



UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

**FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho
y con polímeros

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Galdos Valdivia, Jousteen Javier
ORCID: 0000-0001-8290-7084

Rodriguez Valverde, Jose Luis
ORCID: 0000-0001-8753-7721

ASESOR

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo
ORCID: 0000-0002-7722-8711

Lima, Perú

2022

Metadatos Complementarios

Datos del autor(es)

Galdos Valdivia, Jousteen Javier

DNI: 71996639

Rodriguez Valverde, Jose Luis

DNI: 73192880

Datos de asesor

Huamán Guerrero, Néstor Wilfredo

DNI: 10281360

Datos del jurado

JURADO 1

Arévalo Lay, Víctor Eleuterio

DNI: 04434662

ORCID: 0000-0002-2518-8201

JURADO 2

Támara Rodríguez, Joaquín Samuel

DNI: 31615059

ORCID: 0000-0002-4568-9759

JURADO 3

Pereyra Salardi, Enriqueta

DNI: 09147106

ORCID: 0000-0002-6949-1317

Datos de la investigación

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

DEDICATORIA

Dedico esta investigación a Dios, por brindarme la vida para poder seguir adelante y por su infinita misericordia. A mis padres José Luis y Lucy Maritza, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que soy es gracias a ellos. A mis hermanos Renzo y Gabriela que son el motivo de mi esfuerzo diario. A todos ellos les doy las gracias por creer en mí.

Jose Luis Rodriguez Valverde

Quisiera dedicar esta tesis a mis abuelos Juan Valdivia y Gladys Cornejo por sus consejos, apoyo y amor incondicional en el camino a la victoria. A mi madre por ser un modelo a seguir en la lucha y apoyarme en todo sin ellos no sería quien soy hoy

Jousteen Galdos Valdivia

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, profesores y amigos, quienes nos brindaron su apoyo incondicional y consejos para la realización de la presente investigación y a todas las personas que permitieron que sea posible, sin su apoyo no se hubiéramos podido culminar la carrera, muchas gracias y que Dios los bendiga

Jousteen Javier Galdos Valdivia.

Jose Luis Rodriguez Valverde

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT	ii
INTRODUCCION	iii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos	2
1.3. Importancia y justificación del estudio	2
1.3.1. Justificación	2
1.3.2. Importancia	2
1.4. Delimitación del estudio	3
1.4.1. Temporal	3
1.4.2. Espacial	3
1.4.3. Temática.....	3
1.5. Objetivos de la investigación	3
1.5.1. Objetivo general.....	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes del estudio de investigación.....	4
2.1.1. Marco histórico del caucho	4
2.1.2. Marco histórico de los polímeros.....	5
2.2 Investigaciones relacionadas con el tema	9
2.2.1. Investigaciones Nacionales	9
2.2.2 Investigaciones Internacionales	12
2.3 Estructura teórica	17
2.3.1. Pavimento.....	17
2.3.2. Asfalto.....	20

2.3.3. Cemento asfáltico de petróleo (CAP)	21
2.3.4. Mezclas asfálticas en caliente (MAC).....	23
2.3.5. Composición de las mezclas asfálticas en caliente	23
2.3.6. Materiales de las mezclas asfálticas en caliente.....	25
2.3.7. Cemento asfáltico.....	30
2.3.8. Requisitos de las mezclas asfálticas en caliente.....	31
2.3.9. Parámetros Diseño Marshall de las mezclas asfálticas en caliente	34
2.3.10. Características y comportamiento de la mezcla	35
2.3.11. Contenido de asfalto.....	37
2.3.12. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	38
2.3.13. Neumáticos.....	46
2.3.14. Métodos de recuperación del caucho de neumáticos Reciclado	52
2.3.15. Aplicación del grano de caucho en pavimentos.....	53
2.3.16. Comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con caucho reciclado.....	57
2.3.17. Polímeros	59
2.3.18. Método de diseño de mezclas asfálticas convencionales.....	62
2.3.19. Método de diseño de mezclas asfálticas modificadas con caucho.....	64
2.3.20. Mezcla asfáltica modificada con polímeros.....	66
2.4. Definición de términos básicos	71
CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS.....	73
3.1 Hipótesis.....	73
3.1.1 Hipótesis general.....	73
3.1.2 Hipótesis específicas	73
3.2 Variables	73
3.2.1 Variable dependiente.....	73
3.2.2 Variable independiente	73
3.2.3 Operacionalización de las variables	73
CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	75
4.1 Metodo de investigacion	75

4.2 Orientación de la investigación	75
4.3 Enfoque de la investigación	75
4.4 tipo de la investigación.....	75
4.5 Diseño de la investigación	75
4.6 Población.....	76
4.7 Muestra.....	76
4.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	76
4.9 Descripción de procedimientos de análisis	76
CAPITULO V PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	77
5.1 Investigaciones analizadas con adición de caucho.....	77
5.1.1 Cemento asfáltico.....	79
5.1.2 Grano de caucho utilizado.....	82
5.1.3 polímeros.....	82
5.2 Diseño de las mezclas asfálticas	82
5.2.1 Diseño de mezcla asfáltica convencional.....	82
5.2.1 Ensayo Marshall.....	82
5.3 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con granos de caucho mediante proceso por via seca.....	89
5.3.1 Diseño final con la mezcla de polvo de caucho	90
5.4 Investigacion Analisadas con adicion de polimeros	91
5.4.1 Cemento asfaltico y agregados de las mezclas convencionales.....	93
5.5 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímero.....	95
5.5.1 Diseño mezcla convencional.....	95
5.5.2 Parámetros Marshall de una mezcla asfáltica convencional	95
5.6 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polimero	102
5.6.1 Diseño final con la mezcla modificada con polímero.....	102
5.7 Análisis correlacional de la recopilación filtrada de la base de datos, resultados en cuanto a los ensayos Marshall de mezclas asfálticas modificadas con caucho.....	103
5.8 Análisis correlacional de la recopilación filtrada de la base de datos, resultados en cuanto a los ensayos Marshall de mezclas asfálticas modificadas con polimeros.	108

