 8 Granulometría de mezclado de agregado.	38
Tabla 9 % retención de Filler	39
Tabla 10 Requerimiento para el mezclado del concreto bituminoso	39
Tabla 11 410-10 Vacíos mínimos en agregados de mineral (VMA).....	40
Tabla 12 Piedra chancada – tamaño máximo ½”	52
Tabla 13 Arena chancada – tamaño máximo ¼”.....	53
Tabla 14 Arena chancada – tamaño máximo 3/8”	53
Tabla 15 Cal hidratada	54
Tabla 16 Caucho reciclado de neumático.....	54
Tabla 17 Para muestreo convencional.....	56
Tabla 18 Para muestreo modificado en 9% de caucho.....	56
Tabla 19 Para muestreo modificado en 7% de caucho.....	56
Tabla 20 Para muestreo modificado en 5% de caucho.....	57
Tabla 21 Para muestreo modificado en 3% de caucho.....	57
Tabla 22 Límite de consistencia.....	58

Tabla 23 Equivalencia de arena (ASTM D-2419)	59
Tabla 24 Abrasión los ángeles ASTM C131, MTC E-207	60
Tabla 25 Detalle técnico de cemento asfáltico PEN 120-150	61
Tabla 26 Cemento asfáltico – Asfalto sólido 120/150 PEN (Detalle).....	61
Tabla 27 Cálculo de peso unitario, de muestreo compactado	62
Tabla 28 Pesos promedio de agregado	63
Tabla 29 Pesos efectivos de agregados	64
Tabla 30 % de asfalto absorbidos.....	65
Tabla 31 Contenido asfáltico efectivo.....	66
Tabla 32 Vacíos en agregado mineral.....	68
Tabla 33 Vacíos de aire en mezclado compactado	69
Tabla 34 Vacíos llenos con masa asfáltica.....	70
Tabla 35 Característica Físico-Mecánicas.....	72
Tabla 36 Peso unitario de muestreo compactado	73
Tabla 37 Peso efectivo promedio	74
Tabla 38 Peso efectivo de agregados	75
Tabla 39 % de asfalto absorbidos.....	76
Tabla 40 % de contenido asfáltico efectivo	77
Tabla 41 % de vacío en agregados minerales	78
Tabla 42 % de vacío de aire en mezclado compactado.....	79
Tabla 43 % de vacío lleno con masa asfáltica.....	80
Tabla 44 Característica Físico-Mecánicas.....	82
Tabla 45 Comparación de DAM y DAC.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Deformación permanente (ahuellamientos).....	1
Figura 2. Método del cuadrado	27
Figura 3. Método del triángulo.....	29
Figura 4. Instrumentos para análisis de granulometría	55
Figura 5. Proceso del análisis de granulometría.....	55
Figura 6. Suelo secado	58
Figura 7. Pase a estado elástico o líquido	58
Figura 8. Gráfico de limite liquido.....	58
Figura 9. Prueba de resistencia de agregado menores por fricción.....	60
Figura 10. Resultado de ensayo de resistencia de agregados	60
Figura 11. Gráficos Marshall	71
Figura 12. Gráficos Marshall, con caucho	81
Figura 13. Comparación de ensayo Marshall de mezclados	84
Figura 14. Flujos de asfalto convencional.....	85
Figura 15. Flujos de asfalto convencional.....	86
Figura 16. Pesos unitarios de asfalto convencional	86
Figura 17. Vacíos llenados de cemento asfáltico	87
Figura 18. Estabilidad de flujos o rigidez de asfalto convencional.....	87
Figura 19. Estabilidad retenida de asfalto convencional.....	88
Figura 20. Estabilidad retenida de asfalto convencional.....	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1.....	62
Ecuación 2.....	63
Ecuación 3.....	64
Ecuación 4.....	65
Ecuación 5.....	66
Ecuación 6.....	67
Ecuación 7.....	68
Ecuación 8.....	69
Ecuación 9.....	70
Ecuación 10.....	72
Ecuación 11.....	73
Ecuación 12.....	74
Ecuación 13.....	75
Ecuación 14.....	76
Ecuación 15.....	77
Ecuación 16.....	78
Ecuación 17.....	79
Ecuación 18.....	80

RESUMEN

El trabajo de investigación que a continuación se expone, parte para conocer el siguiente objetivo: Analizar el asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, Moquegua 2019. Cuyo método es, en su tipo correlacional-exploratorio, de corte cuantitativo, en cuanto a materiales, el caucho reciclado de neumáticos, cemento asfáltico, cal hidratada y agregados, diseño de investigación experimental, respecto a su población y muestra se tiene, totalidad de fenómeno de investigación (mezcla de asfalto convencional, y asfalto variado con caucho reciclado de neumáticos, y agregados provenientes de cantera Mama Rosa, cuya ubicación queda en la provincia de Mariscal Nieto, del departamento de Moquegua.) y el muestreo de control, mezcla de asfalto convencional en caliente (DAC) y modificado. Técnica, experimento e instrumento materiales experimentales. Resultados, se tiene, en cuanto a la comparación de ensayo Marshall de mezclas convencionales y modificadas, en donde sus resultados respecto al uso de caucho reciclado de neumático en mezclado de asfalto; toda vez que los resultados tuvieron cierto sesgo a lo esperado y no presenta mejoras en su comportamiento físico- mecánicas en ninguno de los distintos diseños que se realizó, toda vez que sus valores que se obtuvieron por ensayo Marshall, se ubican por debajo del mezclado asfáltico convencional y sus especificaciones de calidad a las cuales están sujetas. Conclusión, El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, no presenta mejoras en su comportamiento físico- mecánicas en ninguno de los distintos diseños que se realizó.

Palabras clave: Asfalto, reciclado, neumáticos, pavimento flexible, agregados.

ABSTRACT

The research work set out below sets out to meet the following objective: Analyze the varied asphalt with recycled tire material for application on flexible pavement, Moquegua 2019. Whose method is, in its correlational-exploratory type, quantitative cut Regarding materials, the recycled rubber of tires, asphalt cement, hydrated lime and aggregates, experimental research design, with respect to its population and sample, there is a totality of research phenomenon (mixture of conventional asphalt, and varied asphalt with recycled rubber of tires, and aggregates from Mama rosa, whose location is in the province of Mariscal Nieto, in the department of Moquegua.) and control sampling, mixing conventional hot asphalt (DAC) and modified. Experimental materials technique, experiment and instrument. Results, we have, regarding the Marshall test comparison of conventional and modified mixtures, where its results regarding the use of recycled tire rubber in asphalt mixing; since the results had a certain bias to what was expected and did not present improvements in their physical-mechanical behavior in any of the different designs that were carried out, since their values that were obtained by the Marshall test were below the asphalt mix conventional and their quality specifications to which they are subject. Conclusion, the behavior of the asphalt varied with recycled tire material for its application in flexible pavement, does not present improvements in its physical-mechanical behavior in any of the different designs that were carried out.

Keywords: Asphalt, recycled, tires, flexible pavement, aggregates

INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación intitulado “Asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, Moquegua 2019” fue motivado debido a que en estos últimos tiempos se ha venido desarrollando e impulsando el tema del reciclado de materiales, situación que ha invitado a desarrollar y mejorar los pavimentos, mediante la modificación de mezclas de asfalto, de tal forma que nuestro país cuente con infraestructura vial acorde a los actuales tiempos. Para lo cual se planteó el siguiente objetivo: Analizar el asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, para ello se consideró plantear la siguiente *hipótesis*: el comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos en aplicaciones de pavimento flexible, mejora su comportamiento mecánico - Moquegua 2019.

Estando organizado el presente estudio de la siguiente forma y capítulos.

Problema de investigación. – En este capítulo se hace una descripción de la situación problemática existente en el Perú, al señalar casos en donde las infraestructuras viales presentan características de mezclas de asfalto producto de la obtención con ligantes convencionales, y que estos no están en capacidad de presentar resistencia a la acción conjunta de transitabilidad y climatológico, invitando a ser necesario el desarrollo de mezclas con características bituminosas de mayor resistencia, que revele mejoras en sus propiedades mecánicas, buscando su durabilidad, evitar ahuellamientos y reducir su agotamiento. (Delbono & Rebollo, octubre 2017).

Marco teórico. – En este capítulo se tiene tres sub capítulos, que comprende Antecedentes: en esta parte se hace una exposición de todos aquellos trabajos de

investigación desarrolladas por investigadores que trataron sobre tema y que van relacionados a sus variables. Seguidamente tenemos un desarrollo relativo a la base teórica en relación directa a las variables de estudio, como soporte para un entendimiento técnico y de soporte. Finalmente, se tiene un marco referencial, en cual se desarrolla términos relativos a sus variables para un mejor entendimiento del tema por parte de los interesados en tema y del público en general.

Método. – Tipo de investigación, correlacional-exploratorio, de corte cuantitativo, en cuanto a materiales, el caucho reciclado de neumáticos, cemento asfáltico, cal hidratada y agregados, diseño de investigación experimental, respecto a su población y muestra se tiene, totalidad de fenómeno de investigación (mezcla de asfalto convencional, y asfalto variado con caucho reciclado de neumáticos, y agregados provenientes de la cantera Mama Rosa, cuya ubicación queda en la provincia de Mariscal Nieto, del departamento de Moquegua.) y el muestreo de control, mezcla de asfalto convencional en caliente y modificado. Técnica, experimento e instrumento materiales experimentales.

Presentación y análisis de resultados. – Se tiene, en cuanto a la comparación de ensayo Marshall de mezclas convencionales y modificadas, respecto al uso de caucho reciclado de neumático en mezclado de asfalto; toda vez que los resultados tuvieron cierto sesgo a lo esperado y no presenta mejoras en su comportamiento físico-mecánicas en ninguno de los distintos diseños que se realizó, toda vez que sus valores que se obtuvieron por ensayo Marshall, se ubican por debajo del mezclado asfáltico convencional y sus especificaciones de calidad a las cuales están sujetas.

Conclusión y recomendaciones. – En cuanto a *Conclusión*, El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, no presenta mejoras en su comportamiento físico-mecánicas en ninguno de los distintos diseños que se realizó, toda vez que sus valores que se obtuvieron por ensayo Marshall, se ubican por debajo del mezclado asfáltico convencional y sus especificaciones de calidad a las cuales están sujetas.

Recomendación ... implementar con equipos de laboratorio especializados que permite efectuar y desarrollar estudios más amplios y con la debida profundidad, sobre todo en el comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible. Así como en el fortalecimiento de capacidades del personal técnico de planta de asfalto, en nuevos tipos de asfaltos modificados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática.

En el Perú, existen casos en donde las infraestructuras viales presentan características de mezclas de asfalto producto de la obtención con ligantes convencionales, y que estos no están en capacidad de presentar resistencia a la acción conjunta de transitabilidad y climatológico, invitando a ser necesario el desarrollo de mezclas con características bituminosas de mayor resistencia, que revele mejoras en sus propiedades mecánicas, buscando su durabilidad, evitar ahuellamientos y reducir su agotamiento. (Delbono & Rebollo, octubre 2017)



Figura 1. Deformación permanente (ahuellamientos)

Fuente: (Delbono & Rebollo, octubre 2017)

Esta problemática de las infraestructuras viales en el país, radica básicamente por un desconocimiento del comportamiento y dinámica del pavimento, problemática en diseñar y establecer las especificaciones, mezclas y errores en el proceso constructivo. Esta situación se puede apreciar y visualizar en infinidad de infraestructuras viales (calles y carreteras) a lo largo y ancho del país detectándose las conocidas fallas tempranas. Esta problemática en los pavimentos, también tiene su origen y/o inicio, debido a que el proceso de mezcla, no posee un adecuado comportamiento, tanto en su dinámica y mecánica; ello se debe a que son sometidos a situaciones distintas de trabajo, tales como: flexión, compresión, tracción, cortante, entre otros.

Con el trabajo de investigación se pretende mejorar la fluencia de las altas temperaturas y el proceso de dilatación que causa este fenómeno, asimismo, evitar que los asfaltos sean y/o asuman un comportamiento con en demasía viscosidad a las elevadas temperaturas del proceso de mezclado, compactación o que este sea muy frágil o endeble a baja temperatura. Sin embargo, sabemos de la existencia de un material que reúne los requisitos descritos, siendo este el caucho de neumáticos y llantas usadas de todo tipo de vehículos, el cual, de darle un tratamiento pertinente y reducción de tamaño y propiedad, podría ser reincorporado al asfalto para dar lugar y/o obtener un asfalto modificado.

1.2 Definición del problema.

1.2.1 Problema general.

¿Cuál es el comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, Moquegua 2019?

1.2.2 Problemas específicos.

- a) ¿Cuál es el diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente del caucho reciclado de neumáticos?
- b) ¿Cuál es el resultado de la mezcla de asfalto tradicional con el asfalto variado con caucho de neumáticos reciclados?

1.3 Objetivos de la investigación.

1.3.1 Objetivo general.

Analizar el asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, Moquegua 2019.

1.3.2 Objetivos específicos.

Obtener el diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente del caucho reciclado de neumáticos.

Comparar la mezcla de asfalto tradicional con el asfalto variado con caucho de neumáticos reciclados.

1.4 Justificación e importancia de la investigación.

Las razones que justifican el desarrollo del presente estudio se basa en las ventajas que ofrece este innovador producto asfáltico variado o modificado con caucho reciclado de neumático, entre ellos tenemos las siguientes:

- a. Disminución de la contaminación, causada por los residuos sólidos como los neumáticos usados del parque automotor, representando una situación casi inmanejable, convirtiéndose un problema ambiental que afecta al país.

- b. Experimento adecuado de tecnologías innovadoras en lo vial, para nuestras vías de comunicación a nivel nacional.
- c. Resistencia alta al deslizamiento bajo lluvias
- d. Resistencia alta al deslizamiento en pavimentos húmedos.
- e. Apropiada conducta mecánica.
- f. Disminución en el ruido.
- g. Pavimento de rodadura cómoda.

Finalmente, este trabajo servirá como un referente en la experimentación de este tipo de asfalto en pavimentos de vías, así como de una nueva innovación de este producto y posible de ser replicada en otras entidades.

1.5 Variables. Operacionalización.

1.5.1 Variables

Variable independiente:

Asfalto variado con material reciclado de neumáticos.

Definición conceptual. - Es el producto de incorporar un polímero u otro material que modifique la composición en el asfalto con el propósito de lograr mejoras en sus propiedades físicas y geológicas, así como en la disminución de la susceptibilidad a temperaturas y humedad. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018)

Variable dependiente:

Aplicaciones de pavimento flexible.

Definición conceptual. - Es aquella estructura construida sobre la subrasante de la vía, para soportar, resistir y distribuir los esfuerzos que origina las unidades vehiculares, y poder mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para su transitabilidad. Conformado generalmente por capas, base y capa de rodadura.

Indicadores:

- a. Propiedad mecánica de asfalto variado, Porcentaje de caucho reciclado de neumáticos y Estabilidad y fluencia

1.6 Operacionalización de variables

Tabla 1

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Asfalto variado con material reciclado de neumáticos	Se aplicará la experimentación respecto al asfalto variado con material reciclado de neumáticos, respecto a los (6) indicadores y una escala de medición.	- % cauchos - % cemento de asfalto - % cal hidratadas - Adherencia, estabilidad	De acuerdo a ensayos de laboratorio
Pavimento flexible	Se recabará información respecto al pavimento flexible considerando los (6) indicadores y una escala de medición nominal	- flujo de ensayo de Marshall.	Especificaciones técnicas de diseño

Elaborado por el ejecutor.

1.7. Hipótesis de la Investigación.

1.7.1. Hipótesis general.

El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos en aplicaciones de pavimento flexible, mejora su comportamiento mecánico - Moquegua 2019.

1.7.2. Hipótesis específicas.

El diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente del caucho reciclado de neumáticos, mejora su comportamiento mecánico.

El diseño de la mezcla de asfalto tradicional con el asfalto variado con caucho de neumáticos reciclados, mejora el comportamiento físico-mecánicos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.

Ámbito internacional

(Guzmán, 2017) Gestión sostenible del pavimento rígido, flexible y articulado del centro urbano del Cantón Girón. (Tesis de Maestría) Universidad de Cuenca. Cuenca Ecuador, quien nos presenta los siguientes datos: objetivo, conocer la gestión sostenible del pavimento rígido y flexible y su articulación en el centro urbano de Cantón Girón. En cuanto a sus resultados indica que, el índice de condición del pavimento, PCI para pavimento flexible y rígido e ICP para pavimentos articulados, establece el nivel de servicios de vías y acción operacional que pueda ejecutarse, de tipo preventivo, correctivo, de reconstrucción o nulo; asimismo se establece la evolución en el tiempo, del nivel de cantón Girón, en el sur de la provincia de Azuay. Los valores de PCI e ICP han sido obtenidos a través de la sistematización, jerarquización y optimización del proceso de cálculos de datos recabados en campo; fluyendo una propuesta del mejor tipo de tratamiento y ejecutar una vía por el servicio que presta; y seguidamente proceder con su valorización para su respectiva ejecución. Finalmente, los valores determinan un

nivel de servicios promedio de 72% para pavimento flexible y de 61% para rígido y bueno con un valor de 90% para pavimento articulado. Concluyéndose que el cantón tiene niveles de servicio aceptable y cuyos costos de mantenimiento que el cantón posee un nivel aceptable y son relativamente bajos. De esta manera, se puede gestionar su financiamiento de forma sostenible, optimizando recursos y sistematizando la intervención de mantenimientos técnicamente, y priorizando las intervenciones en observancia a la jerarquización de las condiciones de sus pavimentos (p. 2).

(Lopez, 2016) El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua. (Tesis de Maestría) Universidad Técnica de Ambato. Ambato Ecuador; quien muestra los siguientes datos: objetivo, Elaborar un modelo de pavimento y mejora en su comportamiento estructural, y evitar su deterioro temprano de la red vial, provincia de Tungurahua. En cuanto a su metodología, se tiene lo siguiente: tipo de investigación básica, nivel exploratorio, descriptivo y explicativo, respecto a su población y muestra se tiene en cuanto a población a la provincia de Tungurahua, que consta de 1700km de vías asfaltadas y distribuidos en siete cantones y cuarenta y cuatro parroquias, resultando una muestra de 375.67 km. En cuanto a su recolección de datos, utilización de formularios preparados y del sistema Paver. Llegando a sus principales conclusiones que a continuación se describe: En las vías que cuenta con una capa asfáltica de sub-base o base y carpeta asfáltica debe ser sometido a proceso de rehabilitación con refuerzos en sus estructuras o una sobre capa. Las vías que solo cuentan con capa de recubrimiento, debe ser sometido a procesos de reconstrucción total y mal usar los recursos económicos. Y

finalmente, todas aquellas vías que se encuentran en tierra debe ser técnicamente evaluada y su posterior sometimiento a un diseño paraposteriormente ejecutar el proceso constructivo (p. 27).