5.9 Comparacion de las propiedades de mezclas asfalticas modificado con caucho y mezcla asfalticas modicada con polimero	112
5.10 Contrastación de hipótesis.....	116
5.10.1 Contrastación de hipótesis específicas.....	116
5.10.2 Contrastación de hipótesis general.....	118
CONCLUSIONES.....	119
RECOMENDACIONES.....	121
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXOS	126
Anexo 1: Matriz de consistencia	126

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Gradación para las mezclas asfálticas en caliente	28
Tabla 2. Especificaciones para la gradación cerrada - ASTM D3515	29
Tabla 3. Selección del tipo de cemento asfáltico	30
Tabla 4. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento.....	40
Tabla 5. Causas y efectos de un poca durabilidad.....	41
Tabla 6. Causas y efectos de la permeabilidad.....	42
Tabla 7. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad	44
Tabla 8. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga	45
Tabla 9. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	46
Tabla 10. Composición de llantas según el tipo	51
Tabla 11. Huso granulométrico específico para el caucho en polvo	56
Tabla 12. Clasificación de polímeros	60
Tabla 13. Panorama del mejoramiento producido en las propiedades de los ligantes por diferentes clases de polímeros.	70
Tabla 14. Operacionalización de variables.....	1
Tabla 15. Investigaciones analizadas con adición de caucho en el presente estudio ..	77
Tabla 16. Clasificación de cemento asfáltico y agregados.....	79
Tabla 17. Características físicas del agregado grueso	81
Tabla 18. Características físicas del agregado fino	81
Tabla 19. Contenido de cemento asfáltico	83
Tabla 20. Resultados de la densidad.....	84
Tabla 21. Resultados de la estabilidad	85
Tabla 22. Resultados de la flujo	86
Tabla 23. Resultados de la vacíos de aire.....	87
Tabla 24. Resultados de la vacíos mineral de agregados	88
Tabla 25. Requerimientos eg – 2013 y diseño marshall de la mezcla asfáltica convencional según su optimo contenido de asfalto	89
Tabla 26. Resultados de diseño marshall de mezcla asfáltica modificada con caucho según investigaciones	91

Tabla 27. Investigaciones analizadas con adición de polímero en el presente estudio	91
Tabla 28. Clasificación de cemento asfáltico y agregados	94
Tabla 29. Contenido óptimo de asfalto.....	95
Tabla 30. Resultados de la densidad.....	96
Tabla 31. Resultados de la estabilidad	97
Tabla 32. Resultados de flujo	98
Tabla 33. Resultados de porcentaje de vacíos de aire	99
Tabla 34. Resultados de porcentaje de vacíos en agregado mineral	100
Tabla 35. Requerimientos eg – 2013 y diseño marshall de la mezcla asfáltica convencional según su óptimo contenido de asfalto	101
Tabla 36. Resultados de diseño marshall de mezcla asfáltica modificada con polímero según investigaciones	102
Tabla 37. Comparación de variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con caucho	107
Tabla 38. Variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con polímeros	112

INDICE DE FIGURA

Figura 1. Ilustración esquemática de una refinería típica.....	22
Figura 2. Procesos de temperaturas de refinación	23
Figura 3. Requerimientos para el agregado grueso	26
Figura 4. Requerimiento para el agregado fino de la mezcla	27
Figura 5. Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	31
Figura 6. Requisitos para mezclas de concreto bituminoso	32
Figura 7. Requisitos de adherencia.....	33
Figura 8. Vacíos mínimos en el agregado mineral (vma).....	33
Figura 9. Requisitos para mezclas de concreto bituminoso - parametros de diseño marshall	39
Figura 10. Esquema del vma	37
Figura 11. Sección transversal del neumático	47
Figura 12. Grano de caucho reciclado.....	50
Figura 13. Composición interna de llantas	52
Figura 14. Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda	58
Figura 15. Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía seca ..	59
Figura 16. Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto	67
Figura 17. Tabla de criterios de diseño marshall según el tráfico inducido	103
Figura 18. Grafico comparativo de contenido de asfalto optimo de las mezclas en las investigaciones	104
Figura 19. Grafico comparativo de densidad de las mezclas en las investigaciones	104
Figura 20. Grafico comparativo de la estabilidad de las mezclas en las investigaciones	105
Figura 21. Grafico comparativo de flujo de las mezclas en las investigaciones	105
Figura 22. Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas en las investigaciones	106
Figura 23. Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones	106

Figura 24. Grafico comparativo de contenido de asfalto optimo de las mezclas en las investigaciones	108
Figura 25. Grafico comparativo de densidad de las mezclas en las investigaciones	108
Figura 26. Grafico comparativo de la estabilidad de las mezclas en las investigaciones	109
Figura 27. Grafico comparativo de flujo de las mezclas en las investigaciones	110
Figura 28. Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas en las investigaciones	110
Figura 29. Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones	111
Figura 30. Grafico comparativo de contenido de asfalto de las mezclas modificadas en las investigaciones	112
Figura 31. Grafico comparativo de densidad de las mezclas modificadas en las investigaciones	113
Figura 32. Grafico comparativo de estabilidad de las mezclas modificadas en las investigaciones	114
Figura 33. Grafico comparativo de flujo de las mezclas modificadas en las investigaciones	114
Figura 34. Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas modificadas en las investigaciones	115
Figura 35. Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones	116

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con adición de caucho y polímeros, con el fin de avanzar en esta tecnología que se ha consolidado a nivel internacional desde hace muchos años, brindando soluciones a los problemas enfrentados por las empresas de asfalto en las carreteras actuales del Perú. Todos los datos obtenidos son bibliográficos, se analizan mezclas modificadas con adición de caucho y polímeros para conocer sus propiedades mecánicas que mejoran la mezcla asfáltica, luego se comparan diferentes ensayos, actualmente con caucho reciclado de llantas de la misma manera también se analizan ensayos con polímeros SBS, en el que se evalúan las propiedades mecánicas y/o comportamiento de las dos mezclas.