(Sandoval & Orobio, 2013) en su artículo científico, Efecto de la tolerancia de construcción en el desempeño de pavimento flexible. Revista Ingeniería de Construcción RIC. Quienes concluyeron en los siguientes resultados: que, la consistencia diseño construcción representa un factor de mucha relevancia en el tema de pavimentos, el espesor de capas representa un papel importantísimo en el comportamiento del pavimento flexible en servicio, lasdiferencia en el espesor de sus capas entre el diseño y construcción del pavimento, son factores determinantes en el desempeño de la estructura. Los criterios técnicos colombianos en la construcción de carreteras permiten ciertas tolerancias en su proceso constructivo en lo relativo al espesor en capas de pavimentos, que bien podrían incidir en disminuir la vida útil del pavimento en servicio. Realizándose un estudio para determinar si las tolerancias permitidas, tiene algún efecto de significancia en el desempeño depavimento flexible, se analizó estructuras de pavimentos, el cual incluía una capa con estabilización de cemento. Se utilizó técnicas estadísticas simulativas, y por cada estructura se variaron de forma simultanea los espesores de sus capas dentro de lo permitido, realizándose 100 variaciones por estructura y su evaluación posterior del desempeño de cada combinaciónde espesor, y para ello se utilizó un software de guía mecanicista-empírico, para diseño de pavimento (MSPDG) siendo sus parámetros sujetos a estudio, rigurosidad, fisura piel de cocodrilo y ahuellamientos. Mostrando que, la reducción en el espesor de la carpeta asfáltica y capa estabilizada con cemento en el margen tolerado, incide de manera

significativa en el deterioro prematura del pavimento. Las variantes en el espesor dentro de los parámetros permisibles de capas base y subbase, no inciden de forma significativa en el desempeño de estructuras viales (p.276).

(Vera, Thenoux, Solminach, & Echeveguren, 2010) Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles. Revista de la Construcción; quienes nos presentan los siguientes resultados: que en la gestión del pavimento es relevante su evaluación del desempeño y de sus estrategias en el mantenimiento. Estos son realizados mediante modelos tales como HDM-4 en el nivel red. Sin embargo, se debe considerar que, no necesariamente debe estar calibrado en el nivel de proyecto que permita precisar los planes de mantenimiento. En el mismo, se hace la propuesta de un modelo de evaluación técnica de pavimento alternativo, permitiendo la comparación de planes de conservación. Así como, el desempeño de programas de mantenimiento ejecutados, a nivel de proyecto, ya que este modelo considera modelo de predicción de tráfico, de progresión rigurosa mediante el IRI, de los derivados de la acción de mantenimiento sobre este. Este modelo fue calibrado a nivel de proyecto con datos de 2.000 tramos de 200 m de longitud de pavimento asfáltico, emplazado en la red vial de Chile, debidamente categorizado por nivel de tráfico, clima, tipo de vehículos y condiciones de carga. A ello, se propone un indicador de desempeño que permite la medición de lo efectivo del plan de conservación con relación a la condición base. Asimismo, permite la cuantificación del desempeño contemplados en los respectivos planes de mantenimiento respecto al tipo de pavimento, considerando los planes de conservación de conformidad a la data histórica de los pavimentos (p. 87).

Ámbito nacional y o regional

(Humpiri, 2015) en tesis intitulado, Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú. Manifestándonos respecto al diagnóstico pormenorizado por daños sufridos en varios proyectos de pavimento flexible ubicados en la región Puno, para ello fue necesario la realización rigurosa de una inspección de las vías a evaluar, evidenciándose deterioro en superficies de rodadura de nivel de severidad baja, y en algunos casos de media y alta. Situación que llevó a su justificación, clasificación y monitoreo de falla encontradas en sus superficies. Asimismo, la mayor parte de las carreteras en mantenimiento y rehabilitadas, se han deteriorado de manera prematura, y con ello la disminución de su condición y el nivel de operatividad del pavimento, acarreando trabajos de corrección y complementarios antes de sus previsiones. Cuyas causas están ligadas al tráfico proyectado de manera inadecuada, mala valoración del sub-rasante, condición de drenaje, ambientales no considerados entre otros aspectos. Finalmente, en la región Puno, se cuenta con una variedad de diseños en pavimento flexible, que en la mayoría no cumplió con el ciclo de vida previsto. Haciéndose muy importante la conservación de los mismos, mediante los mantenimientos rutinarios, periódicos y/o de rehabilitación, que los mismos permitan brindar mayor seguridad, comodidad y el menor tiempo posible a los usuarios y ciudadanía, accesoriamente, esta situación logrará lamejora notable en el nivel de servicios de las vías (p. 20).

(Becerra-Salas, 2013) en su tesis intitulado de: Comparación técnico-económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión. (Tesis de Maestría) Universidad de Piura. Lima Perú. Nos revela lo siguiente: En las últimas décadas, la utilización del concreto hidráulico ha sido considerable en los países desarrollados, en la construcción de sus carreteras, ni siendo usado en el Perú en las mismas dimensiones, y su empleo es limitado solo en vías departamentales y vecinales. Debiéndose estas situaciones y limitantes como la falta de actualización en las tecnologías disponibles para la construcción de pavimentos de concreto, generando la baja competitividad técnica y económica respecto a otras alternativas: en la utilización de pavimento flexible. Y debido a las limitantes de tecnología y al restringido en su empleo, es común encontrarnos con especialistas que ausente de haber realizado un análisis comparativo pertinente, señalan que los costos de proceso constructivo del pavimento de concreto no son competitivos y que dicha afirmación no necesariamente es ajustada a la realidad objetiva. Y que el presente estudio tuvo por propósito demostrar la competitividad del pavimento rígido, incluso a nivel de costos del proceso de construcción inicial. Respecto a su metodología es cuantitativa, desarrollándose modelos técnicos y económicos equivalente para las dos versiones de pavimento los cuales ha sido comprados. En la parte técnica involucro el estudio de pavimentos semejantes en su versión de flexible y rígido que se desarrolló a través de una matriz que consideró diseños equivalentes a partir de parámetros: tráfico y suelos (p. 8).

(Salinas, 2009) en su tesis intitulado de: Aplicación de micropavimento utilizando asfalto variado con polímero en la vía Sullana-Aguas Verdes.

(Tesis de Maestría) Universidad de Piura. Lima Perú. Nos señala lo siguiente: en cuanto a su objetivo se planteó lo siguiente: dar a conocer técnicamente una nueva aplicación de micropavimento con asfalto variado con polímeros para rehabilitar vías y así demostrar mejoras en las propiedades reológicas de asfalto modificado respecto al asfalto convencional. Efectuándose detalles de asfalto PEN 85-100 proveniente de la refinería Talara, Repsol y Conchan que fue ensayado con polímeros LG 501, Kraton y Taipol; dichos ensayos estuvieron sujetos a compatibilidad y elegir uno de ellos, empleándose el mismo para la dispersión durante el desarrollo del proyecto. Finalmente, en la comparación de los resultados obtenidos, tanto modificado como tradicional, se halló que en la mezcla de asfalto convencional el porcentaje óptimo de asfalto fue de 6.4% en tanto que en el asfalto variado fue de 6.3%, ello significa en términos económicos, no hay ahorro en el proceso de ejecución de vía, sin embargo, estos son esperados en la prolongación de la vida útil del pavimento, significando economizar en la etapa de operación y mantenimiento (p. 6).

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Asfalto.

Es un material con característica viscosa, pegajosa y de color negro usado como aglomerante en procesos de mezcla de asfalto para la construcción de carreteras, autopistas o autovías. También es usado en impermeabilizantes. Este producto está presente en el petróleo crudo su composición es casi por completo de bitumen. (Global Investment & Trade Company, 2019, p.1).

Sin embargo, por muchos años, los que llevaron adelante estudios, así como investigadores experimentaron con variaciones en asfaltos, agregando asbestos, fillers exclusivos, fibra vegetal, mineral y caucho, con el propósito de lograr mejoras en sus características mecánicas, ello significa su resistencia a cualquier deformación por factor climatológico y de tráfico (peso de vehículos) dando origen a nuevos asfaltos ahora conocidos como “Asfalto modificado o variado”.

Esta modificación o variación de asfalto, es una técnica que se utiliza para aprovechar de manera efectiva los asfaltos en pavimentación de vías. Persiguiendo con esta el contar con ligantes con mucha mayor viscosidad a elevadas temperaturas para reducir aquellas deformaciones permanentes (ahuellamiento) de mezclas que componen capas de rodadura incrementado su rigidez.

2.2.2 Mezcla de asfalto

Empleadas en el proceso constructivo de manera firme, sea en capas de rodadura o en capas inferiores, con la finalidad de proporcionar superficies de rodamiento cómodos, seguros y económicos a los usuarios en general, de todas las vías de comunicación, y facilitar la circulación vehicular, al margen de la transmisión suficiente de carga, debido al tráfico y que sean soportadas por esta. (Global Investment & Trade Company, 2019).

2.2.3 Funcionalidad de mezcla asfáltica

Las mezclas de asfalto, como se pudo apreciar, sirve para el soporte directo la acción de neumáticos y la transmisión de las cargas y/o peso a las capas inferiores, brindando condiciones convenientes de rodadura, cuando estos sean empleados en

capas superficiales; así como material con resistencia estructural o mecánico en el resto de capas firmes.

Como material estructural, es posible caracterizarlo de variadas formas. Su evaluación de propiedades de cohesión y rozamiento interno es de común utilización; o por módulo de rigidez longitudinal o transversal, incluso por estabilidad o deformación. Así como sucede con otros materiales, se debe considerar también resistencia roturas, leyes de fatiga e imperfecciones plásticas.

Las condiciones prácticas del firme, reside básicamente en la superficie.

Del acabado y materiales que hayan sido empleados en el proceso de construcción, van a depender de aspectos importantes como:

- a. Adherencia de neumáticos al firme.
- b. Proyección de aguas en temporada de lluvias.
- c. Desgaste de neumáticos.
- d. Ruido interno y externo de la unidad vehicular.
- e. Comodidad y estabilidad en marcha.
- f. Carga dinámica de tráfico.
- g. Resistencia a la rodadura.
- h. Envejecimiento de unidades vehiculares
- i. Propiedades ópticas.

Estos puntos están básicamente asociados con la textura y regularidad de pavimento.

En la actualidad la reología de mezcla, se encuentran bien estudiadas; y que la mejor adopción de fórmulas de trabajo y materiales. Facilidad yasequibilidad de

hacer ajustes, según la ubicación, clima o condiciones de velocidad vehicular en la metodología de diseños de pavimento.

En la mezcla de asfalto, todavía queda por mejorar las siguientes propiedades: firmeza, estabilidad y estabilidad a la fatiga. Si la mezcla es usada como capa de rodadura, añadir las siguientes propiedades: firmeza al deslizamiento, regularidad, permeabilidad apropiada, ruido, color entre otros aspectos.

2.2.4 Clasificación de las mezclas de asfalto

Se tiene los siguientes:

- a) Por fracción de agregados pétreo usado.
- b) Por temperatura desarrollada en obra.
- c) Por proporción de vacíos en mezcla de asfalto.
- d) Por el tamaño máximo de agregado pétreo.
- e) Por la estructura de agregado pétreo.
- f) por su granulometría.

2.2.5 Componentes de una mezcla de asfalto

a. Asfalto.

- *Propiedad física.* – El asfalto es un material aglomerante, invulnerable, muy adhesivo, y altamente impermeable y duradero; resistente a alto esfuerzo instantáneo y fluir bajo acción de carga o calor permanente, es obtenido como un residuo producto de la destilación al vacío del crudo pesado. Sustancia plástica y

flexible controlable a mezclas de áridos con las que se hace combinaciones de manera regular, solido de consistencia, semisólido o líquido, dependiendo del tipo de temperatura a la que se exponga, que también puede variar por emulsión.

- *Composición química.* – Representa una mezcla de una variedad de hidrocarburos parafínicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos.

Los hidrocarburos livianos son eliminados durante el proceso de refinación y los más pesados no se mantienen en disolución uniéndose por absorción a partículas coloidales existentes, incrementando su volumen respecto a la destilación que se le dé.

b. Clasificación de asfalto para pavimento.

- *Cemento asfáltico.* - Es el más conocido y utilizado, este es obtenido del refinamiento de crudo, en la etapa de destilación.

- *Asfalto líquido.* - Son composiciones de base asfáltica y de un fluidificante volátil, agregando solvente para disminuir su viscosidad del asfalto, y poder mezclarlo y trabajarlo con agregados.

- *Emulsión asfáltica.* – Representan un sistema heterogéneo de fases inmiscibles, como el material asfáltico y el agua, al que se incorpora un activador de superficie, emulsificador de base jabonosa, lo que mantiene en dispersión el sistema de fase continua y discontinua.

-

c. Caucho reciclado de neumático o llanta. (CRL)

La industria de neumáticos o llantas es la que más emplea poli butadieno (caucho sintético); solamente el 23,0% de su producción mundial es utilizado en otros productos. En neumático de manera especial en la banda de rodadura, el polibutadieno ocupa un lugar relevante, por proveer alta resistencia al desgaste y menos resistencia a la rodada que cualquier otro elastómero.

Su principal inconveniente se revela cuando se tiene el piso húmedo o mojado y para su eliminación se usa polibutadieno con SBR en cantidades que responden a aplicaciones y criterio. Ejemplo, Los neumáticos de automóviles de pasajeros es fabricado con mezclas de butadieno con SBR, en tanto que los neumáticos de camiones son producto de la mezcla de polibutadieno con hule natural. (Ciencia, 2019)

Estos neumáticos se obtienen por el desuso, los cuales no tendrían otro destino distinto a los lugares dispuestos por las municipalidades, atendiendo al medio ambiente. Y que en la actualidad existe la industria especializada en su reciclaje; como aquellas dedicados a la fabricación de pavimento anti-caída de cauchos reciclados. Estas, hacen la separación de sus elementos, como el caucho vulcanizado, el acero y fibras. Asimismo, los céspedes artificiales, pavimentos deportivos, pistas de atletismo y aislamiento acústico, son algunos usos que lograron con el caucho reciclado. (Inspiration.org, 2019)

Aproximadamente, el 70% de neumáticos son incinerados como si fuera combustible en paneleras y de cemento entre otros, ocasionando daño al medio ambiente y la salud pública a causa de estas emisiones contaminantes como carcinogénicos y muta génicos como lo son los compuestos orgánicos volátiles

(COV's) e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's) entre otros elementos que causan afecciones al sistema respiratorio y circulatorio.

Tabla 2

Composición y características de los distintos tipos de neumáticos.

MATERIAL	NEUMATICOS AUTOMOVIL CAMIONETA	NEUMATICOS CAMIÓN Y MICROBUS
Caucho natural	14,0 %	27 %
Caucho sintético	27,0 %	14 %
Humo negro	28,0 %	28 %
Acero	14-15%	14-15 %
Fibra textil, suavizantes, óxidos, antioxidantes, etc.	16-17%	16-17 %
Peso promedio	8.61 kg	45,4 kg
Volumen	0,059 m3	0,36 m3

Fuente: Rubber Manufactures Association

Aunque suele variar, según el tipo de neumático y país de fabricación, los distintos elementos químicos del que se compone dichos neumáticos se muestra en la siguiente tabla. En el proceso devulcanización y de fábrica del neumático, su goma virgen es mezclado con otros productos (Caucho sintético, azufre y óxidos) y llevado a altísimas temperaturas provocando cambios en su composición química interna y en sus propiedades físicas.

Estas modificaciones son irreversibles. La goma de neumático al ser sometido a ambientes agresivos como el rose con pavimento, se desgata y degrada. Su constancia de rose con el aire causa a su vez la oxidación del material. Siendo este la principal causa por la que no es posible reciclar los neumáticos para utilizarlo como materia prima.

Tabla 3

Análisis químico de neumático.

ELEMENTO	COMPOSICIÓN
Carbono (C)	70,00%
Hidrógeno (H)	7,00%
Azufre (S)	1,30%
Cloro (Cl)	0,20-0,60 %
Hierro (Fe)	15,20%
Óxido de Zinc (ZnO)	2,00%
Dióxido de Silicio (SiO ₂)	5,00%
Cromo (Cr)	97 ppm
Niquel (Ni)	77 ppm
Plomo (Pb)	60-760 ppm
Cadmio	5-10 ppm
Talio	0,2-0,3 ppm

Fuente: Combustible alternativo, Holderbank 1997. (Invias, 2019)

b.1 Influencia del neumático en el asfalto variado. – El caucho de neumático se convierte en un elemento útil y económico en el proceso de elaboración de mezcla asfáltica, todo ello por el creciente incremento de neumáticos desechados en áreas metropolitanas. A continuación, se revela algunas ventajas y desventajas.

- a. El caucho triturado al vulcanizarse para resistir el calor o el sobrecalentado elimina la problemática encontrada con el polímero virgen.
- b. Ausencia de solubilidad, a discrepancia del caucho natural, este no presenta cambios en el cemento asfáltico al sobrecalentarse.
- c. Al mezclarlo con el cemento de asfalto a elevadas temperaturas atraen componentes frágiles hasta producir partículas hinchadas al interior de la matriz ligante, creando un manto de asfalto- caucho más resistente a la fisura.

Finalmente, el neumático posee valiosos componentes que contribuyen al buen desempeño asfáltico, estos son: negro humo, antioxidantes, áminas y aceite aromático.

b.2 Proceso de obtención de neumático. – existe varias formas de producirlo, en cada uno de estos procesos se debe evaluar considerando varias situaciones, costos y dependiendo del producto final que se pretenda obtener, este proceso requiere lo suficiente de neumáticos en desuso y estar libres de acero, fibras y materiales que afecte de manera negativa la calidad del producto, estos son: obtención por reencauche de neumáticos, por molienda ambiental, por molienda criogénica y obtención por molienda húmeda.

d. Agregado pétreo.