Los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en las propiedades mecánicas y el rendimiento de las mezclas de asfalto modificado con caucho y polímero, además, son económicamente más rentables a largo plazo ya que las llantas viejas se reciclan porque no hay necesidad de un mantenimiento temprano.

Palabras claves: Mezclas asfálticas modificadas, comportamiento mecánico, polímeros, caucho

ABSTRACT

This research was carried out with the aim of determining the mechanical properties of asphalt mixtures with the addition of rubber and polymers, in order to advance in this technology that has been consolidated internationally for many years, providing solutions to the problems faced by asphalt companies on the current roads of Peru. All the data obtained are bibliographic, modified mixtures with the addition of rubber and polymers are analyzed to know their mechanical properties that improve the asphalt mixture, then different tests are compared, currently with recycled tire rubber in the same way different tests with different polymers are also analyzed, in which the mechanical properties and / or behavior of the two mixtures are evaluated.

The results obtained show significant improvements in the mechanical properties and performance of mixtures of modified asphalt with rubber, in addition, they are economically more profitable in the long term since old tires are recycled because there is no need for early maintenance.

Keywords: Modified asphalt mixtures, mechanical behavior, polymers, rubber

INTRODUCCION

La presente investigación se enfocó en el tema de las mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y polímeros

En Perú, no se aplica la tecnología del asfalto modificada con caucho y con polímeros, eso se debe a que no existe una regulación con los parámetros de aplicación de esta tecnología. La importancia de implementar esta tecnología es mejorar los parámetros de la mezcla, además de que beneficiará al medio ambiente que las llantas de desecho encontradas en vertederos se reciclarán para tomar polvo de goma. Esta tesis tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica con adición de caucho y con polímeros.

Este estudio nos ayudará a conocer el comportamiento del asfalto cuando se modificó con caucho, basado en los resultados de las pruebas obtenidas durante en investigaciones a nivel nacional e internacional, esto servirá para incentivar el uso de esta tecnología en peruano.

En el Capítulo I, se explica la problemática que hay en las carreteras del Perú que es generado por los residuos de neumáticos que ya no sirven y el comportamiento tanto del caucho y de los polímeros. en el Capítulo II, presenta el desarrollo de un marco teórico en el que la investigación es relevante para el tema pertinente y la base teórica para comprender la investigación; en el Capítulo III, se presentan sus bases, estructura, hipótesis, así como definiciones de variables y sus operacionalización; el Capítulo IV, presenta la metodología utilizada en el desarrollo de la tesis así como las herramientas utilizadas para la recolección de los datos; en el capítulo V, se presenta analiza el diseño de las mezclas asfálticas así como los resultados de las pruebas, se analizan los resultados obtenidos de las investigaciones, así como el contraste de hipótesis. Finalmente, se añaden las conclusiones y recomendaciones centradas en los resultados obtenidos en el capítulo V.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

Los residuos de caucho son abundantes en la Tierra y su creciente producción y uso amenaza con contaminar todos los rincones del planeta ya que existen en la naturaleza desde hace mucho tiempo, causando daños en los ambientes costeros y marinos

La mezcla asfáltica modificada con caucho es una tecnología que se utiliza efectivamente en el asfalto de carreteras. La tecnología que utiliza consiste en agregar polímeros al asfalto convencional para mejorar sus propiedades mecánicas, como la estabilidad la fatiga y el flujo.

La idea de utilizar residuos de caucho para hacer mezclas bituminosas surge de la afinidad de los dos materiales, ya que los residuos de caucho y los polímeros se derivan del petróleo. El objetivo es aprovechar los residuos que al menos no cambien las propiedades físico – mecánicas de las mezclas asfálticas, pero si las cambian deben ser mejoradas. Además de brindar beneficios ambientales, estas mezclas de polímeros modificados contienen mejores propiedades técnicas y propiedades más duraderas, lo que puede minimizar los esfuerzos de mantenimiento de las carreteras.

Las necesidades y requisitos de las ciudades modernas aseguran que la tecnología de construcción de carreteras existentes satisfaga las necesidades de los usuarios. Hoy en día, los productos asfálticos han experimentado un gran desarrollo. Están disponibles nuevas emulsiones asfálticas. Los productos desarrollados se obtienen a través de varios experimentos en diferentes materiales que preparan el asfalto.

El uso de polímeros y caucho en la preparación de las mezclas asfálticas se remota más de entre los países tecnológicamente más avanzados en medio siglo, han demostrado el interés en comprender el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímero y caucho, probado por pruebas de laboratorio.

En comparación con las mezclas asfálticas tradicionales, las mezclas asfálticas modificadas muestran mejores resultados en términos de estabilidad, fatiga y fluidez.

Este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar y comparar diversos ensayos de mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y polímeros para su aplicación en la ingeniería de pavimentos y abordar redes viarias utilizando estos polímeros en ligantes bituminosos, al mismo tiempo que aporta soluciones ambientales para la gestión de desechos tales como el caucho. (Aicama, 2017)

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿Cuál es la propiedad mecánica de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho?
- b) ¿Cuál es la propiedad mecánica de las mezclas asfálticas modificadas con adición de polímeros?
- c) ¿Cuál es la diferencia con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con caucho y con polímeros?

1.3. Importancia y justificación del estudio

1.3.1. Justificación

La investigación se justificará mediante un estudio bibliográfico probando mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y polímeros que recabará información sobre la presencia de carreteras peruanas y extranjeras en las diferentes regiones donde se aplica la tecnología, lo que nos permitirá fundamentar los beneficios de su aplicación

1.3.2. Importancia

La importancia de esta investigación es promover la aplicación de mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y polímeros como una alternativa de solución en carreteras del Perú y del extranjero, ya que actualmente se utilizan mezclas asfálticas convencionales debido a las altas temperaturas que afectan su vida útil de diseño. La tecnología está diseñada para mejorar la calidad de las carreteras, reducir los costos a largo plazo al evitar el mantenimiento prematuro y

brindar seguridad a los ciudadanos para prevenir accidentes y mantener el tráfico fluido

1.4. Delimitación del estudio

1.4.1. Temporal

Esta encuesta se centrará en una recopilación bibliográfica de encuestas en papel relacionadas con el tema del uso de caucho y asfalto modificados con polímeros entre el 2015 al 2022.

1.4.2. Espacial

La investigación se desarrollará en los distritos de Villa María del Triunfo y Ate, en la provincia de Lima, en mayo y diciembre del 2022. Entre ellos nos enfocaremos en la modificación de cauchos y polímeros para diferentes investigaciones relacionadas con el tema de las mezclas asfálticas.

1.4.3. Temática

El estudio incluirá una recopilación de información bibliográfica sobre los últimos estudios comparativos (propiedades mecánicas, características y análisis) sobre mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y mezclas asfálticas modificadas con adición de polímeros.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

Determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho
- b) Analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de polímeros
- c) Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio de investigación

2.1.1. Marco histórico del caucho

En cuanto al uso del caucho en pavimentos flexibles, tiene dos usos, como modificador de ligantes asfálticos o como modificador de mezclas asfálticas, por así decirlo, el primer caso se denomina proceso de vía húmeda, y el segundo caso se denomina proceso de vía seca.

El manejo y uso del polvo de caucho como modificador del asfalto que viene de llantas de desechadas, fue implementado y popularizado por Charles McDonald en la década del 60 para el tratamiento de baches y tratamiento de superficies. En los años setenta este modificador se utilizó en toda Europa, inicialmente en Francia y Bélgica.

Así mismo, en España, especialmente en Barcelona, en 1974, el ingeniero Juan Gallego Medina popularizo el uso de este material gracias a sus investigaciones desde 1990. Así mismo, existe experiencia con el caucho en América Latina, principalmente en Colombia y México. Así mismo, existen tramos de prueba en la región de Brasil, así como en Argentina a fines del 2002 y en Chile desde 2004. (Ramírez, 2006).

En 1997, ASTM (Asociación Americana para el Ensayo de Materiales en español) desarrollo especificaciones para el asfalto modificado con caucho a través de las normas ASTM D6114 y ASTM D8. Además, en México desarrollan y gestionan mediante la estandarización N-CMT-4-05-002-06. En Madrid, en cambio, el uso de polvo de caucho es obligatorio en las carreteras desde 2007, apoyándose en la estudiante con doctorado en la Universidad Politécnica de Madrid Ingeniería civil, que gana el Premio de Diseño y Desarrollo poco después Temperatura de la mezcla asfáltica Modificada con polvo de caucho Neumáticos usados en los II Premios a Innovación diversas infraestructuras. (Macedo y Ureta, 2020).

(Rubber Pavement Association., 2016). Por su parte la RPA (Asociación de los Pavimentos de Caucho) confino que el asfalto modificado comenzó a usarse en 40 estados de los Estados Unidos y desde 1940 se ha utilizado en más de 25 países de todo el mundo. Todo esto muestra que el caucho como los modificadores del

asfalto se convierten en una tecnología con el tiempo RPA también se fue fortaleciendo y muestra que en los Estados Unidos ha alcanzado a reciclar cerca de 10 millones de llantas para desarrollo y construcción de la carretera asfaltada.

Finalmente, en cuanto al proceso de incorporación del caucho, el único propósito es la reacción entre el material modificado (caucho) y el ligante (asfalto), la digestión del asfalto y el caucho, lo que requiere alta temperatura y suficiente tiempo de digestión.

2.1.2. Marco histórico de los polímeros

Hay un problema en el Perú, aunque hace muchos años que no se soluciona, y es mejorar la tecnología de las mezclas asfálticas para asegurar su vida útil en cualquier parte del país, es bien sabido que, por la geografía peruana del territorio, en la sierra, selva y otras zonas de alta temperatura, y unos 3.000 km de zonas costeras. En la costa del Pacífico, especialmente en cálidas, las temperaturas ascienden a los 40°C a la sombra. Esto da como resultado que las mezclas asfálticas estén sujetas a temperaturas muy altas, haciéndolas susceptibles a fallar debido a la deformación permanente producida por la sensibilidad térmica del asfalto. (Huamán y Chang, 2015, págs. 29-30).

(Fonseca, 2002)

Los ligantes bituminosos tradicionales resisten los efectos del clima y el tráfico. Sin embargo, el aumento continuo de la tensión debido a más carga axial, mayor presión de corte, mayor velocidad, etc. Es necesario para la preparación de mezclas asfálticas, un ligante con las mejores propiedades reológicas y mecánicas. La modificación del asfalto con una combinación de polímeros produce un ligante con excepcionales propiedades elásticas, adherentes y a un costo competitivo.

(Canevarolo, 2006)

La palabra polímero proviene del griego poli (mucho) y mers (unidad de repetición). Por lo tanto, un polímero es una macromolécula que consta de una serie de (Decenas de miles). las unidades repetitivas se denominan monómeros, unidas por un enlace covalente. Las materias primas para la producción de polímeros son monómeros, es decir, molécula con una repetición (mono funcional). Dependiendo del tipo de monómero (estructura química), el número promedio de monómeros

por cadena y el tipo de enlace covalente, se puede dividir. los polímeros en tres capas principales: plástico, caucho y fibra.

(Figueroa, Reyes, Hernández, Jiménez y Bohorquez, 2007)

El uso de asfaltos modificados con polímeros permite obtener mezclas asfálticas que tiene mayor resistencia y soporta las cargas de tráfico. La tecnología de asfalto modificado se ha utilizado durante varios años en diversos países del mundo. Al usar uno de estos modificadores afirma ser resistente al envejecimiento, los efectos del agua y en general a las condiciones climáticas, buscar una mejor adherencia pétreo, propiedades elásticas, viscosidad y en general con estas condiciones, el compuesto tiene una mayor resistencia a la deformación y fatiga.