Son aquellos materiales granulares sólidos e inertes empleados en los firmes de las vías con o sin adición de elementos activos y con granulometrías apropiadas; se utiliza para su fabricación de productos artificiales y resistente, a través del mezclado con material aglomerante de activación hidráulica (cemento, cal, etc.) o con ligantes de asfalto.

2.2.6 Tipos de agregado pétreo.

Los tipos de agregado pétreo están determinados de conformidad a su procedencia y a su empleo técnico para su corriente aprovechamiento, y se clasifica en:

- a) *Agregado natural.* – Es aquel utilizado solo posterior a una mínima modificación de su tamaño y capacidad de adaptarse a exigencias según disposición final.

- b) *Agregado de tributación.* – Es aquel obtenido producto del proceso de trituración de distintas rocas de cantera: Incluye materiales de cantera con propiedades físicas pertinentes.
- c) *Agregado artificial.* – Es aquel obtenido del proceso industrial, como aquellas escorias o material precedente de demolición utilizable y reciclable.

2.2.7 Propiedades de agregado pétreo.

Esta se puede conceptuar desde dos ópticas:

- a. *Propiedad individual.* – Todo agregado como elemento aislado cuenta con propiedad física microscópica siguiente: forma redondez, densidad, dimensión, propiedades de superficie, dureza superficial, porosidad, conductividad térmica, permeabilidad, modulo elástico, dilatación entre otros.
- b. *Propiedad conjunta.* – Son aquellas características y propiedades representadas como un todo. Su distribución de redondez del agregado es una propiedad básica, toda vez que influye en el rozamiento con los demás elementos del agregado.

2.2.8 Consideración en el empleo del agregado pétreo

El uso de agregados pétreos en la construcción de pavimento, debe considerarse aspectos primordiales para un adecuado desempeño a la hora de su utilización y que este forme parte de capas, básicamente en el elaborado de mezcla de asfalto.

- a. *Entorno e identificación.* - Evaluar el entorno respecto a la petrografía del agregado, nivel de alteración en su composición mineral, porosidad y propiedad química.

- b. *Propiedad geométrica.* – Primordialmente, verificación de su angulosidad de partículas; respecto al conjunto íntegro del mineral se basa en su estudio de distribución granulométrico.
- c. *Propiedad mecánica.* – Comprende aquellos parámetros primordiales, en cuanto a resistencia, desgaste y pulimento.
- d. *Separación de impurezas.* – Es primordial que el agregado a emplearse en construcciones de pavimento se encuentre libre de impureza que pueda afectar el comportamiento de capas. Emplearse agregado sucio en construcción de pavimentos, puede causar suficiente degradación.
- e. *Inalterabilidad.* – Comprende evaluar aquellas posibles degradaciones que pueden afectar al agregado pétreo a utilizarse en una determinada obra.
- f. *Adhesividad.* – El agregado pétreo, ha de ser a fin con ligantes de asfalto a utilizarse en la construcción de pavimentos, en caso de ocurrir algún problema de a fin, se hará necesario utilizar aditivos que garanticen un adecuado comportamiento de la mezcla del asfalto.

2.2.9 Clasificación de agregados pétreos de conformidad al tamaño.

Conforme a la clasificación de suelos SUCS, define como agregado grueso, a aquel material pétreo retenido en el tamiz # 4.

Característica y propiedad deseable de agregado grueso para ser utilizado en mezclas de asfalto.

- a. *Granulometría.* – Es característica física primordial y básica del conjunto de partículas que influyen de manera principal en la resistencia mecánica del conjunto. Por lo regular se utiliza granulometría sensible y continua, con la finalidad de

conseguir una máxima compacidad del conjunto, ocurriendo también su empleo granulométrico discontinuo en algunas mezclas asfálticas procediendo para ello con fracciones uniformes y su mezclado adecuado. Asimismo, la influencia de la partícula fina obliga por lo regular en su limitación porcentual y de plasticidad. En el mezclado asfáltico es importante la fracción de tamaño, y que sea inferior a la malla 200, conocido como polvo mineral, ya que algunas características revelan que el mezclado depende del masticado que se forma por unión del polvo y ligante asfáltico.

b. *Rozamiento interno*. – Su resistencia a ser deformado va estar en relación directa al rose interno del mineral, en el caso particular, de la cohesión proporcionada del ligante o conglomerante. El rose interno incrementa con las partículas angulosas y de aquella textura en su superficie, cuando este cuenta con agregado áspero. También tiene influencia relevante el aspecto granulométrico del agregado respecto a huecos de material compactado.

Su cohesión estará en correspondencia de forma exclusiva al ligante del asfalto. Su cohesión entre sus partículas puede ser despreciable, debiéndose únicamente a su plasticidad del material fino, siendo nocivo que útil. Interesando solo cierta plasticidad de material fino, tratándose de capa granular no revestido en rutas de baja intensidad en el tráfico vehicular.

c. *Angulosidad de agregado grueso*. – Este material beneficia al esqueleto mineral producto del rozamiento interno generado por partículas, ello contribuye que las gruesas partículas permanezcan quietas, cuando el pavimento funcione y no se produzca desplazamiento. La utilización de agregado grueso triturado trae consigo el incremento de la angulosidad de partículas.

d. *Forma de agregado grueso.* – La exigencia de forma para agregados gruesos varía de manera ligera, con igual tráfico. Siendo ideal que las partículas presentasen formas cuboides, y evitara así formas alargadas, planas y de forma de laja, ya que como se indicó, ya que esta forma es susceptible al quebrantamiento en condiciones de tráfico con carga, ocasionando la modificación de la granulometría y propiedades de inicio de la mezcla.

e. *Resistencia a fragmentación.* – El agregado pétreo debe cumplir un mínimo de resistencia a ser fragmentado o desgaste, brindando una orientación del comportamiento de dichos agregados, en el mezclado asfáltico y puesta en servicio de pavimentos.

f. *Adhesividad de agregados gruesos.* – Este tiene un comportamiento de forma específica con relación a la adhesividad y resistencia al desplazamiento. Preconizándose comprobar lo adhesivo del agregado.

Agregado fino es definido así, a aquella parte del agregado pétreo total capaz de ser tamizado respecto al # 4 y quedando retenido al tamiz # 200.

Característica y propiedad deseable del agregado fino para ser utilizado en mezclas de asfalto, son:

g. *Procedencia de agregados finos.* – Procedente de la trituración de piedra de yacimiento natural, comúnmente conocido como cantera. Existiendo proporciones respecto al agregado fino no triturado empleado en mezclas. Siendo regular el uso el uso de arena natural en mezclas asfálticas en pavimentos de baja intensidad en tráfico de carga, asimismo se señalará las proporciones máximas de arena natural no triturado a utilizarse en una mezcla, no debiendo superar el 10% de su total.

a. *Limpieza de agregado fino.* – Este material debe estar exento de material arcilloso, vegetal, marga y otros catalogados como material extraño, evitando se presenten comportamiento extraño del material en la mezcla, como reacciones químicas, perdidas en la estabilidad de la mezcla, abundamiento, entre otros.

b. *Resistencia la fragmentación de agregado fino.* – El material triturado en la obtención como agregado fino, debe cumplir las exigencias del material agregado grueso respecto al coeficiente de desgaste. Recomendándose el uso de agregado fino, que permita mejorar algunas de sus características, básicamente la adhesividad, procediendo usar agregados gruesos con coeficiente de desgaste de *Los Ángeles*, por debajo a 25 en capas de rodadura e intermedia y en 30 para capas de base.

c. *Adhesividad de agregado fino.* – Respecto a este tema y/o características se debe considerar que las acciones químicas y físicas en partículas de menor tamaño son mucho más complejos. Su superficie mayor, cuenta la facilidad en la acumulación de humedad y gran heterogeneidad de su particularidad, son determinantes de su sensibilidad a todo tipo de transformación química, fenómeno polar, adhesividad y absorción, entre otros.

Polvo de material filler, Conforme al Sistema Clasificador de Suelo SUCS, define como polvo mineral, a aquella parte de agregados pétreos que pasa por el tamiz # 200. El polvo mineral o *Filler* es un producto comercializable (cemento de central térmica) o polvo calizado, básicamente preparado para ser utilizado en mastico de mezclas de asfalto. Tratándose de un producto comercial, garantizándose su control y propiedades físicas como químicas y susubsecuente comportamiento en mezclas.

Mezcla de agregado, una de las problemáticas, frecuentemente es la mezcla de agregado y lograr una mejor calidad acorde a los estándares de determinadas especificaciones.

a) *Mezcla de dos agregados.* – Denominado también, método grafico del cuadrado, el cual trata de un cuadrado que se pone al 100% en unidades por lados opuestos; Los porcentajes que pasen las mallas 1 y 2 muestran la curva granulométrica de dos suelos, o sea 1 y 2 sujeto a mezcla y lograr así un tercero encajado en el uso granulométrico de especificación.

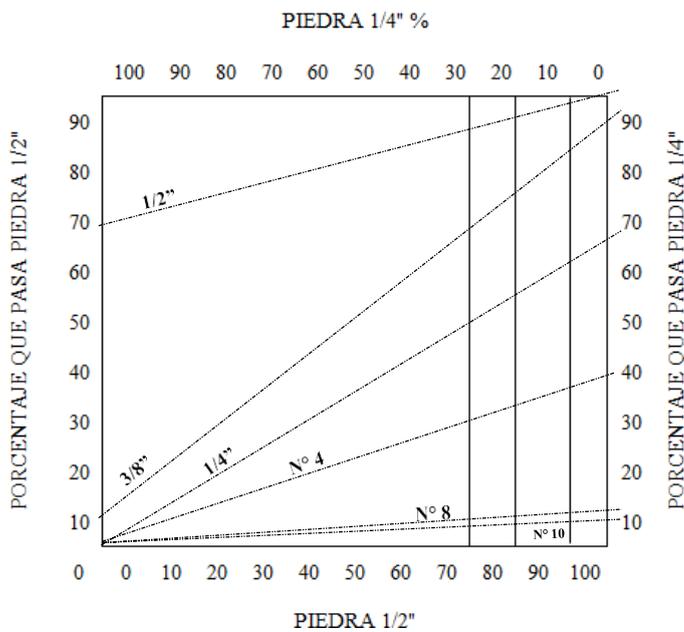


Figura 2. Método del cuadrado

Consistiendo el procedimiento, en el marcado en cada escala vertical los porcentajes que pasan en cada tipo de malla y en ambos suelos, posteriormente se unen, dando lugar a los suelos 1 y 2 en cada una de las mallas. Procediendo seguidamente el marcado sobre estas líneas, los límites del uso granulométrico, de

tal forma que las porciones comprendidas entre la menor separación de las marcas, representan todas las posibilidades de combinación de suelo 1 y 2 con cumplen con los requisitos y especificaciones técnicas.

b) *Mezcla de tres agregados.* – Conocido como el método triángulo, contándose tres tipos de suelos A, B y C, para proceder con la mezcla y obtener un cuarto que cumpla los requisitos. Consistiendo el procedimiento en la construcción de un triángulo equilátero de 100 unidades por lado, correspondiendo a los porcentajes retenidos por la malla número 4, los que pasan por esta y retenidos en la malla 200, y los que pasan por esta. Ubicándose en este triángulo los puntos A, B y C obteniéndose un paralelogramo (abcd), cualquier punto al interior del triángulo

A, B y C representado la mezcla de los tres suelos, asimismo, si el punto se ubica al interior del paralelogramo abcd, cumplirá los requisitos dados. Representando el punto de mezcla óptimo, el que se localice al centro de la gravedad del mismo, consiguiéndose la proporción de mezcla de los suelos de la siguiente forma:

Unir el punto C con el punto o y prolongar la línea hasta "o" sobre la línea de unión de los suelos A y B. la relación $oo'/o'C$ resultará la proporción que intervendrá en el suelo C en el mezclado. Asimismo, la relación Bo'/AB multiplica por completo la proporción con la interviene C, dando lugar a la proporción con que interviene A. finalmente, el complemento de los dos anteriores es la proporción con la que interviene B en la mezcla. Dichas proporciones multiplicados por sus porcentajes de cada suelo que pasen por sus mallas permitirá la obtención de la curva granulométrica del mezclado.

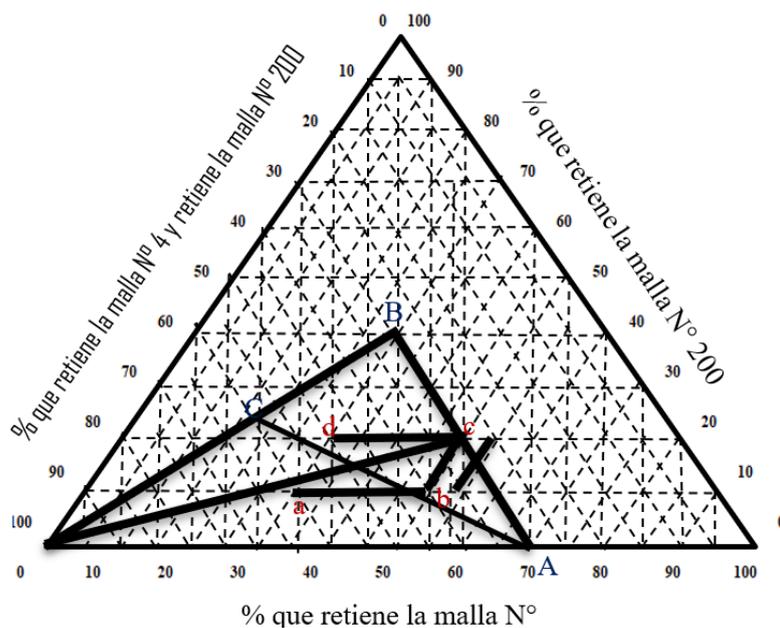


Figura 3. Método del triángulo

2.2.10 Diseño de mezcla asfáltica – método Marshall

Este tipo de diseño fue desarrollado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del departamento de autopistas del estado de Mississippi. Este método se aplica solamente a mezclas de asfalto en caliente para pavimentos que contengan agregados con tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. Seguidamente, se describe en términos generales los procedimientos a seguirse en el diseño Marshall de mezcla. El proceso a detallado a seguirse se encuentra en la normativa AASHTO T 245 ó ASTM D1559.

a. Preparativos para desarrollar el proceso Marshall.

Existen distintos tipos de agregado y asfalto con diferentes características e impacto directo sobre los asfaltos de pavimento. El primer paso es la determinación de cualidades (resistencia al desliz, duración, estabilidad, trabajabilidad, etc.) del mezclado de pavimento y selección del tipo de asfalto factibles a combinación y

producir las cualidades descritas. Una vez desarrollado esta etapa, empezar con el preparado de los ensayos.

b. Selección de muestra de material.

En la preparación inicial de ensayo, éste constará en reunión de muestras asfálticas y de agregados a utilizarse en la mezcla de pavimento. Siendo importante que esta, tengan características similares respecto al asfalto a ser utilizado en la mezcla final. Esta situación también debe ocurrir con las muestras de agregados; siendo de razón explícita: la información recabada de los procesos de diseño del mezclado, se podrá determinar la fórmula o criterio para el mezclado del pavimento. El criterio será exacto, si y solo si son usados los mismos ingredientes usados en laboratorio y en el producto final.

c. Preparado de agregados.

La proporción de viscosidad-temperatura de cemento asfáltico a ser utilizado debe conocido, para el establecimiento de temperatura de mezclados y compactación en laboratorio. Por tanto, los procesos preliminares se enfocarán hacia agregados, con la finalidad de conocer con precisión sus propiedades. Este proceso incluye el secado del agregado, precisar su peso y desarrollar el análisis granulométrico.

Secado de agregado. – La metodología Marshall requiere que el agregado ensayado esté libre de la humedad, lo más práctico posible y de esta forma evitar los resultados de ensayos.

Deberá colocarse una muestra del agregado al ensayo, colocándolo en una bandeja separadamente, procediendo a calentar un horno a temperatura de 110° C, hasta que su peso permanezca de manera estable.

Análisis granulométrico. – Consiste en un procedimiento que permite identificar la proporción de partículas de tamaños diferentes en muestras de agregados. Dicha información es relevante ya que las especificaciones de mezclas deben estipularse la proporción necesaria de partículas de agregados de tamaño distinto, en la producción de mezclas en caliente, con particularidades esperadas.

Determinación de peso definido. – El peso definido de cualquier sustancia es proporcional a su peso – volumen de componente de esa sustancia confrontada con la proporción peso – volumen de una componente de agua. El peso definido de la muestra de agregados es determinado por la comparación del peso de volumen de agregados, respecto al peso del volumen de agua y a la misma temperatura. El peso definido de agregado se expresa en múltiplos del peso definido de agua (el cual invariablemente tiene valor de 1)

d. Preparación de muestras de ensayo (probetas)

Las probetas de prueba de mezcla de pavimento, son preparados, de tal forma que, estos contengan cierta cantidad distinta de asfalto, las probetas son preparados considerando un peso de 1,200 g., el margen de contenido de asfalto usados en briquetas de prueba y/o ensayo es determinado con base en experiencias previas con agregado de mezclas. Este margen, permite al laboratorio contar con un punto de inicio, para la determinación del contenido correcto de asfaltos en mezcla final.

La proporcionalidad de agregados en mezclas, está en respuesta directa al resultado de los análisis de granulometría.

Preparación de muestras, secuencia:

- El asfalto y agregados deben ser calentados de forma completa, haciendo que sus partículas de los agregados se encuentren revestidos. Este aspecto simula el proceso del calentamiento y mezcla que ocurre en la planta.
- El porcentaje de asfaltos es determinado efectuando tres muestras de cada grupo de asfalto, estas deben de incrementar en 0,5% por cada porcentaje distinto. La mezcla de asfalto caliente, debe ser colocado en moldes precalentados Marshall como preparado para compactar, usándose martillo Marshall para el respectivo compactado, el mismo que también tiene que ser calentado evitando el enfriamiento de su superficie y de la mezcla golpeada.
- Los bloques y/o briquetas debe estar compactados a través de los golpes del martillo Marshall. El número de golpes del martillo (75) estará en relación directa a la intensidad de tránsito que se tiene previsto. Debiendo recibir ambas caras, la misma cantidad de golpes. Completado el compacto las probetas deberán ser enfriadas y extraídos de sus moldes.

e. Procedimiento de prueba Marshall

Existen tres de pruebas o ensayos, en la metodología Marshall. Siendo estos, los siguientes:

- *Determinación de peso total específico*

Estos pesos son determinados cuando se tengan las probetas debidamente compactadas y estén enfriadas a una temperatura de ambiente. Este proceso de

medición específica, es básico para su respectivo análisis de densidad-vacíos. Obteniéndose el peso específico al usar el procedimiento detallado en la normatividad AASHTO T 166,73

- *Estado de fluencia y estabilidad.*

La fluencia está orientado a medir la deformación que sufre la mezcla sujeta a carga y/o resistencia que tiene cuando se use. Los ensayos están dirigidos a la medición de resistencia al proceso de deformación de la mezcla.