(Victoria, Ortiz, Avalos y Castañeda, 2015)

En su estudio bibliográfico muestra algunos desarrollos en polímeros alrededor del mundo, comenzando en la década de 1930 cuando comenzaron a implementarse proyectos probado en Europa, y en la década de 1950 el neopreno comenzó a usarse en América del norte. A fines de la década de 1970, Europa superó a los Estados Unidos. Estados Unidos con respecto al uso de asfalto modificado con polímeros, porque Los contratistas europeos han proporcionado garantías y están interesados en reducir costo. Alto costo de producción de asfalto modificado con polímeros restringir su uso en los Estados Unidos. A mediados de la década de 1980, Se han desarrollado nuevos polímeros y tecnologías europeas comenzó a usarse en los Estados Unidos.

Se ha realizado uno de los trabajos más completos sobre asfaltos modificados por Collins en 1991, que puede resultar eficaz para mejorar propiedades del asfalto tras su modificación, a bajas y altas temperaturas. La formación de la estructura de la red es muy importante y es determinado por las características del asfalto, el tipo de polímero y concentración de polímero. Para estudiar esta estructura, utilizaron Microscopía electrónica de barrido y transmisión.

En un estudio realizado para el Departamento de Transporte de Ohio en 2001, Sargand y Kim compararon la fatiga y la resistencia a la fractura de 3 aglutinante, uno sin modificar, uno modificado con SBS y uno modificado con SBR. Descubrieron que los aglutinantes modificados eran más fuertes, tanto la fatiga

como la rotura, en comparación con el no modificado, aunque los tres tienen el mismo nivel de actividad.

En 2002, en Taiwán, los investigadores Chen, Lao y Tsai realizaron pruebas reológicas y microscopía electrónica de barrido para evaluar las interacciones existentes entre el asfalto y el SBS mediante monitorear los cambios en la microestructura de la mezcla. Encontraron que SBS mejora las propiedades reológicas porque forma una estructura similar a una red en el libro de trabajo. A bajas concentraciones, SBS se comporta como un polímero disperso y no tiene un efecto significativo sobre los activos; demasiada alta concentración de SBS, comienzan a formarse estructuras en forma de red, observó un aumento en el punto de reblandecimiento y dureza mixta.

Tayfur en compañía de sus colaboradores realizaron un estudio en 2007 para evaluar las propiedades mecánicas de la mezcla se controlan y ajustan. Utilizaron cinco aditivos diferentes: poliolefinas amorfas, fibras de celulosa, celulosa mezclada con betún, poliolefina y copolímero de estireno-butadieno-estireno. Utilizando el estudio de Marshall, determinaron el contenido óptimo de asfalto para cada mezcla. realizaron pruebas de resistencia en tracción indirecta. Prueba de fluencia estática y prueba de fluencia repetida. Los resultados muestran que las mezclas se modifican con SBS exhibió mayor resistencia a la deformación permanente, y concluyó que tipo de modificador afecta significativamente el comportamiento de deformación permanente.

En Venezuela, Arias et al realizaron un estudio para modificar asfalto con SBS y azufre, obtenido con betún modificado uniforme y estable, con recuperación elástica (ASTM D608) del 80% y la viscosidad (ASTM D 02) es de 1670 cp. esto significa asfalto funcionamiento más resistente, capaz de disipar la energía generada por cargas elevadas y tráfico intenso, lo que da como resultado un pavimento más grande resistencia al hundimiento y resistencia a la fatiga.

En 2010 en India, los investigadores Anjankumatr y Veeraragavan describió y comparó el comportamiento mecánico de asfalto modificado con SBS y NR para resistir el comportamiento de La mezcla está hecha de un aglutinante no modificado. Según ellos estudiado, asfalto modificado usando SBS y NR,

reduciendo sensibilidad térmica del 10 y 9,8%, respectivamente, aunque sólo El asfalto modificado con SBS mejora la baja resistencia al agrietamiento la temperatura.

En 2013, investigadores turcos examinaron las propiedades reológicas y mecánica de ligantes asfálticos en caliente y asfaltos modificados mediante la adición de diferentes polímeros. El mayor se obtuvo con asfalto modificado con SBS, mientras que el valor de fluencia más bajo obtenido con asfalto modificado con Eva

(Bustos, Sosa, Rodríguez y Calderón, 2018)

El estireno-butadieno-estireno, conocido como SBS, es un copolímero de los más importantes y comúnmente utilizados en la modificación de carreteras asfaltadas en todo el mundo. Realizar la separación de sus componentes y Característicamente, se dice que el SBS consiste en estireno y butadieno. los Estireno con características duras y generalmente una fase dispersa proporciona resistencia a SBS, mientras que el butadieno tiene las características La suavidad contribuye a la elasticidad. Este polímero tiene una temperatura de fusión por encima de 300°C, lo que significa que el polímero no se derrite en No hay temperatura a la que se someta el ligante asfáltico carreteras, lo que puede conducir a problemas de producción. Además, estas y otras características lo convierten en un polímero tiene propiedades elásticas, necesarias para evitar el agrietamiento a bajas temperaturas con completo éxito. Esto permite a Sengoz B. et al clasificar Este copolímero es el más adecuado en la modificación del asfalto debido a ya que mejora el rendimiento a altas y bajas temperaturas. A pesar de las excelentes propiedades de este modificador, se ha informado que no responde completamente las propiedades requeridas del adhesivo modificado, por Utilizado en mezclas asfálticas para carreteras. Por ejemplo, Sengoz B. y otros han informado que la incorporación de SBS en el rango de 3-5% por causas masivas aumentar significativamente el punto de ablandamiento, lo que es favorable para sensibilidad reducida a la distorsión permanente a niveles altos temperatura, sin embargo, este

cambio ha reducido los valores de penetración, provocando figuración térmica a bajas temperaturas.

(León, Borja y Cárdenas, 2019)

Los polímeros EVA pertenecen a la clase de polímeros plastoméricos, alargarlos más allá del punto de fusión, no vuelve a su longitud original cuando está en reposo estrés, tiene deformación pseudoplástica con poca elasticidad. Por lo tanto, no son muy utilizados en la preparación de asfalto.