El proceso de pruebas, es el siguiente:

- ✓ Calentado de probetas en baño de agua a 60° C ó (140° F) Esta temperatura es la que normalmente el pavimento experimentará.
- ✓ La probeta deberá ser removido del baño, secado y colocado de inmediato en el aparato Marshall. El instrumento es un dispositivo que se aplica a una carga en la probeta y de medidor de carga y deformación (fluencia)
- ✓ La carga de la prueba se aplica a la probeta a velocidad continua de 51 mm (2" x 1") hasta el fallo de la muestra. La falla está dada, como aquella carga máxima que la briqueta resiste.
- ✓ La carga de falla es registrada como aquel valor estable Marshall y la lectura de medición de fluencia se registra como tal.

- *Valor de estabilidad Marshall*

Es una medida de carga, en la cual, una probeta cede o falla enteramente. Cuando la carga es aplicado lenta, sus cabezales superior e inferior del instrumento se acercan, y la carga sobre la briqueta se va incrementando igual que la lectura del indicador en el cuadrante. Seguidamente se suspende su carga una que se obtenga su máxima carga. Dicha carga indicada por el instrumento (medidor) es el valor de

estabilidad Marshall. En diversos materiales de ingeniería, su resistencia es por lo regular el parámetro de su calidad; La estabilidad extrema y alta se obtiene a costa de durabilidad.

- *Valor de fluencia de Marshall*

Es una medida en centésimas de pulgada que significa la imperfección de la briqueta. La imperfección está señalada por la rebaja en el diámetro vertical de la briqueta. Dichas mezclas que tengan bajos sus valores de fluencia y altos en su estabilidad Marshall, serán considerados demasiado frágiles y rígidos para pavimentos en servicio los de valores altos de fluencia son considerados plásticos y tienden a deformarse bajo cargas de tránsito.

f. Análisis de densidad y vacío

Una vez completados los análisis de estabilidad y fluencia, debe procederse a desarrollar el análisis de densidad y vacíos para cada una de las series de probetas de ensayo. La finalidad del análisis es la determinación del porcentaje de vacíos en el mezclado compactado.

Estos vacíos son pequeñas bolsas de aire ubicadas entre partículas de agregados revestidos en asfalto. Dicho porcentaje de vacíos es calculado a partir del peso específico de cada probeta compactada y del peso específico teórico del mezclado de pavimento (libre de vacíos). Este último debe calcularse en base a los pesos específicos de asfalto y agregados (sin vacíos) con margen apropiado, de tal forma como contar la cantidad de asfalto absorbido por los agregados, o de manera directa mediante una prueba normalizada (AASHTO T 2091) llevada sobre la

muestra sin el compactado. Los pesos específicos de probetas compactadas se determinarán con el pesaje de probetas en aire y agua.

✓ *Análisis VMA.* – Los vacíos en agregados mineral (VMA) está definido por el espacio intergranular de vacío, los mismos que se encuentran entre partículas del agregado de mezcla de pavimento compactado, incluye los vacíos de aire y el contenido efectivo del asfalto. Expresándose como porcentaje del total de volumen del mezclado. El VMA se calcula en base al peso total determinado de agregados, expresándose en porcentajes de volumen total de mezcla debidamente compactada. En consecuencia, el VMA deberá ser calculado, restándole el volumen de agregados del total de volumen del mezclado compactado.

✓ *Análisis del VLLA.* – Los vacíos colmados de asfalto, representa el porcentual de vacío intergranular entre partículas de agregados (VMA) lleno de asfalto. El VMA comprende el asfalto y aire, y el VLLA es calculado al sustraer los vacíos de VMA, posteriormente se divide por el VNA, y expresando su valor final de forma porcentual.

g. Análisis de resultados de ensayo Marshall

El personal técnico de laboratorios diseña los resultados en ensayo Marshall en cuadros, para su entendimiento de sus características específicas de cada una de las probetas usadas en la serie.

A través del estudio y análisis de los cuadros, es posible determinar qué probeta de la serie viene cumpliendo los mejores criterios para el pavimento concluido. Dichas proporciones de asfaltos y agregados en esta probeta se convierten en proporción usada en el mezclado final. De dichos resultados se trazan

en cuadros, estas son tendencia en las relaciones entre el contenido del asfalto y propiedades del mezclado.

2.2.11 Normatividad para la metodología

Los agregados deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

a. *Requerimiento para agregados gruesos.*

Tabla 4

410-1 Requerimiento de agregado grueso

ENSAYO	NORMA	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000 - %	> 3000 - %
Duración (Al sulfato de sodio)	MTC E 209	12, máx.	10, máx.
Duración (Al sulfato de magnesio)		18, máx.	15, máx.
Abrasión los ángeles	MTC E 207	40, máx.	35, máx.
Índice de duración	MTC E 214	35, min.	35, min.
Partículas - chata y alargada	MTC E 221	10, máx.	10, máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	según tabla 410-4	
Sal soluble - totales	MTC E 219	0,5 máx.	0,5 máx.
Absorción	MTC E 206	1,0 máx.	Según diseño
Adherencia	MTC E 519		+ 95

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera - MTC

b. *Requerimiento para agregados finos.*

Tabla 5*410-3 Requerimiento. para agregado fino.*

ENSAYO	NORMA	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000 - %	> 3000 - %
Equivalentes de arena	MTC E 209	Según tabla 410-5	
Angulosidad de agregados finos		Según tabla 410-6	
Adhesividad (Reidel Weber)	MTC E 222	4 min.	6 min.
Índice de elasticidad (malla n° 40)	MTC E 220	NP	NP
Índice de duración	MTC E 111	35 min.	35 min.
Índice de elasticidad (malla n° 200)	MTC E 214	Máx. 4	NP
Sal soluble – total	MTC E 219	0,5 máx.	0,5 máx.
Absorción	MTC E 205	0,5	Según diseño

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera - MTC

*c. Requerimiento para caras fracturadas.***Tabla 6***410-4 Requerimiento para cara fracturada.*

Tráficos en eje equivalente (millones)	Espesor de capa	
	< 100mm	> 100mm
≤ 3,0	65,/40	50,/30
> 3,0 – 30,0	85,/50	60,/40
> 3,0	100,/80	90,/70

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

d. Requerimiento de equivalente de arena.

Tabla 7

410-5 *Requerimiento de equivalencia de arena.*

Tráficos en eje equivalente (millones)	Porcentajes de paridad de arena (mínimo)
≤ 3,0	45
> 3,0 – 30,0	50
> 3,0	55

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

e. Granulometría de mezcla de agregado

La gradación del mezclado asfáltico normal (MAC) debe responder a cualquiera de los usos granulométricos siguientes:

Tabla 8

Granulometría de mezclado de agregado.

Tamiz	MAC-1	% q' pasa MAC-2	MAC-3
25.0 mm 1"	100	-	-
19.0 mm ¾"	80-100	100	-
12.5 mm ½"	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 mm n° 40	14-25	17-28	16-29
180 mm n° 80	8-17	8-17	9-19
75 mm n° 200	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

f. Porcentaje retenido de filler.

El filler o relleno de origen mineral, para emplearlo como material de relleno en los agregados y asfalto, puede ser preferentemente cal hidratada, no plástica.

Tabla 9*% retención de Filler.*

Malla	% en retención (en peso)
Residuo máximo en la malla 600 µm (n° 30)	3,0
Residuo máximo en la malla 75 µm (n° 200)	20,0

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

Otra característica que se debe considerar es la calidad del mezclado del asfalto, debe estar de conformidad con exigencias para mezcla de concreto bituminoso, de conformidad al diseño del proyecto.

g. Requerimiento para el mezclado del concreto Bituminoso.

Tabla 10*Requerimiento para el mezclado del concreto Bituminoso*

Parámetro de diseño	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Marshall (MTC E 504)			
1. Estabilidad (min.)	8kN (815 Kg.)	5.34kN (544 Kg.)	4.45kN (453 Kg.)
2. Flujo 0,25 mm	8-14	8-16	8-2
3. % de vacío con aire (1)(MTC E 505)	3-5	03-5	03-5
4. Vacío en agregados mineral (Ver tabla 410-10)		Ver tabla 410-10	
5. Compactación, número de golpazos en cada una de las capas testigo	75	50	50
c. Inmersión – compresión (MTC E 518)			
1. Firmeza a la compresión Mpa. mínimo.	2.1	2.1	1.4
2. Firmeza retenida % (mínimo)	70	70	70
d. Firmeza conservada en la prueba de tracción indirecta (mínimo) (MTC E 521)	70	70	70
e. Correspondencia polvo-asfalto	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
f. Correspondencia Est./flujo (2)		1,700 - 2,500	

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

h. Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA).

Tabla 11

410-10 Vacíos mínimos en agregados de mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregados mineral %	
	Marshall	Superpave
2.36 mm - n° 8	21	-
4.75 mm - n° 4	18	-
9.5 mm - 3/8"	16	15
12.5 mm - 1/2"	15	14
19.0 mm 3/4"	14	13
25.0 mm - 1"	13	12
7.5 mm - 2"	12	11
50.0 mm 2"	11,5	10,5

Fuente: Manual de carretera – ensayos de material para carretera – MTC.

2.3 Marco conceptual.

Afirmado

Es aquella capa compacta con material granular o procesado, con gradación debidamente especificada que soporta directamente cargas y esfuerzos de tránsito.

(Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018, p. 3).

Agregado

Es aquel material granulado de composición mineralógico como arena, roca triturada, o grava utilizada para ser mezclado en distintos tamaños. (Global Invesment & Trade Compañy, 2019)

Agregado reciclado

Es aquel material graduado según especificación resultado del procesamiento del material de construcción recuperado y complementado con otros faltantes. (Global Investment & Trade Company, 2019)

Ahuellamiento

Es aquella compactación escasa e insuficiente de la base y/o mezcla de asfalto. Base de capacidad de soporte inadecuado. También diseño inapropiado de la mezcla de asfalto, exceso de asfalto, ligante muy blando, mezcla de baja estabilidad Marshall. (Mantenimiento de Carreteras, 2013, p. 1).

Análisis granulométrico o mecánico

Es aquel análisis de procedimiento para la determinación la granulometría de determinado material o determinar de manera cuantitativa la distribución de los tamaños. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14 , 2018, p. 4).

Asfalto

Es un material con característica viscosa, pegajosa y de color negro usado como aglomerante en procesos de mezcla de asfalto para la construcción de carreteras, autopistas o autovías. También es usado en impermeabilizantes. Este producto está presente en el petróleo crudo su composición es casi por completo de bitumen. (Global Investment & Trade Company, 2019, p. 1).

Asfalto modificado

Es el producto de incorporar un polímero u otro material que modifique la composición en el asfalto con el propósito de lograr mejoras en sus propiedades físicas y geológicas, así como en la disminución de la susceptibilidad a temperaturas y humedad. (Resolución Directoral N° 02-2018- MTC/14 , 2018, p. 5).

Cantera

Es el lugar en donde se obtiene rocas u otros materiales similares, constituyendo recursos limitados, o sea, susceptible al agotamiento definitivo en un determinado tiempo. (Definición de 2019, p. 6).

Carretera

Son caminos construidos para el tránsito vehicular (de dos ejes a más) cuyas características geométricas, como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y otros, deben y tiene que cumplir normas y criterios técnicos vigentes del territorio en el cual se hace la construcción, en el caso particular del Perú, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018, p. 7).

Cemento asfáltico

Es un asfalto con flujo o sin flujo, preparado de forma especial en cuanto a su calidad y consistencia para usarse de manera directa en el proceso de construcción de pavimentos asfálticos. (Resolución Directoral N° 02-2018- MTC/14, 2018, p. 7).

Concreto asfáltico

Es aquella mezcla procesada, compuesto por agregado grueso, y fino, material bituminoso que a la incorporación de aditivos se obtiene mejoras en sus propiedades de comportamiento. Es utilizado como capa de base o de rodadura y forma parte directa de la estructura del pavimento. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018, p. 8).

Estudio de suelos

Es aquel documento técnico, en el cual engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayo de laboratorio y análisis de gabinete que tiene como propósito el estudio y comportamiento de suelos y sus respectivas respuestas ante las solicitudes de carga. (Resolución Directoral N° 02-2018- MTC/14, 2018, p. 12).

Grieta

Es aquella fractura presentada en las superficies de rodadura de variedad de orígenes, con un ancho superior a los 3 milímetros que pueden ser de forma transversal o longitudinal al eje de las vías. (Resolución Directoral N° 02-2018- MTC/14, 2018, p. 13).

Mantenimiento vial

Es conjunto de actividades técnicas destinadas a preservar en forma continua y sostenida el buen estado de la infraestructura vial, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario; puede ser de naturaleza rutinaria o periódica. (Resolución Directoral N° 02-2018- MTC/14, 2018, p. 15).

Pavimento

Es aquella estructura construida sobre la subrasante de la vía, para soportar, resistir y distribuir los esfuerzos que origina las unidades vehiculares, y poder mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para su transitabilidad. Conformado generalmente por capas, base y capa de rodadura. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018, p. 17).

Usuario

Es aquella persona natural, o jurídica que hace uso de las infraestructuras viales públicas del país. (Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14, 2018, p. 22).

Vía

Es el camino, arteria o calle, que comprende una plataforma y sus respectivas obras de arte complementarios a esta. (Mantenimiento de Carreteras, 2013, p. 23).

CAPÍTULO III

MÉTODO

3.1 Tipo de investigación.

3.1.1 Tipo

Por las características propias del estudio, esta se encuentra dentro de lo correlacional – exploratorio.

3.1.2 Método de investigación

Por su característica peculiar, es de corte cuantitativo. Ya que señalan que este método recolecta datos para comprobar hipótesis con base y sustento numérico, y su análisis estadístico para el establecimiento de patrones de comportamiento y su posterior prueba de teorías.

3.1.3 Materiales y metodología

El material a utilizarse como materia básica y/o primordial, será el caucho reciclado de neumáticos (CRN), cemento asfáltico, cal hidratada y agregados.

El estudio será dividido en tres fases y/o etapas:

Primera etapa:

✓ Revisión de bibliografía respecto a estudios que anteceden y/o que tengan relación con el tema materia de investigación. Asimismo, se llevará a cabo la recolección de datos relacionados a teorías de asfalto con material de caucho.

Segunda etapa:

✓ Ejecutar el ensayo Marshall; que este señala la existencia de distintos agregados, así como de asfaltos, que presentan diversas características. Y están tienen impacto de forma directa sobre la naturaleza misma del pavimento. Entonces el primer paso será determinar sus cualidades (resistencia al desliz, estabilidad, trabajabilidad, durabilidad entre otros.) de la mezcla del pavimento y selección de un tipo compatible de asfalto que permita su combinación y produzca las cualidades descritas. Concluido este proceso, se empezará con preparar los ensayos.

Tercera etapa:

✓ Corresponderá a la ejecución del informe final de la tesis y su correspondiente presentación de los ensayos, datos y resultados obtenidos.

3.2 Diseño de investigación.

Por sus peculiaridades del estudio, es de corte experimental, ya que tiene como propósito la búsqueda de verificación de resultado de comportamientos que sufrirán las mezclas de asfalto con cauchos reciclados de neumáticos en sus componentes.

3.3 Población y muestra.

3.3.1 Población

La población sujeta de análisis será la totalidad del fenómeno de investigación, en donde las unidades de análisis poseerán características comunes, la que se investiga

y originan datos de la misma. Consecuentemente, la población es el conjunto que representa las unidades de análisis que concuerden con las estipulaciones de orden técnico.

En consecuencia, la población estaría representada por dos aspectos, estos son: la mezcla de asfalto convencional, y asfalto variado con caucho reciclado de neumáticos, y agregados provenientes de la cantera Mama Rosa, cuya ubicación queda en la provincia de Mariscal Nieto, del departamento de Moquegua.

3.3.2 Muestra

Toda vez que la muestra es el resultado y/o parte de la población, que reúnan las características y propiedades peculiares, las cuales permitirán que se obtengan conclusiones que tengan semejanza y que también sean relevantes respecto a la problemática descrita inicialmente. Asimismo, el muestreo permitirá la correlación de datos con sus respectivas propiedades y valores. Asimismo, se tendrá como criterio las normas ASTM D-75 AASHTO T2 MTC E 201-2000.

Por otro lado, las muestras de agregado, provienen de la cantera Mama Rosa, para posteriormente proceder a su trituración en la planta de asfalto Mama Rosa, el cemento convencional de asfalto proviene de la refinería de La Pampilla (Lima); estas muestras nos servirán como información base del presente estudio y sobre esa misma base, se realizarán diseños de mezclas de asfalto, tanto el convencional y variado con caucho de neumáticos.

Esta muestra estará representada por la cantidad de especímenes elaborados para la realización de los ensayos de laboratorio, conforme al diseño experimental planteado, desarrollando de forma intencional, siguiendo criterios

técnicos, es por ello que se practicará un muestreo referencial de conformidad al diseño de investigación y pruebas que a continuación se detalla:

a) Muestra de control, mezcla de asfalto convencional en caliente(DAC)

- Se realizará 15 testigos, respecto al diseño de mezcla de asfalto por el método Marshall.

b) Muestra de control, mezcla de asfalto

- Se realizará 60 testigos, respecto al diseño de mezcla de asfalto variado por el método Marshall.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Técnica: Experimento

Instrumento: Materiales experimentales

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

- Obtención de resultados del experimento
- Ordenamiento de datos
- Imprimir datos, presentar e interpretar los mismos

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Desarrollo experimental.

En el desarrollo del trabajo de investigación se contó con la parte técnica llevado a cabo en laboratorio para el respectivo control de calidad de agregados, asfalto convencional y modificado. Estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de asfalto de la provincia de San Román – Puno.

Para el análisis y control de calidad de agregados, se ha tenido que contar con materia prima de la cantera Mama Rosa, provenientes de la cuenca del río Moquegua, ubicado en la provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, para seguidamente proceder con su trituración en la planta de asfalto Mama Rosa, para su correspondiente determinación si el agregado es óptimo para la mezcla de asfalto en caliente. Los procesos pertinentes de la muestra, permitirán conocer la correlación de sus propiedades conforme indican aquellos valores que se obtuvieron en anexos. Los ensayos realizados en laboratorio se desarrollaron con el propósito de estimar parámetros de cada prueba y si estos se ubican dentro de los parámetros establecidos por ASTM y por el MTC. A través de ensayos y a la vez comprobar sus propiedades de asfalto modificado que se imparte para su correspondiente aplicación.

4.1.1 Ensayos de control de calidad de agregado.

a. Agregado pétreo

Referido a aquella combinación de agregados utilizados en mezcla asfáltica, de conformidad a requerimientos establecidos. Representando los agregados gruesos como el agregado pétreo retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm) y agregados finos, proporcionalmente al pase del tamiz. Otro elemento posible de agregar, son agregados de filler, constituido por un polvillo mineralfino, pudiendo reemplazarse por cemento portland, cal u otro elemento inerte, libre de materias orgánicas y partículas de arcilla, el filler es aquel agregado cuyo tamaño máximo es el establecido en lamalla N° 30 (0,63 mm) que atraviesa el tamiz de la malla N° 200 (0,08 mm) conforme normatividad.

b. Agregado utilizado para elaborar mezcla asfáltica.

El agregado pétreo utilizado como muestra y diseño de mezcla de asfalto en el presente estudio, fue obtenido en la planta de asfalto Mama Rosa, habiéndose obtenido de la cantera Mama Rosa (Carretera Torata- Moquegua) conformado por graba y guijarros, y su subsecuente trituración mediante chancadora.

Asimismo, se indica en el punto 3.3.2 los diámetros ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{8}$ "") representan máximos nominales y por ende agregados utilizados en mezcla de asfalto en los distintos tamices. En el diseño se tomó las muestras siguientes, siendo el peso promedio de 50 Kg por material.

✓ Piedra chancada de $\frac{1}{2}$ ".

✓ Arena chancada de $\frac{1}{4}$ ".

✓ Arena zarandeada de $\frac{3}{8}$ ".

Realizándose con este material, los ensayos siguientes:

Agregado grueso

- Peso específico
- Absorción
- Durabilidad
- Abrasión a los ángeles
- Partículas, chata y alargada.

Agregado fino

- Peso específico
- Absorción
- Semejante de arena
- Adhesividad (característica reidel weber)
- Límite líquido
- Índice de flexibilidad.

c. Análisis granulométricos

Éste análisis está basado de conformidad y en los parámetros de la normatividad NTP 400,012 ASTM D-422 y AASHTO T-127. Los criterios describen el método y su determinación de manera cuantitativa, aquellos tamaños de partículas del agregado grueso y fino, a través de tamices cuadradas, mediante al cual, es posible determinar su distribución de tamaños de partículas de muestra seca de agregado, por

separación mediante tamices ubicados de manera sucesiva, de mayor a menor (análisis granulométricos).

Tabla 12

Piedra chancada – tamaño máximo ½”

Tamiz ASTM	Aberturas mm	Peso retenido	% Retención Parcial	% de retención acumulada	% Que pasa
3,0”	75,000	-	-	-	-
2,5”	63,000	-	-	-	-
2,0”	50,000	-	-	-	-
1,5”	37,500	-	-	-	-
1,0”	25,000	-	-	-	100,00
0,75”	19,000	-	-	-	100,00
0,5”	12,500	850,00	41,30	41,30	58,70
0,375”	9,500	688,00	33,40	74,70	25,30
n° 4	4,750	511,00	24,80	99,50	0,50
n° 10	2,000	9,30	0,50	100,00	0,00
n° 20	0,840	-	-	-	-
n° 40	0,425	-	-	-	-
n° 80	0,180	-	-	-	-
n° 100	0,150	-	-	-	-
n° 200	0,075	-	-	-	-
< n° 200	-	0,00	0,00	100,0	0,00

Elaborado por el ejecutor.

Nota: Muestreo total 2,058.30

Tabla 13*Arena chancada – tamaño máximo ¼”*

Tamiz ASTM	Aberturas mm	Peso retenido	% Retención Parcial	% de retención acumulada	% Que pasa
3,0”	75,000	-	-	-	-
2,5”	63,000	-	-	-	-
2,0”	50,000	-	-	-	-
1,5”	37,500	-	-	-	-
1,0”	25,000	-	-	-	100,00
0,75”	19,000	-	-	-	100,00
0,5”	12,500	-	-	-	100,00
0,375”	9,500	-	-	-	100,00
n° 4	4,750	115,00	6,50	6,50	93,50
n° 10	2,000	652,00	36,60	43,10	56,90
n° 20	0,840	441,00	24,70	67,80	32,20
n° 40	0,425	156,90	8,80	76,60	23,40
n° 80	0,180	180,00	10,10	86,70	13,30
n° 100	0,150	19,00	1,10	87,80	12,20
n° 200	0,075	70,00	3,90	91,70	8,30
< n° 200	-	148,10	8,30	100,00	0,00

Elaborado por el ejecutor.

Nota: Muestreo total 1,782.0 g.**Tabla 14***Arena chancada – tamaño máximo 3/8”*

Tamiz ASTM	Aberturas mm	Peso retenido	% Retención Parcial	% de retención acumulada	% Que pasa
3,0”	75,000	-	-	-	-
2,5”	63,000	-	-	-	-
2,0”	50,000	-	-	-	-
1,5”	37,500	-	-	-	-
1,0”	25,000	-	-	-	100,0
0,75”	19,000	-	-	-	100,0
0,5”	12,500	-	-	-	100,0
0,375”	9,500	-	-	-	100,0
n° 4	4,750	128,0	4,7	4,7	95,3
n° 10	2,000	547,0	19,9	24,6	75,4
n° 20	0,840	800,0	29,2	53,8	-
n° 40	0,425	728,8	26,6	80,4	19,6
n° 80	0,180	329,0	12,0	92,4	7,6
n° 100	0,150	17,0	0,6	93,0	-
n° 200	0,075	34,0	1,2	94,2	5,8
< n° 200	-	160,2	5,8	100,0	0,0

Elaborado por el ejecutor.

Nota: Muestreo total 2,744.0 g.

Tabla 15*Cal hidratada*

Tamiz ASTM	Aberturas mm	Peso retenido	% Retención Parcial	% de retención acumulada	% Que pasa
n° 10	2,000	-			100,0
n° 20	0,840	-			100,0
n° 40	0,425	14,0	5,5	5,5	94,5
n° 80	0,180	4,0	1,6	7,1	92,9
n° 100	0,150	3,0	1,2	8,3	91,7
n° 200	0,075	4,0	1,6	9,9	90,1
< n° 200		228,0	90,1	100,0	0,0

Elaborado por el ejecutor.

Nota: Muestreo total 253.0 g.**Tabla 16***Caucho reciclado de neumático*

Tamiz ASTM	Aberturas mm	Peso retenido	% Retención Parcial	% de retención acumulada	% Que pasa
3,0"	75,000	-	-	-	-
2,5"	63,000	-	-	-	-
2,0"	50,000	-	-	-	-
1,5"	37,500	-	-	-	-
1,0"	25,000	-	-	-	-
0,75"	19,000	-	-	-	-
0,5"	12,500	-	-	-	100,0
0,375"	9,500	-	-	-	100,0
n° 4	4,750	0,0	0,0	0,0	100,0
n° 10	2,000	0,0	0,0	0,0	100,0
n° 20	0,840	103,91	56,1	56,1	-
n° 40	0,425	54,61	29,5	85,6	14,4
n° 80	0,180	24,43	13,2	98,8	1,2
n° 100	0,150	1,32	0,7	99,5	-
n° 200	0,075	0,62	0,3	99,8	0,2
< n° 200		0,33	0,2	100,0	0,0

Elaborado por el ejecutor.

Nota: Muestreo total 185,22 g.



Figura 4. Instrumentos para análisis de granulometría



Figura 5. Proceso del análisis de granulometría

La granulometría mostrada nos revela una distribución equivalente del agregado en sus distintos tamices; representando un agregado positivo para futuros trabajos y mezclado de los mismos.

d. Dosis de agregados

Posterior a la realización del análisis granulométrico de forma individual, se realizó a través de simulador en computador el mezclado de agregados en sus diferentes combinaciones para posteriormente agregar el cemento asfáltico en base a los criterios y normatividades del caso, estas simulaciones consistieron en realizar

las variaciones en porcentaje del agregado que interviene en sus respectivas mezclas, respecto a su granulometría y que sus valores resultantes estén ubicados dentro de los rangos establecidos.

De conformidad con el muestreo granulométrico, se determinó como el más adecuado el diseño de graduación MAC – 2 (tabla n° 8) del MTC, en el cual, se aprecia que el agregado combinado y al tamaño máximo nominal resulta mejor el mezclado de agregados. Cada briqueta 1,200 g., a este peso se disminuye el peso de asfalto óptimo, obteniendo el peso del mezclado de agregado. Dichos porcentajes particulares del agregado en la combinación de éstos, se tiene:

Tabla 17*Para muestreo convencional*

Tipo de agregado	Peso en gramo (g.)	% En mezclado
Piedra chancada de ½" máx.	334,80	30,0
Arena chancada de ¼" máx.	412,92	37,0
Arena zarandeado nativo de 3/8" máx.	334,80	30,0
Cal hidratado	33,48	3,0
TOTAL	1,116.00	100%

Elaborado por el ejecutor.

Tabla 18*Para muestreo modificado en 9% de caucho*

Tipo de agregado	Peso en gramo (g.)	% En mezclado
Piedra chancada de ½" máx.	335,16	30,0
Arena chancada de ¼" máx.	323,99	29,0
Arena zarandeado nativo de 3/8" máx.	323,99	29,0
Cal hidratado	33,52	3,0
Caucho reciclado de neumático	100,55	9,0
TOTAL	1,117.20	100%

Elaborado por el ejecutor.

Tabla 19*Para muestreo modificado en 7% de caucho*

Tipo de agregado	Peso en gramo (g.)	% En mezclado
Piedra chancada de ½" máx.	334,80	30,0
Arena chancada de ¼" máx.	345,95	31,0
Arena zarandeado nativo de 3/8" máx.	323,64	29,0
Cal hidratado	33,48	3,0
Caucho reciclado de neumático	78,12	7,0
TOTAL	1,116.00	100%

Elaborado por el ejecutor.

Tabla 20*Para muestreo modificado en 5% de caucho*

Tipo de agregado	Peso en gramo (g.)	% En mezclado
Piedra chancada de ½" máx.	345,96	31,0
Arena chancada de ¼" máx.	345,96	31,0
Arena zarandeado nativo de 3/8" máx.	334,80	30,0
Cal hidratado	33,48	3,0
Caucho reciclado de neumático	55,80	5,0
T O T A L	1,116.00	100%

Elaborado por el ejecutor.

Tabla 21*Para muestreo modificado en 3% de caucho*

Tipo de agregado	Peso en gramo (g.)	% En mezclado
Piedra chancada de ½" máx.	356,74	32,0
Arena chancada de ¼" máx.	345,59	31,0
Arena zarandeado nativo de 3/8" máx.	345,59	31,0
Cal hidratado	33,44	3,0
Caucho reciclado de neumático	33,44	3,0
T O T A L	1,114.80	100%

Elaborado por el ejecutor.

e. Límite de Atterberg

- *Límite líquido.* - Este límite es el contenido de humedad que se expresa de forma porcentual de suelo secado en horno, cuando el mismo pase a un estado elástico y líquido. Se rige en base la norma NTP 339.129; ASTM D-424 y AASHTO T-89, respectivamente; tal como se puede apreciar en las siguientes figuras:



Figura 6. Suelo secado



Figura 7. Pase a estado elástico o líquido

Tabla 22

Límite de consistencia

Descripción	Límite de líquido			Límite plástico		
	Nº de golpes	Tarro Nº	Peso de agua	Nº de golpes	Tarro Nº	Peso de agua
Nº de golpes	31,0	24,0	14,0			
Tarro Nº	8,0	12,0	8,0			
Suelo húmedo * tarro	25,68	23,68	25,54			
Suelo seco * tarro	23,04	21,31	22,59			
Peso de agua	2,64	2,37	2,95			
Peso del tarro	11,1	11,23	11,15		NP	
Peso del suelo seco	11,94	10,08	11,44			
Humedad	22,11	23,51	25,79			
L.L. =	23,19	L.P. =	NP	%	LP. =	NP
				%		%

Elaborado por el ejecutor.

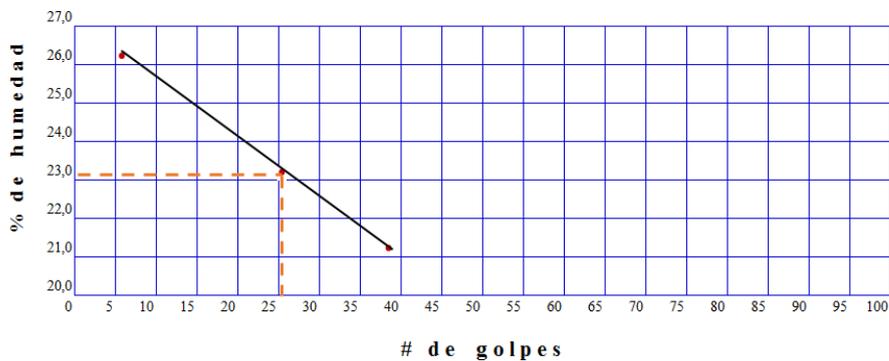


Figura 8. Gráfico de límite líquido

➤ *Equivalente de arena.* – Esta prueba nos servirá para la determinación de la proporción relativo al contenido de polvo fino o material arcilloso, en agregados. Explicándose con mayor detalle en la normatividad NTP 339.146 y ASTM D-2419.

Tabla 23

Equivalencia de arena (ASTM D-2419)

M u e s t r e o	N° 1	N° 2	N° 3
Hr.(*) de entrada	14:30	14:32	14:34
Hr. de salida	14:40	14:42	14:44
Hr. de entrada	14:41	14:43	14:45
Hr. de salida	15:01	15:03	15:05
Altura de nivel material fino	4,52	4,81	4,89
Altura nivel arena	3,02	2,93	3,02
Equivalencia de arena	66,8	60,9	61,8
Equivalencia de arena promedio	63,2%		

Elaborado por el ejecutor.

f. Abrasión los ángeles

La prueba de resistencia del agregado de tamaños menores por fricción o impacto de la máquina de los ángeles, sujeto a la normatividad, NTP 400.019 ASTM C-131 y AASHTO T-96. Este criterio describe la metodología para la determinación de su resistencia al desgaste de agregados naturales o triturado, con el empleo de la referida máquina con carga abrasiva.



Figura 9. Prueba de resistencia de agregados menores por fricción.



Figura 10. Resultado de ensayo de resistencia de agregados.

Tabla 24

Abrasión los ángeles ASTM C131, MTC E-207

Tamaño de mallas		Masa original (g.)	Masa final (g.)	Masa pérdida después de 500 Rev.	% de desgaste por abrasión
Pasa	Retiene				
38,1 mm 1 ½"	25,0 mm 1"	-	-	-	-
25,4 mm 1"	19,0 mm ¾"	-	-	-	-
19,0 mm ¾"	12,7 mm ½"	2,500	-	-	-
12,7 mm ½"	9,5 mm 3/8"	2,500	-	-	-
Total peso de muestreo		5,000	4,04	0,97	19,3%

Elaborado por el ejecutor.

g. Cemento asfáltico

Utilizado en pruebas en el diseño de concreto de asfalto, es de una penetración 120-150, con el empleo de este ligante y considerándose las condiciones meteorológicas, con el propósito de mitigar algún efecto que pueda presentarse ya que las carreteras, en zonas de altura, afecta negativamente, por la fuerte radiación ultravioleta, deteriorando la carpeta de asfalto, provocando una flexión en la estructura de pavimento, ocasionando fracturas.

Tabla 25*Detalle técnico de cemento asfáltico PEN 120-150*

PROPIEDADES	CARACTERÍSTICAS
Apariencia, olor y color:	Sólido a temperatura ambiente, líquido durante su manipulación a más de 100 °C, homogéneo y libre de agua. Color marrón oscuro a negro y con olor característico.
Gravedad definida a 15,6/15,6°C:	1,01 – 1,03 aproximado
Punto de inflamación, °C:	218 mínimo
Punto de auto ignición, °C:	485 aproximado.
Límite de inflamabilidad, % Volumen en aire:	De 1 a 6 aproximado.
Solubilidad en agua:	Insignificante

Fuente: Petróleos del Perú – Petroperú S.A.

Tabla 26*Cemento asfáltico – Asfalto sólido 120/150 PEN (Detalle)*

ENSAYO	ESPECIFICACIONES		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN a 25 °C, 100 g, 5s, 0,1 mm.	120	150	D-5	T-49
VOLATILIDAD				
Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	21		D-92	T-48
Gravedad específica a 15,6/15,6 °C	Reportar		D-70	T-228
DUCTIBILIDAD a 25 °C 5cm/min. cm	100		D-113	T-51
Solubilidad en tricloroetileno, % masa	99		D-2042	T-44

Fuente: Petróleos del Perú – Petroperú S.A.

4.2 Diseño para mezclado asfáltico por metodología Marshall (Asfalto convencional)

4.2.1 Cálculo de peso unitario, de muestra compactada.

Esta prueba consiste en el pesaje del espécimen seco, sea posterior de concluido y/o permanecido al aire por el lapso de una hora, a temperatura ambiente. Dicho espécimen lleva su condición saturada de forma superficial y seca, para sumergirlo en agua y posteriormente pesarlo. Este espécimen lleva su condición saturada de forma superficial y seca, para sumergirlo en agua y posteriormente pesarlo.

La siguiente fórmula nos permite calcular el peso unitario del mezclado asfáltico compacto.

$$G_{mb} = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{summer}} \dots\dots\dots [Ecuación 1]$$

Donde:

G_{mb} : Peso unitario del mezclado asfáltico compacto.

W_d : Peso al aire, de espécimen seco.

W_{ssd} : Peso al aire, de espécimen saturado superficialmente seco.

W_{summer} : Peso de espécimen, saturado superficialmente seco y compactado sumergido.