2.2 Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones Nacionales

(Ibañez, 2015)

Afirmó en su tesis titulada “ Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera chilete – Universidad Nacional de Cajamarca”, que realizar el proceso de ajuste de la mezcla asfáltica con polímeros para mejorar las características de la capa de desgaste asfáltica; El propósito de esto La tesis es desarrollar, a través de la experimentación, la combinación de asfalto Ordinario PEN 120/150 con polímeros y ácido polifosfórico, aumentar su utilidad, para ello es necesario disponer de algunos factores que afectan el pavimento, incluyendo factores Geografía y carga vehicular que soporta la vía Chilate-Cajamarca (p.130).

(Balbín y Enríquez, 2020)

Manifestó en su tesis titulada “Influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímeros en zonas cálidas del Perú – Universidad Ricardo Palma - Lima” debe conocerse comparando los resultados donde rendimiento de mezcla asfáltica ordinaria con mezcla asfáltica modificado con polímeros SBS, SBR y EVA. se aplicado en las carreteras del Perú, brindando soluciones, especialmente en las carreteras la temperatura. Además, muestran resultados rentables a largo plazo en aspecto económico ya que no requerirán mantenimiento previo a su uso diseño. (p.92).

(Infante y Vásquez, 2016)

En su tesis plantearon que: “Comparativo del Método Convencional y uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas – Universidad Señor de Sipán - Chiclayo”, realizar un análisis comparativo del comportamiento mecánico de mezclas convencionales y mezclas modificadas con polímeros EVA y SBS, para indicar si los polímeros mejoran las propiedades mecánicas del asfalto convencional. Se usó asfalto PEN 60/70 y agregados de la planta de asfalto "La Plume-Lambayeque". Se ha determinado la proporción óptima de asfalto normalmente para diseño mixto, sería 5% para Tráfico ligero y 5,3% tráfico pesado. También se han hecho combinados para encontrar la proporción óptima de polímero SBS, obtenga 5% para poco tráfico y 4% para tráfico pesado, y con polímero EVA, 4% para tráfico ligero y 3% para tráfico pesado. Finalmente, el análisis de costo unitario se realiza en la implementación de un proyecto, mostrando que no hay economía, Sin embargo, en este proceso se alarga la vida útil del pavimento. prevenir costos futuros en la etapa de operación y mantenimiento. (p. 17).

(Salcedo, 2008)

En su investigación de tesis afirma que: "Experiencia de Modificación de Cemento Asfáltico con Polímeros SBS en Obra – Universidad de Piura - Piura”, señaló que la necesidad de optimizar las inversiones, demanda de volumen e intensidad de las cargas de tráfico pasar por la carretera hace que la propiedad del asfalto normalmente es insuficiente y no cumple los plazos de servicio deseado. Por lo tanto, el uso de polímeros para la modificación del asfalto es importante porque mejora las propiedades y/o propiedades mecánicas de resistencia a la deformación ocurren debido a factores climáticos y de tráfico (ahuellamiento y fatiga, respectivamente). La investigación proporciona experiencia adquirida por el autor, durante la modificación de cemento bituminoso con Polímeros SBS in situ y su uso en la producción e instalación mezcla asfáltica en caliente durante la ejecución del proyecto "Mantenimiento Rutinario Autopista Sullana-Aguas Verdes", en 110 kilómetros de longitud.

(Maguiña, 2019)

Este trabajo de investigación “Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas – Universidad Ricardo Palma - Lima” nació de surgen problemas del reciclaje de llantas de desecho, y al mismo tiempo aumentar las propiedades mecánicas de la mezcla betún con la adición de gránulos de caucho usado, para lograr el resultado en la combinación antes mencionada, se realizaron pruebas del método Marshall, por proceso húmedo. El objetivo principal del estudio es porcentaje de caucho reciclado agregado al asfalto, con estos resultados se evaluará comparándolo con mezclas convencionales. Se realizaron pruebas en briquetas analizadas de acuerdo a los estándares que MTC establecido, dichas briquetas contienen como porcentaje de cemento asfáltico, áridos y gránulos de caucho. Los pasteles mencionados han sido probados en una prensa Marshall para obtener resultados. comprobar el porcentaje que se ha incorporado a la mezcla asfáltica vs normalmente. El autor concluye que, de acuerdo con los resultados de la prueba, Se demostró la mejora en el comportamiento físico-mecánico al combinarse gránulos de caucho a mezclas asfálticas ordinarias. Así que esto la adición aumenta el valor de la resistencia en términos de deformación plástica, esto se da para la recuperación de la fuerza de torsión elástica, cuyo valor es 37% más que el asfalto convencional sobre la recuperación Este modificador mejorará el rendimiento al trabajar a alta temperatura, aumentar el coeficiente de ablandamiento.

(Huamán y Huauya, 2020)

En su estudio indican que: "Cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica incorporando polímero (SBS) para el distrito de Villa El Salvador”, al hacer los cálculos para diseñar el pavimento asfáltico combinado Polímero SBS en las cercanías de Villa el Salvador-Lima, una de las conclusiones llega que la combinación de polímeros SBS proporciona coeficiente de fricción superficial, menos permanente y gran deformación tensión. Además, en cuanto a las propiedades de la mezcla betún con polímeros SBS utilizando el método Marshall, se ha comprobado que estabilidad y flujo son mejorados, por cierto, también lograron resultados mediante la aplicación de dos pruebas de rendimiento (Rueda

de Hamburgo) y vida a la fatiga, donde pueden determinar que el comportamiento y las características del asfalto modificado mejora significativamente a diferencia del asfalto normalmente.

2.2.2 Investigaciones Internacionales

(Aulestia V & Chávez R, 2017)

La tesis de investigación desarrollo los ensayos de laboratorio para las muestras que fueron elaboradas con una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con residuos de tapas plásticas de botellas, posteriormente evaluó y comparó los resultados que se obtuvieron en dichos ensayos.

Se mostró cifras relacionadas al reciclaje de materiales plásticos en Ecuador, además se mostrará brevemente problemas sociales que impiden implementar una cultura de reciclaje de residuos plásticos en el país.

Para su desarrollo se verifico la calidad de los agregados a utilizarse en los ensayos para la presente investigación, de los cuales se obtuvieron datos comparativos de las propiedades mecánicas tanto del asfalto como de los agregados, determinando si cumplían con los requisitos establecidos por la norma ASTM, INEN y AASHTO.