Tabla 27

Cálculo de peso unitario, de muestreo

% de Asfalto	Peso unitario de muestreo compactado (g/cm ³) (Asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0	2,329	2,345	2,337
6,5	2,375	2,361	2,345
7,0	2,369	2,357	2,356
7,5	2,354	2,354	2,386
8,0	2,329	2,350	2,351

Elaborado por el ejecutor

4.2.2 Peso determinado Bulk de mezcla de agregado.

El agregado total reside en fracciones separadas del material agregado grueso, agregado fino y filler, la gravedad específica neta para el agregado total, se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sb} = \frac{P_1 * P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots [Ecuación 2]$$

Donde:

G_{sb} : Gravedad específico neto para el total agregado

P_1, P_2, \dots, P_n : Porcentaje individual por masa de agregados

G_1, G_2, \dots, G_n : Gravedad específico neto individual de agregado

Tabla 28

Pesos promedio de agregado

% de Asfalto	Peso unitario de muestreo compactado (g/cm3) (Asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0	2,523	2,523	2,523
6,5	2,523	2,523	2,523
7,0	2,523	2,523	2,523
7,5	2,523	2,523	2,523
8,0	2,523	2,523	2,523

Elaborado por el ejecutor

4.2.3 Pesos efectivos netos de agregado.

Este valor, para la gravedad particular efectiva del agregado, debe encontrarse entre su gravedad específica y aparente. Si la gravedad específica se aleja de estos límites,

su valor resultante se debe asumir como incorrecto; el resultado de la gravedad específica máxima del mezclado de ASTM D 2041/ASSHTO T 209; su compuesto del mezclado en términos de contenidos de agregados; y el total de asfaltos deberá estar sujeto a inspección para encontrar el origen del error.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots [Ecuación 3]$$

Donde:

G_{se} : Gravedad específica y efectiva de agregados

G_{mm} : Gravedad específica máxima (ASTM D 2041/ASSHTO T 209) del mezclado de pavimento (sin vacíos de aire)

P_{mm} : % de masa, del total del mezclado suelto = 100,0

P_b : Contenido de asfalto, y en consecuencia ASTM D 2041/ASSHTO T 209 desarrolló la prueba; el % por el total de masa del mezclado.

G_b : Gravedad específica de asfalto.

Tabla 29

Pesos efectivos de agregados

% de Asfalto	Peso efectivo de agregados (g./cm ³) (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	2,672	2,672	2,672
6,5%	2,691	2,691	2,691
7,0%	2,692	2,692	2,692
7,5%	2,714	2,714	2,714
8,0%	2,708	2,708	2,708

Elaborado por el ejecutor

4.2.4 % de asfaltos absorbidos.

Lo absorbido es expresado como un % de la masa de agregados, más como un % del total de la masa del mezclado.

Lo absorbido de asfalto, P_{ba} , es determinado mediante:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} G_{sb}} \times G_b \dots\dots\dots [Ecuación 4]$$

Donde:

P_{ba} : Asfalto absorbidos, % de masa de agregados.

G_{se} : Gravedad específica, efectivo de agregados

G_{sb} : Gravedad específica, neto de agregados

G_b : Gravedad específica, de asfalto

Tabla 30

% de asfalto absorbidos

% de Asfalto	% de asfalto absorbidos (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	2,254	2,254	2,254
6,5%	2,254	2,254	2,254
7,0%	2,538	2,538	2,538
7,5%	2,845	2,845	2,845
8,0%	2,762	2,762	2,762

Elaborado por el ejecutor

4.2.5 Contenido asfáltico efectivo.

Dicho contenido asfáltico efectivo, P_{be} , es producto del mezclado de pavimento, del volumen total de asfalto, reducido la cantidad del asfaltomermado producto de la

absorción dentro de las partículas de agregados. Es aquella porción del total del contenido del asfalto que queda como capa en el exterior de las partículas de agregado y es el contenido asfáltico que gobierna el desempeño de dicho mezclado.

Su fórmula es:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} P_s}{100} \dots\dots\dots [Ecuación 5]$$

Donde:

P_{be} : Contenido asfáltico efectivo, % de masa total del mezclado.

P_b : Contenido asfáltico, % de masa total del mezclado.

P_{ba} : Asfalto absorbido, % de masa de agregados.

P_s : Contenido de agregados, % de masa total del mezclado.

Tabla 31

Contenido asfáltico efectivo

% de Asfalto	% de contenido asfáltico efectivo (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	3,88	3,88	3,88
6,5%	4,14	4,14	4,14
7,0%	4,64	4,64	4,64
7,5%	4,87	4,87	4,87
8,0%	5,46	5,46	5,46

Elaborado por el ejecutor

4.2.6 % VMA en mezclado compactado.

Los vacíos en agregados VMA, está definido como aquel vacío intergranular, de las partículas de agregados en el mezclado asfáltico compactado, incluyendo los vacíos de aire y el contenido asfáltico, expresado de forma porcentual del volumen total. El VMA se calcula considerando la gravedad neta de agregados y expresándose de forma porcentual el volumen del mezclado asfáltico compactado. En consecuencia, el VMA se podrá estimar sustrayendo el volumen de agregados establecidos por su gravedad específica neta, del total volumen neto del mezclado asfáltico compactado.

Si la composición del mezclado es determinada por el porcentaje total de la masa del mezclado asfáltico:

$$V_{MA} = 100 \times \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots [Ecuación 6]$$

Donde:

VMA: Vacío en agregados minerales (% de volumen neto)

G_{sb}: Gravedad específica neto del total agregados

G_{mb}: Gravedad específica neto del mezclado asfáltico compactado

(ASTM D 188 o D2726/AASHTO T 166)

P_s: Contenidos de agregado, % del total de masa de mezclado asfáltico.

Tabla 32

Vacíos en agregado mineral

% de Asfalto	% de vacío en agregados minerales (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	13,235	12,626	12,920
6,5%	11,988	12,509	13,099
7,0%	13,662	13,119	13,147
7,5%	14,082	13,711	12,538
8,0%	15,081	14,317	14,273

Elaborado por el ejecutor

4.2.7 % de vacío de aire en mezclado compactado.

Los vacíos de aire V_a , en el mezclado asfáltico compactado, se refieren aquellos espacios de aire ubicados entre las partículas de agregados. El % de volumen de vacío de aire en el mezclado compactado, se determina de la siguiente manera:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots[\text{Ecuación 7}]$$

Donde:

V_a : Vacío de aire en mezclado compactado, % de volumen total.

G_{mm} : Gravedad específica máxima del mezclado asfáltico.

G_{mb} : Gravedad específica neto del mezclado asfáltico compactado.

Tabla 33

Vacíos de aire en mezclado compactado

% de Asfalto	% de vacío de aire en mezclado compactado (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	4,4	3,7	4,0
6,5%	2,4	2,9	3,6
7,0%	1,9	2,4	2,4
7,5%	2,9	2,5	1,2
8,0%	2,6	1,7	1,7

Elaborado por el ejecutor

4.2.8 Vacíos llenos de asfalto.

El % de vacíos en agregados minerales que sean llenados por masa asfáltica, VFA, no incluye la masa asfáltica absorbida, y se calcula de la siguiente manera:

$$V_{FA} = 100 \times \frac{VMA \times Va}{VFA} \dots\dots\dots [Ecuación 8]$$

Donde:

VFA: Vacío llenado con masa asfáltica, % de volumen total

VMA: Vacíos en agregados minerales, % de volumen total

Va: Vacío de aire en mezclados compactos, % de volumen total

Tabla 34

Vacíos llenos con masa asfáltica

% de Asfalto	% de vacío lleno con masa asfáltica (asfalto convencional)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	66,755	70,695	69,040
6,5%	79,980	76,817	72,517
7,0%	74,994	81,706	81,745
7,5%	79,406	81,766	90,429
8,0%	82,760	88,126	88,089

Elaborado por el ejecutor

4.2.9 Cálculo de contenidos óptimos de masa asfáltica convencional.

Se pudo determinar el contenido apropiado de asfalto en mezclado, considerándose el peso unitario, su estabilidad y su vacío en mezclado. Permitiendo determinar el porcentaje de asfaltos óptimos. Procediéndose de la siguiente manera:

$$P_{\text{óptimo}} = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 9}]$$

- Óptimo de estabilidad : 6,8 %
- Óptimo por peso unitario : 7,3 %
- Óptimo para 3,0% de vacío : 7,0 %
- Óptimo a usar : 7,0 %

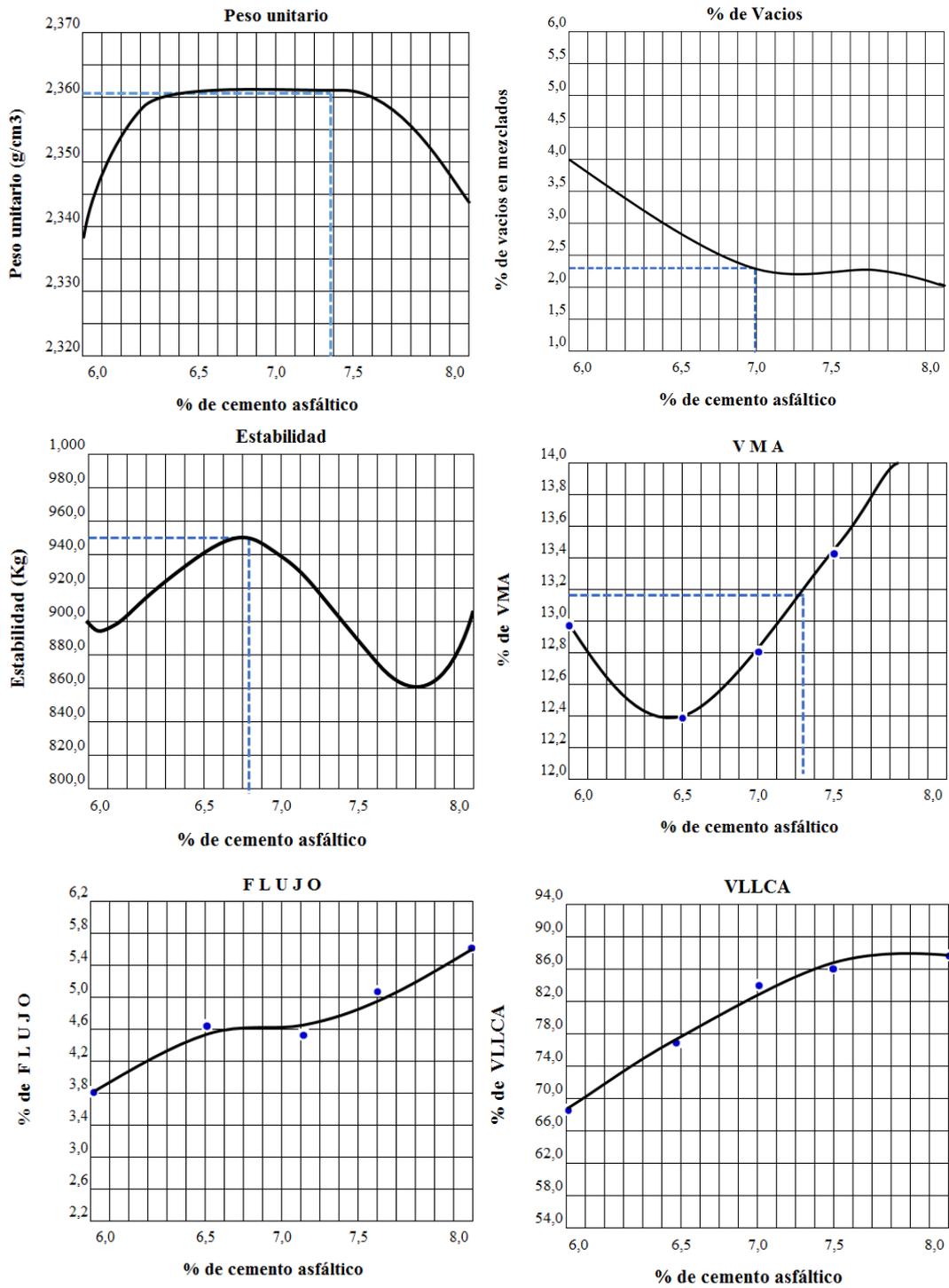


Figura 11. Gráficos Marshall

4.2.10 Resultados de diseño del mezclado asfáltico en caliente

1. Mezclado de agregado (proporción en peso)

Tabla 35

Característica físico-mecánicas

Características	Diseño	Especificaciones
% Cemento Asfáltico	7,0%	
N° de golpes en cada lado	75	
Estabilidad (k)	945	Min-815k
Fluencia (mm)	4,81	3-5 mm
% Vacío de aire	2,25	2-4%
% V M A	13,19	Min. 14
Peso unitario	2,362	
% V L L C A	83,90	Min. 80
Firmeza de flujo kg/cm	1965	1,700-2,500
% Firmeza retenida	93,46%	Min. 75,0%
% Índice de compactibilidad	8,08	Min. 5,0%

Elaborado por el ejecutor

4.3 Diseño para mezclados de asfalto – método Marshall (Asfaltomodificado)

4.3.1 Cálculo de peso unitario de muestreo compactado.

Esta prueba consiste en el pesaje del espécimen seco posterior a que permanecido al aire libre y por lo menos por el transcurso de una (1) hora, a temperatura ambiente. Dicho espécimen de su condición saturada superficialmente seca, se sumerge en agua y posteriormente se pesa. Utilizando para ello la siguiente formula:

$$G_{mb} = \frac{W_d}{W_{ssd} - W_{sumer}} \dots \dots \dots [Ecuación 10]$$

Donde:

G_{mb} : Peso neto unitario del mezclado asfáltico compactado.

W_d : Peso al aire de espécimen seco.

W_{ssd} : Peso al aire de espécimen saturado superficialmente seco.

W_{summer} : Peso del espécimen saturado superficialmente seco sumergido.

Tabla 36

Peso unitario de muestreo compactado

% de Asfalto	Peso unitario de muestreo compactado (g/cm ³) (asfalto variado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	2,004	1,984	1,993
6,5%	2,017	1,983	2,000
7,0%	2,027	2,019	2,022
7,5%	2,000	1,983	2,017
8,0%	1,993	1,984	2,004

Elaborado por el ejecutor

Nota: Los resultados que se obtuvieron con distintos porcentajes de caucho y asfalto fueron con base a los criterios y parámetros Marshall.

4.3.2 Peso específico Bulk del mezclado y/o combinación de agregados. El

agregado total reside en fracciones separadas del material agregado grueso, agregado fino y filler, todos estos tienen distintas gravedades concretas, la gravedad específica neta para el agregado total, se calcula de la siguiente manera:

$$G_{sb} = \frac{P_1 * P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots [Ecuación 11]$$

Donde:

G_{sb} : Gravedad específico neto para el total agregado

P_1, P_2, \dots, P_n : Porcentaje individual por masa de agregados

G_1, G_2, \dots, G_n : Gravedad específico neto individual de agregado

Tabla 37

Peso efectivo promedio

% de Asfalto	Peso efectivo promedio (g/cm ³) (Asfalto modificado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0	2,434	2,434	2,434
6,5	2,434	2,434	2,434
7,0	2,434	2,434	2,434
7,5	2,434	2,434	2,434
8,0	2,434	2,434	2,434

Fuente: Elaborado por el ejecutor

4.3.3 Peso efectivo de agregados.

Este valor, para la gravedad particular efectiva del agregado, debe encontrarse entre su gravedad específica y aparente. Si la gravedad específica se aleja de estos límites, su valor resultante se debe asumir como incorrecto; el resultado de la gravedad específica máxima del mezclado de ASTM D 2041/ASSHTO T 209; su compuesto del mezclado en términos de contenidos de agregados; y el total de asfaltos deberá estar sujeto a inspección para encontrar el origen del error.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots [Ecuación 12]$$

Donde:

G_{se} : Gravedad específica y efectiva de agregados

G_{mm} : Gravedad específica máxima (ASTM D 2041/ASSHTO T 209) del mezclado de pavimento (sin vacíos de aire)

P_{mm} : % de masa, del total del mezclado suelto = 100,0

P_b : Contenido de asfalto, y en consecuencia ASTM D 2041/ASSHTO T 209 desarrolló la prueba; el % por el total de masa del mezclado.

G_b : Gravedad específica de asfalto.

Tabla 38

Peso efectivo de agregados

% de Asfalto	Peso efectivo de agregados (g./cm ³) (asfalto modificado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	2,476	2,476	2,476
6,5%	2,485	2,485	2,485
7,0%	2,467	2,467	2,467
7,5%	2,461	2,461	2,461
8,0%	2,487	2,487	2,487

Elaborado por el ejecutor

4.3.4 % de asfaltos absorbidos.

Lo absorbido es expresado como un % de la masa de agregados, más como un % del total de la masa del mezclado.

Lo absorbido de asfalto, P_{ba} , es determinado mediante:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} G_{sb}} \times G_b \dots\dots\dots [Ecuación 13]$$

Donde:

P_{ba} : Asfalto absorbidos, % de masa de agregados. G_{se} : Gravedad específica, efectivo de agregados G_{sb} : Gravedad específica, neto de agregados

G_b : Gravedad específica, de asfalto

Tabla 39

% de asfalto absorbidos

% de Asfalto	% de asfalto absorbidos (asfalto modificado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	0,711	0,711	0,711
6,5%	0,860	0,860	0,860
7,0%	0,561	0,561	0,561
7,5%	0,460	0,460	0,460
8,0%	0,893	0,893	0,893

Elaborado por el ejecutor

4.3.5 Contenido de masa asfáltica efectiva.

Dicho contenido asfáltico efectivo, P_{be} , es producto del mezclado de pavimento, del volumen total de asfalto, reducido la cantidad del asfaltomermado producto de la absorción dentro de las partículas de agregados. Es aquella porción del total del contenido del asfalto que queda como capa en el exterior de las partículas de agregado y es el contenido asfáltico que gobierna el desempeño de dicho mezclado.

Su fórmula es:

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} P_s}{100} \dots\dots\dots [Ecuación 14]$$

Donde:

P_{be} : Contenido asfáltico efectivo, % de masa total del mezclado.

P_b : Contenido asfáltico, % de masa total del mezclado.

P_{ba} : Asfalto absorbido, % de masa de agregados.

P_s : Contenido de agregados, % de masa total del mezclado.

Tabla 40

% de contenido asfáltico efectivo

% de Asfalto	% de contenido asfáltico efectivo (asfalto modificado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	5,332	5,332	5,332
6,5%	5,696	5,696	5,696
7,0%	6,478	6,478	6,478
7,5%	7,075	7,075	7,075
8,0%	7,178	7,178	7,178

Elaborado por el ejecutor

4.3.6 % VMA en mezclado compactado.

Los vacíos en agregados VMA, está definido como aquel vacío intergranular, de las partículas de agregados en el mezclado asfáltico compactado, incluyendo los vacíos de aire y el contenido asfáltico, expresado de forma porcentual del volumen total. El VMA se calcula considerando la gravedad neta de agregados y expresándose de forma porcentual el volumen del mezclado asfáltico compactado. En consecuencia, el VMA se podrá estimar sustrayendo el volumen de agregados establecidos por su gravedad específica neta, del total volumen neto del mezclado asfáltico compactado.

Si la composición del mezclado es determinada por el porcentaje total de la masa del mezclado asfáltico:

$$V_{MA} = 100 \times \frac{G_{mb} P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots [Ecuación 15]$$

Donde:

VMA: Vacío en agregados minerales (% de volumen neto)

G_{sb}: Gravedad específica neto del total agregados

G_{mb}: Gravedad específica neto del mezclado asfáltico compactado (ASTM D 188 o D2726/AASHTO T 166)

P_s: Contenidos de agregado, % del total de masa de mezclado asfáltico.

Tabla 41

% de vacío en agregados minerales

% de Asfalto	% de vacío en agregados minerales (asfalto modificado)		
	M-1	M-2	M-3
6,0%	22,625	23,389	23,019
6,5%	22,515	23,841	23,187
7,0%	22,555	22,856	22,758
7,5%	24,009	24,656	23,343
8,0%	24,657	25,019	24,271

Elaborado por el ejecutor

4.3.7 % de vacío de aire en mezclado compactado.

Los vacíos de aire V_a, en el mezclado asfáltico compactado, se refieren a aquellos espacios de aire ubicados entre las partículas de agregados. El % de volumen de vacío de aire en el mezclado compactado, se determina de la siguiente manera:

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots [Ecuación 16]$$

Donde:

V_a: Vacío de aire en mezclado compactado, % de volumen total.

G_{mm}: Gravedad específica máxima del mezclado asfáltico.

G_{mb}: Gravedad específica neto del mezclado asfáltico compactado.

Tabla 42

% de vacío de aire en mezclado compactado

% de Asfalto	% de vacío de aire en mezclado compactado (asfalto modificado)		
	M - 1	M - 2	M - 3
6,0%	12,100	13,000	12,600
6,5%	11,300	12,800	12,000
7,0%	9,700	12,000	9,900
7,5%	10,100	10,900	9,300
8,0%	10,600	11,100	10,200

Elaborado por el ejecutor

4.3.8 Vacíos llenos de asfalto.

El % de vacíos en agregados minerales que sean llenados por masa asfáltica, VFA, no incluye la masa asfáltica absorbida, y se calcula de la siguiente manera:

$$V_{FA} = 100 \times \frac{VMA \times Va}{VFA} \dots\dots\dots [Ecuación 17]$$

Donde:

VFA: Vacío llenado con masa asfáltica, % de volumen total

VMA: Vacíos en agregados minerales, % de volumen total

Va: Vacío de aire en mezclados compactos, % de volumen total

Tabla 43*% de vacío lleno con masa asfáltica*

% de Asfalto	% de vacío lleno con masa asfáltica (asfalto modificado)		
	M-1	M-2	M-3
6,0%	46,519	44,418	45,263
6,5%	49,811	46,311	48,247
7,0%	56,944	56,248	56,499
7,5%	57,932	55,792	60,159
8,0%	57,010	55,634	57,975

Elaborado por el ejecutor

4.3.9 Cálculo de contenidos óptimos de masa asfáltica modificada.

Se pudo determinar el contenido apropiado de asfalto en mezclado, considerándose el peso unitario, su estabilidad y su vacío en mezclado. Permitiendo determinar el porcentaje de asfaltos óptimos. Procediéndose de la siguiente manera:

$$P_{\text{óptimo}} = \frac{Pb1 + Pb2 + Pb3}{3} \dots\dots\dots [\text{Ecuación 18}]$$

Óptimo de estabilidad	: 7,0 %
Óptimo por peso unitario	: 7,0 %
Óptimo para 3,0% de vacío	: 7,17 %
Óptimo a usar	: 7,06 %

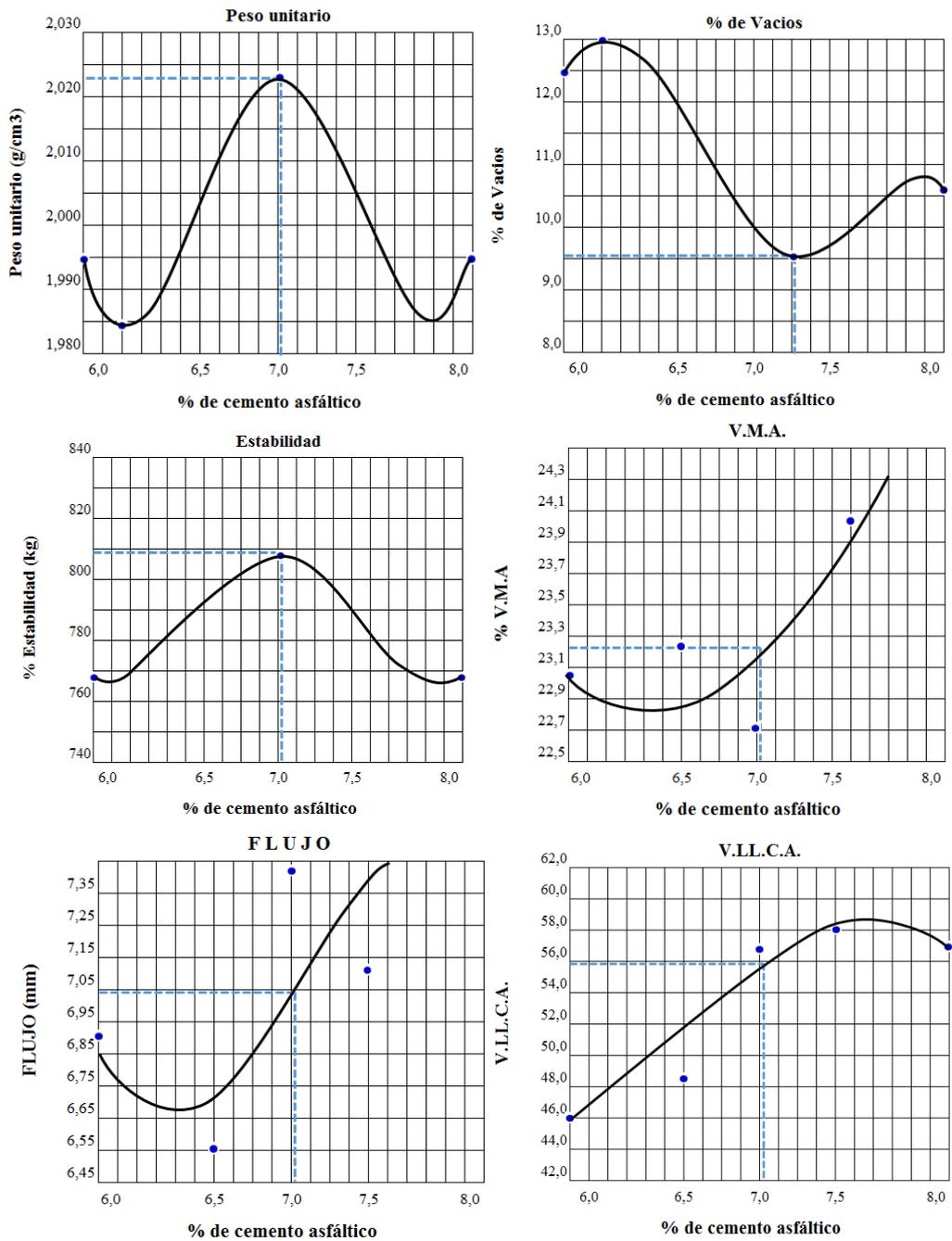


Figura 12. Gráficos Marshall, con caucho

4.3.10 Resultados finales.

Con 3,0% de caucho

1. Mezclado de agregado (proporción en peso)

Agregados gruesos chancado ½”	: 32,0 %
Arena Chancado ¼”	: 31,0 %
Arena natural 3/8”	: 31,0 %
Caucho	: 3,0 %
Cal	: <u>3,0 %</u> .
Total	100,0 %

2. Cemento asfáltico

Tipo de Asfalto : C.A. 120/150

% Optimo de C.A. : 7,06% +-0,3

Tabla 44

Característica Físico-Mecánicas

Características	Diseño	Especificaciones
% Cemento asfáltico	7,1%	
# de golpes en cada lado	75	
Estabilidad (k)	808	Min-815kg.
Fluencia (mm)	7,03	2-4 mm
% Vacíos de aire	906	3-5 %
% VMA	23,20	Min. 14
Peso unitario	2,023	
% V LL C A	55,90	Min. 80
Firmeza flujo k/cm	1,149	1,700-2500
% Firmeza retenida	61,78%	Min. 75,0%
% Índice de compactibilidad	5,67	Min. 5,0%

Elaborado por el ejecutor

4.4 Contrastación de Hipótesis

Contrastación de hipótesis general.

El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos en aplicaciones de pavimento flexible, mejora su comportamiento mecánico - Moquegua 2019.

Al respecto, en el diseño del mezclado de asfalto modificado con material reciclado de neumático. La información obtenida, producto de las pruebas efectuadas en laboratorio son cotejados con aquellas especificaciones emitidas por normatividad del estado peruano. Realizándose 15 muestreos de diseños asfálticos convencionales, cuyos resultados se revelan en la tabla 44. Se realizó varios ensayos con distintos valores porcentuales de caucho y asfalto, hasta ubicar el mejor comportamiento que adquiriera. Asimismo, se realizó 15 muestreos de diseños asfálticos modificados con un valor del 3,0% de caucho reciclado de neumático en su composición, siendo este el valor porcentual de caucho que mejor se comportó, dichos diseños de asfaltos modificados (DAM) cuyos valores finales se muestran en la tabla 44.

Asimismo, se debe destacar que se ha realizado diseños de asfalto modificado con 3,0%; de caucho reciclado de neumáticos. Cuyo resultado se obtuvo y también se comprobó que el que mejor comportamiento es el de 3,0%.

Tabla 45

Comparación de DAM y DAC

Características	DAM	DAC	Detalles
% Cemento asfáltico	7,1%	7,0%	
# de golpes en cada lado	75	75	
Firmeza (kg)	808	945	Min-815kg
Fluencia (mm)	7,03	4,81	3-5 mm
% Vacíos de aire	9,06	2,25	2-4%
% V M A	23,20	13,19	Min. 14
Peso unitario determinado porel mercado.	2,023	2,362	
% V L L C A	55,90	83,90	Min. 80
Firmeza de flujo kg/cm	1,149	1,965	1,700-2500
% Firmeza retenida	61,78%	83,46%	Min. 75,0%
% Índice de Compactibilidad	5,67	808	Min. 5,0%

Elaborado por el ejecutor

a. Comparación de ensayo Marshall de mezclas.



Figura 13. Comparación de ensayo Marshall de mezclados

Resumiendo, las peculiaridades físico mecánicas del método Marshall de asfaltos convencionales y modificados con caucho reciclados de neumáticos. Se tiene que, la estabilidad de asfaltos convencionales es de 945,0 kg en tanto que, en asfaltos

modificados y/o variados con caucho es de 808,0 kg, resultando menor a la estabilidad convencional de 137,0kg, en el cual, el cemento asfáltico modificado aporta menor estabilidad al deforme, siendo el agregado pétreo el mismo para ambos mezclados.

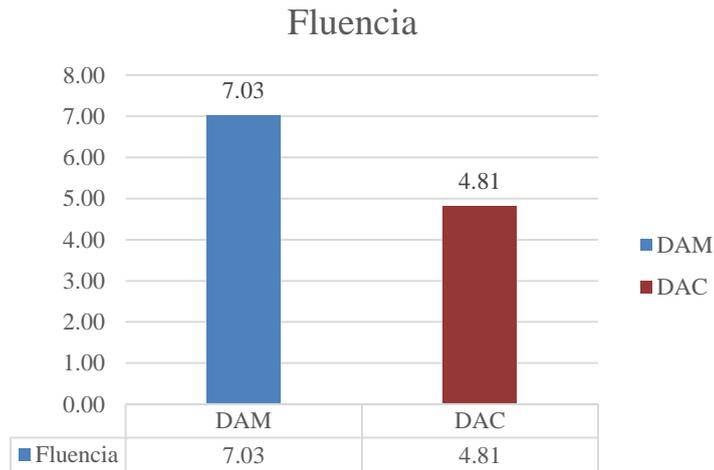


Figura 14. Flujos de asfalto convencional

Los flujos de asfalto convencional, resulta 4,81 mm en tanto que el asfalto modificado con reciclado de caucho es 7,03 mm, resultando superior en la fluencia hasta en 2,22 mm. Esto ocasiona en las mezclas de asfalto, excesiva plasticidad en cargas de tránsito y el aumento de temperaturas.

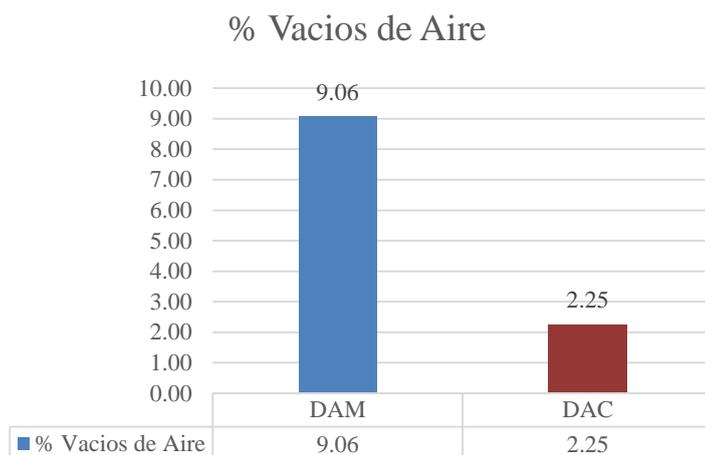


Figura 15. Flujos de asfalto convencional

El valor porcentual de vacío en asfalto convencional resultó de 2,25% y modificado con caucho reciclado fue de 9,06% resultando ser superior en la fluencia en 6,81%. Ello se debe a que el caucho tiende generar vacíos por su misma forma y en el instante del compactado amortigua los golpes.

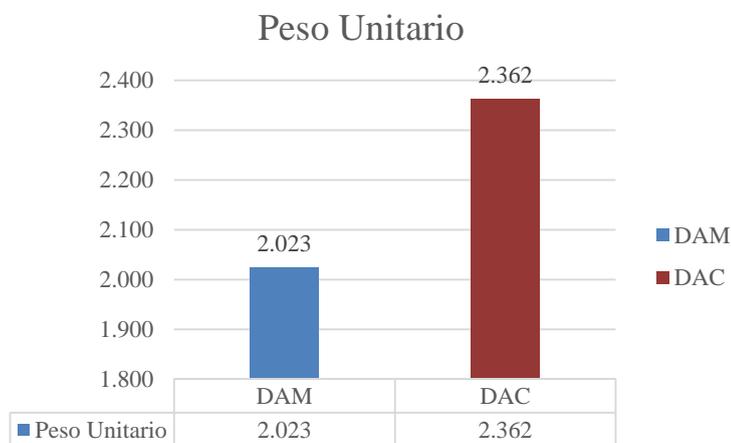


Figura 16. Pesos unitarios de asfalto convencional

Los pesos unitarios de asfalto son de 2,362 en tanto que de los asfaltos variados o modificados con reciclado de caucho es de 2,023, resultando inferior en 0,339. Ello se debe a que el caucho cuenta con peso específico menor, toda vez que las probetas modificadas tienen mayor volumen.

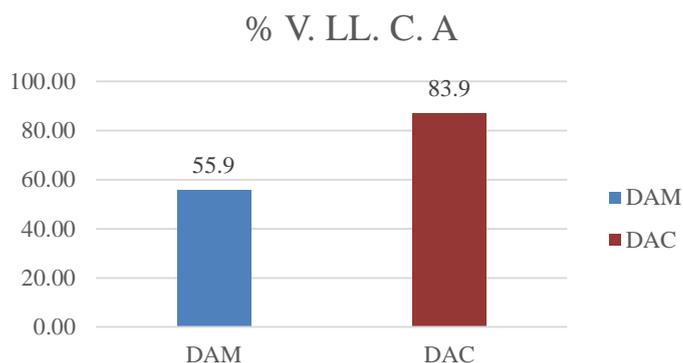


Figura 17. Vacíos llenados de cemento asfáltico.

De las mezclas, respecto a los vacíos llenado con cementos asfálticos convencionales resulta ser 83,9% en tanto que el asfalto modificado concaucho reciclado resulta ser de 55,9% siendo menor en 28,0%. Ello debido a que las probetas con caucho contienen mayor volumen.

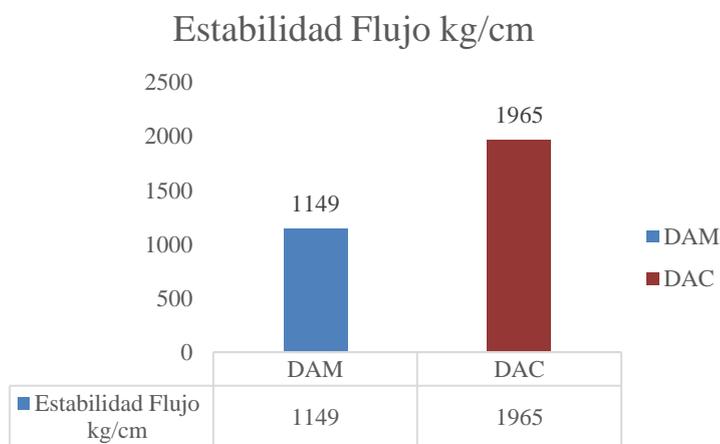


Figura 18. Estabilidad de flujos o rigidez de asfalto convencional.

La relación de firmeza o estabilidad de flujos o rigidez de asfalto convencional es de 1,965 en tanto que, de asfalto modificado con cauchoreciclado es de 1,149, resultando inferior en 816. Ello debido a que las probetas con caucho cuentan con un flujo significativo, haciendo que disminuya su estabilidad.