Se determinó las cantidades adecuadas de material para realizar una mezcla asfáltica en caliente, empezando por la granulometría de los agregados pétreos, posteriormente por el porcentaje requerido de material por cada tamiz, para concluir con la cantidad necesaria de asfalto, para preparar las briquetas de mezcla asfáltica.

Se estableció la mejor manera para realizar el método de mezcla para la modificación del pavimento con la cantidad adecuada de plástico, ya que este sustituirá al material pétreo, es de gran importancia, debido a que se trabajó con un material que presenta características diferentes a la de los agregados.

Se realizó una comparativa entre los resultados obtenidos en la investigación con respecto a una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con residuos de tapas plásticas de botellas.

(Guamanquispe Vaca, 2017)

Para este trabajo de investigación, donde se realizó una comparativa entre los diferentes ensayos realizados para una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica con diferentes cantidades y tamaños de fibra de caucho proveniente de caucho reciclado. En la presente investigación se realizaron 60 briquetas entre la convencionales y las modificadas, 15 briquetas con mezcla convencional y los porcentajes de asfalto fueron de 5% a 7% de toda la mezcla. Posteriormente se elaboraron briquetas reemplazando el cemento asfáltico en 1%, 1.5% y 2% por caucho reciclado.

Una vez realizado la preparación de las briquetas con los diferentes componentes se realizó el ensayo, donde los resultados obtenidos fueron comparados para determinar las diferencias entre las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, obteniendo como conclusión que las briquetas ensayadas con modificación de caucho presentan mejoramiento en las propiedades mecánicas con respecto a las mezclas convencionales.

(Angulo R. & Duarte A, 2005)

Este estudio se centró en la elaboración de asfalto modificado a partir del caucho reciclado de neumáticos (CRL) y propuso un esquema de aprovechamiento de los residuos sólidos obtenidos a partir de neumáticos usados para incidir sobre ellos y reflejarse en el asfalto, con el fin de sugerir alternativas de solución a los problemas identificados que se ven reflejados en la carpeta asfáltica. Los principales problemas que dañan el asfalto en las carreteras son el envejecimiento, la deformación permanente, el agrietamiento y el alto costo.

Las variables de proceso de temperatura de modificación, tiempo de modificación, tamaño de partícula de CRL y contenido de CRL (% en peso) en el asfalto se consideraron en la elaboración del asfalto modificado. Para determinar el asfalto modificado óptimo se establecieron dos parámetros aceptables: viscosidad dinámica y estabilidad al almacenamiento.

Fue optimizado por vía húmeda, cumpliendo con los parámetros de selección y mejorando algunas de las propiedades como la recuperación elástica a la torsión,

aumentando en un 100% y 300% para AMCA y AMC respectivamente, otorgando a estos asfaltos una alta resistencia a la deformación.

(Mailay. 2013)

El presente trabajo de investigación, fue realizado con el fin de mejorar las propiedades físico-mecánicas de las mezclas asfálticas mediante la incorporación del polímero Etileno Vinil Acetato (EVA) Se realizaron ensayos para caracterizar las propiedades de los materiales utilizados, de acuerdo a procedimientos y especificaciones indicados con su respectiva norma, se efectuaron ensayos sobre las mezclas convencional y modificada como son Marshall, Cántabro, Tensión indirecta y Módulo Dinámico Elástico, siendo este el más representativo de la investigación ya que mide las deformaciones de las mezclas a diferentes temperaturas mediante tecnología moderna COOPER TECHNOLOGY (CRTHYD25-II). Los resultados obtenidos muestran mejoras significativas en las propiedades de la mezcla asfáltica lo cual permitió concluir que la incorporación del polímero EVA dentro de una mezcla convencional le da características de durabilidad e incrementa sus propiedades físico-mecánicas para disminuir el deterioro y daños viales producidos por cargas de tráfico.

(Cárdenas R & Jara P, 2013)

El siguiente trabajo de investigación se hallaron y compararon las propiedades físico-mecánicas que presentó el cemento asfáltico al añadirle agentes modificadores tales como el polímero (caucho industrial) con respecto del asfalto convencional. Para determinar las propiedades físico-mecánicas del asfalto modificado que se comparó con respecto al asfalto 60-70 del CIB, partiendo de porcentajes de agente modificante del 4%,8% y 12%, se elaboraron ensayos de caracterización física, tomando en cuenta diversos requerimientos de la norma INVIAS, (Penetración, punto de ablandamiento, ductilidad y ensayo de película delgada)

Con la finalidad de realizar la comparación y elaborar la evaluación de la data, se hacen ensayos y toma de resultados expuestos en la investigación, referenciado en

las normas del Instituto Nacional de Vías (INVIAS), ente encargado de los parámetros generales para la construcción de vías en Colombia. Estos vienen a ser los ensayos y normatividad desarrollada según su descripción:

Penetración de Materiales Asfálticos I.N.V. E 706– 07; Es el método que nos da como resultado la dureza o consistencia del material asfáltico. Realiza mediante la penetración de una aguja normalizada de peso 100 g la que se introduce en el cemento asfáltico que está alojada en un recipiente a una temperatura aproximada de 25°C por un lapso de tiempo de 5 segundos, tomando como resultado la penetración de la aguja en unidades de 0.1 mm.

Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos I.N.V. E 712– 07; El ablandamiento de los materiales bituminosos no se desarrolla a una temperatura definida cualquiera, al contrario, presenta un cambio de manera gradual en la temperatura lo cual provoca que la consistencia varíe gradualmente, por lo tanto, cualquier temperatura que se adopte para empezar con la medición del punto de ablandamiento se puede realizar de forma arbitraria. El procedimiento más realizado en los laboratorios de materiales utilizados en carreteras se le llama como “método del anillo y la bola “y es aplicable a los materiales sólidos o Semisólidos.