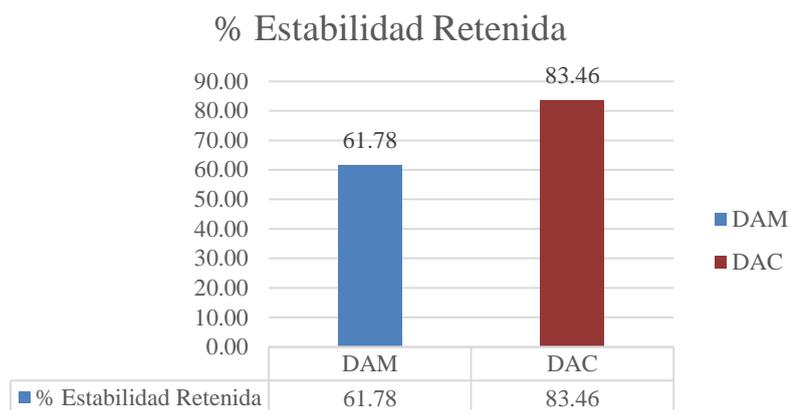


Figura 19. Estabilidad retenida de asfalto convencional.

El valor de firmeza y/o estabilidad retenida de asfalto convencional es de 83,46% en tanto que el asfalto modificado con caucho reciclado es de 61,78% resultando ser inferior en 21,68%. Ello hace que las probetas con caucho sean quebrantables a tránsitos, en clima severo.

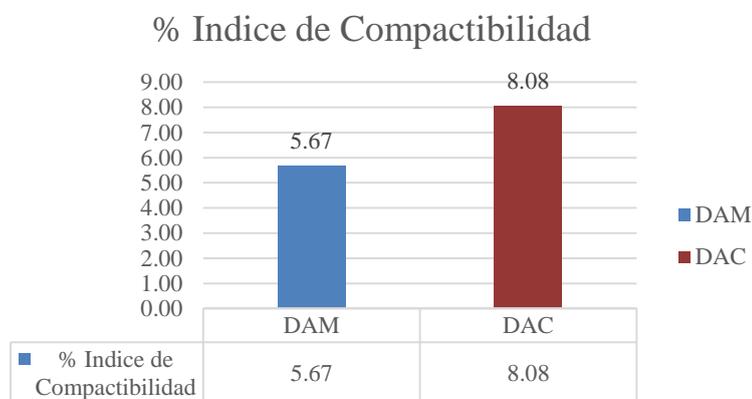


Figura 20. Estabilidad retenida de asfalto convencional.

El índice de compactibilidad de asfalto convencional es de 8,08% en tanto que del asfalto modificado con caucho reciclado es de 5,67% resultando ser inferior en 2,41% ello significa que el mezclado modificado no se compacta de forma estable, toda vez que el caucho amortigua el compactado.

Contrastación de hipótesis específica a).

“El diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente del caucho reciclado de neumáticos, mejora su comportamiento mecánico”

De conformidad a los análisis realizados en la sección anterior y de los valores que se obtuvieron y revelaron en la tabla 44. Por tanto, se rechaza la hipótesis formulada, toda vez que sus resultados y valores en ensayos efectuados en laboratorio, se ubican por debajo y/o alejados a las especificaciones en normas que regulan dichos estándares. Por otro lado, el caucho reciclado de neumático no tiene un óptimo y/o mejor comportamiento en el mezclado de asfalto. Ya que en el momento de comparación el diseño de asfalto variado o modificado (DAM) y el convencional (DAC) a nivel de mezclado de agregado, en DAC como en el DAM, cumplen de conformidad a las normatividades. Sin embargo, al momento de efectuar la evaluación de sus valores recabados en roturas de briquetas nos dimos con resultados de que el DAM no cumple la normatividad.

Contrastación de hipótesis específica b).

El resultado de la mezcla de asfalto tradicional con el asfalto variado con caucho de neumáticos reciclados; mejora su flexibilidad y elasticidad, el comportamiento a la fatiga y promueve el reciclaje y reducción de contaminación del medio ambiente.

De conformidad a los resultados y análisis desarrollados en la sección anterior, figura 11 se ve que el flujo de asfalto convencional es de 4,81 mm, en tanto que el variado o modificado con caucho reciclado es de 7,03 mm, siendo mayor en su fluencia en 2,22 mm. Lo que demuestra que el DAM trabaja en mejores condiciones de alta y baja temperatura. Sin embargo, lo especificado en

normatividad los ubica en un rango de 3,0 a 5,0 mm de flujo. Este aumento ocasiona en el mezclado asfáltico excesiva plasticidad con tendencia a deformación con cargas del tránsito regular y en el incremento de las temperaturas. Por tanto, el flujo DAM es mayor que el DAC pero no de la manera que permita mejoras en cambios de temperaturas.

Por otro lado, en cuanto a los flujos de asfalto convencional, resulta 4,81 mm en tanto que el asfalto modificado con reciclado de caucho es 7,03 mm, resultando superior en la fluencia hasta en 2,22 mm. Lo cual muestra el DAM trabaja mejor en condiciones de alta y baja temperatura, y de conformidad a especificaciones de calidad, estos arrojan estar comprendidos en un rango de 3,0 a 5,0 mm de flujos. Este aumento en el flujo, causa en el mezclado asfáltico excesiva plasticidad, con tendencia a sufrir deformaciones en condiciones de carga en tránsitos regulares y el incremento de temperaturas. Por tanto, el flujo del DAM es mayor que el DAC, y no de la manera que mejora las condiciones en cambios de temperaturas.

Asimismo, la estabilidad de asfaltos convencionales es de 945,0 kg en tanto que, en asfaltos modificados y/o variados con caucho es de 808,0 kg, resultando menor a la estabilidad convencional de 137,0 kg, esta baja en la firmeza incrementa las fallas por fatiga producidos en vías asfaltadas; ello debido a la disminución en la estabilidad del asfalto.

Finalmente, ya es conocido que el proceso de reutilización de materiales será beneficioso para nuestro medio ambiente, como se expuso en capítulos anteriores, los neumáticos cuentan con una gran cantidad de químicos tóxicos, cuando estos son expuestos al fuego, asimismo, este material puede volver a su estado original previo procesos, y/o ser re-utilizados. Sin embargo, el 70,0% de neumáticos son utilizados

como material de combustión en distintos sectores de la producción, ocasionando daños irreversibles al medio ambiente y la salud pública, producto de las emisiones de humos contaminantes, mutagénicos, cancerígenos, así como de compuestos orgánicos volátiles (COV's) e hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP's), entre otros elementos causantes de afecciones al sistema respiratorio y circulatorio.

4.5 Discusión de resultados.

A los resultados arribados en el presente estudio, después de haber realizado los ensayos y pruebas se tienen los resultados siguientes más relevantes:

Para muestreo convencional; peso en gr., se tiene un valor de 1,116.00, tabla 17; para un muestreo modificado en 9,0% de caucho, se tiene un peso en g., de 1,117.00 tabla 18, para un muestreo modificado en 7,0% y 5,0% de caucho, se tienen un peso en g., de 1,116.00 respectivamente, tablas 19 y 20; y al 3,0% se tiene un peso en g., de 1,114.80 tabla 21. En cuanto a la comparación de ensayo Marshall de mezclas convencionales y modificadas, se tiene que, la estabilidad de asfaltos convencionales es de 945,0 kg en tanto que, en asfaltos modificados y/o variados con caucho es de 808,0 kg, resultando menor a la estabilidad convencional de 137,0 kg, en el cual, el cemento asfáltico modificado aporta menor estabilidad al deforme, siendo el agregado pétreo el mismo para ambos mezclados, figura 10. Por otro lado, en cuanto a la fluencia resulta 4,81 mm en tanto que el asfalto modificado con reciclado de caucho es 7,03 mm, resultando superior en la fluencia hasta en 2,22 mm. Este aumento de flujos, ocasiona en las mezclas de asfalto, excesiva plasticidad con tendencia deformarse con cargas de tránsito y el incremento de temperaturas, figura 11. En cuanto a vacíos de aire, se tiene que, el valor porcentual

de vacío en asfalto convencional resultó de 2,25% en tanto que el asfalto modificado con caucho reciclado fue de 9,06% resultando ser superior en la fluencia en 6,81%. Ello se debe a que el caucho tiende a generar vacíos por su misma forma y en el instante del compactado amortigua los golpes, figura 12.

Asimismo, respecto a pesos unitarios, se tiene en 2,362 en tanto que de los asfaltos variados o modificados con reciclado de caucho es de 2,023, resultando inferior en 0,339. Ello se debe a que el caucho cuenta con peso específico menor, toda vez que las probetas modificadas tienen mayor volumen, figura 13. % en VLL CA, se tiene 83,9% en tanto que el asfalto modificado con caucho reciclado resulta ser de 55,9% siendo menor en 28,0%. Ello debido a que las probetas con caucho contienen mayor volumen, figura 14. Con respecto a la estabilidad de flujo Kg/cm, podemos ver que, es de 1,965 en tanto que, de asfalto modificado con caucho reciclado es de 1,149, resultando inferior en 816. Ello debido a que las probetas con caucho cuentan con un flujo significativo, haciendo que disminuya su estabilidad, figura 15. En cuanto a % de estabilidad retenida, se tiene que es de 83,46% en tanto que el asfalto modificado con caucho reciclado es de 61,78% resultando ser inferior en 21,68%. Ello hace que las probetas con caucho sean quebrables a tránsito, en clima severo, figura 16. Finalmente, en cuanto a % de índice de compactabilidad, de asfalto convencional es de 8,08% en tanto que del asfalto modificado con caucho reciclado es de 5,67% resultando ser inferior en 2,41% ello significa que el mezclado modificado no se compacta de forma estable, toda vez que el caucho amortigua el compactado.

De los resultados que se revelan, se acepta la hipótesis formulada, la cual describe que: “El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de

neumáticos en aplicaciones de pavimento flexible, mejora su comportamiento mecánico - Moquegua 2019.”. Estos resultados tienen aproximación a lo vertido por (Guzmán, 2017) quien concluye en los siguiente: que, el cantón tiene niveles de servicio aceptable y cuyos costes demantenimiento que, el cantón posee un nivel aceptable y los costes para su mantenimiento son relativamente bajos. De esta manera, se puede gestionar su financiamiento de forma sostenible, optimizando recursos y sistematizando la intervención de mantenimientos técnicamente, y priorizando las intervenciones en observancia a la jerarquización de las condiciones de sus pavimentos. Igualmente, con (Lopez, 2016) quien plantea las siguientes conclusiones: En las vías que cuenta con una capa asfáltica de sub-base o base y carpeta asfáltica debe ser sometido a proceso de rehabilitación con refuerzos en sus estructuras o una sobre capa. Las vías queso solo cuentan con capa de recubrimiento, debe ser sometido a procesos de reconstrucción total y mal usar los recursos económicos. Y finalmente, todas aquellas vías que se encuentran en tierra debe ser técnicamente evaluada y posteriormente sometimiento a un diseño para posteriormente ejecutar el proceso constructivo. Por su parte (Sandoval & Orobio, 2013) Quienes concluyeron que, la reducción en el espesor de la carpeta asfáltica y capa estabilizada con cemento en el margen tolerado, incide de manera significativa en el deterioro prematura del pavimento. Las variantes en el espesor dentro de los parámetros permisibles de capas base y subbase, no inciden de forma significativa en el desempeño de estructuras viales. Finalmente, (Vera, Thenoux, Solminach, & Echeveguren, 2010) quien plantean que, este modelo considera modelo de predicción pedidos de tráfico, de progresión rigurosa mediante el IRI, de los derivados de la acción de mantenimiento sobre este. Este modelo fue calibrado a

nivel de proyecto con datos de 2.000 tramos de 200 m de longitud de pavimento asfáltico, emplazado en la red vial de Chile, debidamente categorizado por nivel de tráfico, clima, tipo de vehículos y condiciones de carga. A ello, se propone indicador de desempeño que permita la medición de lo efectivo del plan de conservación con relación a la condición base. Asimismo, permite la cuantificación del desempeño contemplados en los respectivos planes de mantenimiento respecto al tipo de pavimento, considerando los planes de conservación de conformidad a la data histórica de los pavimentos.

Ocurriendo similar situación con (Humpiri, 2015) quien concluye que, se cuenta con una variedad de diseños en pavimento flexible, que en la mayoría no cumplió con el ciclo de vida previsto. Haciéndose muy importante la conservación de los mismos, mediante los mantenimientos rutinarios, periódicos y/o de rehabilitación, que los mismos permitan brindar mayor seguridad, comodidad y el menor tiempo posible a los usuarios y ciudadanía, accesoriamente, esta situación logrará la mejora notable en el nivel de servicios de las vías, en la región. Y con (Becerra-Salas, 2013) quienes concluyeron que, la parte técnica involucró el estudio de pavimentos semejantes en su versión de flexible y rígido que se desarrolló a través de una matriz que consideró diseños equivalentes a partir de parámetros: tráfico y suelos.

Finalmente, también existe concordancia con lo señalado por (Salinas, 2009) quien concluye que, en la comparación de los resultados obtenidos, tanto modificado como tradicional, se halló que en la mezcla de asfalto convencional el porcentaje óptimo de asfalto fue de 6.4% en tanto que en el asfalto variado fue de 6.3%, ello significa en términos económicos, no hay ahorro en el proceso de

ejecución de vía, sin embargo, estos son esperados en la prolongación de la vida útil del pavimento, significando economizar en la etapa de operación y mantenimiento.

Finalmente, se considera a aún queda pendiente estudios posteriores respecto a la utilización del caucho reciclado de neumático en el uso de mezclado de asfalto; toda vez que los resultados tuvieron cierto sesgo a lo esperado, ya que se espera, sobre todo en nuestra disciplina la reutilización del caucho, y ello implicará un gran aporte a no contaminar el medio ambiente y salud del ser humano.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

General.

El comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible, no presenta mejoras en su comportamiento físico-mecánicas en ninguno de los distintos diseños que se realizó, toda vez que sus valores que se obtuvieron por ensayo Marshall, se ubican por debajo del mezclado asfáltico convencional y sus especificaciones de calidad a las cuales están sujetas.

(Objetivo general)

Específicas.

Primera. El diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente de caucho reciclado de neumáticos; en sus mezclas de agregado con caucho reciclado de neumático, no cumplen con los criterios de calidad señalados por el MTC, tal como como se puede apreciar en los ensayos Marshall, ya que sus valores se ubican por debajo de los criterios de calidad establecidos. *(Objetivo específico a)*

Segunda. El resultado de la mezcla de asfalto tradicional con el asfalto variado con caucho de neumáticos reciclados, se ubican por debajo del asfalto convencional y de las normas de calidad establecidas. Estas disminuciones de estabilidad, incrementa las fallas por fatiga debido a la baja estabilidad del asfalto.

5.2 Recomendaciones

General.

A las entidades, que tengan interés en el reciclado de caucho (neumáticos) implementar con equipos de laboratorio especializados que permite efectuar y desarrollar estudios más amplios y con la debida profundidad, sobre todo en el comportamiento del asfalto variado con material reciclado de neumáticos para su aplicación en pavimento flexible. Así como en el fortalecimiento de capacidades del personal técnico de planta de asfalto, en nuevos tipos de asfaltos modificados.

(Conclusión general)

Específicas.

Primera. Incentivar y promover la realización de más estudios en el diseño de la mezcla de asfalto considerando el componente del caucho reciclado de neumáticos, ya que el caucho de neumáticos tiene en su composición química, elementos que permiten la durabilidad y resistencia de neumáticos en conjunto, así como pruebas en usar variedad de compuestos químicos en mezclado de asfaltos.

Segunda. Incentivar y promover en las plantas recicladoras y de asfaltos, la realización mezclas de asfalto tradicional con el asfalto modificado con caucho de neumáticos y buscar sus beneficios y de productos finales y accesoriamente contribuir a la no contaminación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Becerra-Salas, M. (2013). Comparación técnico-económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Piura., Lima Perú.
- Definición de (13 de octubre de 2019). *DEFINICIÓN DE CANTERA*. Obtenido de <https://definicion.de/cantera/>
- Delbono, H., & Rebollo, O. (octubre 2017). Ahuellamiento en pavimentos asfálticos utilizando geosintéticos. *Trabajo presentado en el Congreso Ibero-Americano de Asfalto*. Medellín Colombia.
- Global Investment & Trade Compañy. (13 de octubre de 2019). Obtenido de Asfalto: <https://masminermetal.com/es/hidrocarburos/asfalto>
- Guzmán, G. (2017). Gestión sostenible del pavimento rígido, flexible y articulado del centro urbano del canton girón. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Cuenca, Cuenca Ecuador.
- Humpiri, K. (2015). Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región Puno. (*Tesis de Maestría*). Universidad Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca Perú.
- Inspiration.org. (13 de octubre de 2019). *Reciclado de Caucho*. Obtenido de <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/reciclaje/material-reciclado/caucho>
- Invias. (13 de octubre de 2019). *Especificaciones*. Obtenido de http://www.invias.gov.co/info/manuales/Normas/especificaciones_construccion/especificaciones/Art400.htm

- Lopez, J. (2016). El diseño de pavimentos flexibles, su comportamiento estructural, e incidencia en el deterioro temprano de la red vial en la provincia de Tungurahua. (*Tesis de Maestría*). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Mantenimiento de Carreteras. (13 de febrero de 2013). *Todo sobre Mantenimiento de Carreteras y Vias*. Obtenido de Mantenimiento de Carreteras: <http://mantenimientocarreterasvias.blogspot.com/2013/02/ahuellamiento.html>
- Resolución Directoral N° 02-2018-MTC/14. (12 de enero de 2018). Diario Oficial El Peruano. *Glosario de términos de uso frecuente en proyecto de infraestructura vial*. Lima, Perú: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Salinas, P. (2009). Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía Sullana-Aguas Verdes. (*Tesis de Maestría*). Universidad de Piura. Lima Perú., Lima Perú.
- Sandoval, C., & Orobio, A. (2013). Efectos de las tolerancias de construcción en el desempeño de los pavimentos flexibles. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 266-277.
- Vera, I., Thenoux, G., Solminach, H., & Echeveguren, T. (2011). Modelo de evaluación técnica del desempeño del mantenimiento de pavimentos flexibles. *Revista de la Construcción*, 9(2), 76-88.