Ductilidad de Materiales Asfálticos I.N.V. E 702– 07; La ductilidad es el resultado de cuánto se puede estirar una muestra de asfalto antes de llegar a la ruptura, el largo del hilo del material al momento de realizarse el corte se mide en centímetros y se le llama ductilidad de la muestra. Los asfaltos dúctiles presentan por lo general mejores propiedades de aglomeración. Por otro lado, los asfaltos con la ductilidad bastante alta son usualmente susceptibles a las variaciones de temperatura.

Ensayo de Película delgada en Horno (RTFO) I.N.V. E 702– 07; Este método da como resultado la interacción del efecto del calor y el aire sobre una película de materiales asfálticos semisólidos. Los efectos del proceso se realizan en base a la medición de ciertas propiedades específicas del asfalto antes y después del ensayo, con la finalidad de obtener la pérdida de masa que presenta el material al ser sometido al envejecimiento. Determinando así una evaluación metodológica en la elaboración de cada una de los ensayos realizados en el laboratorio, acatando

parámetros necesarios, se determinará el análisis cualitativo y cuantitativo de cada resultado obtenido.

(Romero F)

El objetivo principal del proyecto de investigación es evaluar y hacer la comparación del comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificadas respecto a una mezcla asfáltica convencional, los agentes modificadores seleccionados son de origen plástico como el elastómero (caucho) recolectado de neumáticos que ya no estaban en uso y tereftalato de polietileno (PET) elegido de botellas de plástico recicladas con la finalidad de desarrollar una propuesta de aplicación de estos materiales que perjudican mediante la contaminación al ambiente, debido a que su biodegradación se lleva a cabo a los 500 años. La granulometría que se utilizó corresponde a la Mezcla Asfáltica Normal MAC-2 seleccionada por la Norma Ecuatoriana Vial NEVI-12 para un material pétreo de tamaño máximo nominal $\frac{3}{4}$ ". La investigación en laboratorio consta de la caracterización de los materiales que se van a utilizar como el agregado, cemento asfáltico, elastómero y PET, siguiente a eso se realiza la elaboración y ensayo de estabilidad y flujo de briquetas desarrollando el Método Marshall, inicialmente para desarrollar el porcentaje óptimo de asfalto de la mezcla inicial y luego la aplicación de materiales modificantes en porcentajes variables, con lo que se determina el porcentaje óptimo elastómero y el porcentaje óptimo de la combinación 50% de elastómero y 50% de PET, por último se llega a evaluar el comportamiento de las mezclas diseñadas al ser expuestas a cambios bruscos de temperatura en un ensayo de choque térmico.

(Acosta M & Herrera L, 2016)

El objetivo del trabajo de investigación fue elaborar un análisis técnico-económico de la utilización de polímeros tipo III y cómo influye en la durabilidad y el comportamiento de las mezclas asfálticas (MDC-19), con la finalidad de corroborar la viabilidad del uso de este tipo de mezclas en zonas calientes, explicando desde los conceptos más básicos de este tipo de mezclas, mostrando las ventajas y desventajas que se presentan con la incorporación de estos productos,

así también de exponer los procesos adecuados para lograr la estabilidad los asfaltos en fabrica, el procedimiento de su instalación y la compactación en las vías, debido a que al modificar el asfalto se implementaría una nueva técnica utilizada en Colombia para el uso eficiente de asfaltos en la pavimentación de vías y aeropuertos.

El trabajo de investigación nos dio como resultado que la disolución o incorporación de polímeros en los asfaltos mejora las propiedades físicas y reológicas de los asfaltos convencionales, y su objetivo principal es obtener ligantes mucho más viscosos a elevadas temperaturas y así disminuir las deformaciones permanentes de las mezclas asfálticas que conforman las capas o superficie de rodadura, elevando la rigidez. Además debemos considerar que los costos de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros llegan a ser altos en cuanto a la inversión inicial, no obstante, si realizamos un análisis del costo a largo plazo (es decir, la vida útil de la vía); llegamos a la conclusión de que los elevados costos iniciales compensan por un menor mantenimiento a futuro y una larga vida útil de los pavimentos, los cuales presentan un lugar muy importante en la infraestructura vial porque aportan en gran parte a la prosperidad del país. y el alargamiento de la vida de servicio de los pavimentos, los cuales desarrollan una actividad muy importante dentro de la infraestructura vial, ya que aportan muchísimo al desarrollo del país.

2.3 Estructura teórica

2.3.1. Pavimento

El pavimento es una estructura constituida por una o más capas superpuestas entre sí, diseñadas y construidas con óptimos materiales, la principal función del pavimento es permitir el tránsito de los vehículos por una vía de circulación de forma segura, rápida y con la mejor comodidad para los usuarios. Así también el pavimento debe ser resistente a la acción del tránsito, clima y de las cargas producidas, las cuales al ser transmitidas al suelo de apoyo en esfuerzos inferiores a su capacidad de soporte. (Villafana y Ramírez, 2019)

Pavimento flexible

Es un tipo de pavimento que está compuesto en lo general por tres capas, una carpeta asfáltica superior y dos capas inferiores que son la base y sub base, las cuales están conformadas por materiales granulares. El comportamiento flexible se lo otorga la presencia del asfalto, ya que al tener una contextura visco elástica y al estar sometido a cargas sufre una deformación y logran recuperar su estado normal al culminar la carga, comportamiento completamente elástico. (Villafana y Ramírez, 2019)

Componentes estructurales de un pavimento flexible

Los pavimentos flexibles por lo general están conformados por un paquete estructural no rígido, cuales componentes se definen de la siguiente manera:

a) Sub rasante

La sub rasante viene a ser la superficie final del movimiento de tierras (corte y relleno), sobre ella se alojará la carpeta asfáltica o afirmado. Está constituida por materiales seleccionados con características aceptables y su ejecución se realiza por niveles compactados para conformar una sola estructura estable en óptimas condiciones, para que no se vea perjudicado por la carga que llega del pasar de los vehículos.

b) Sub base

Es aquel elemento de materiales granulares obtenidos de forma natural o derivado de canteras o diversas fuentes, conformando el paquete estructural, se desarrolla como nivel de transición entre la base y la sub rasante. De igual manera, actúa como límite de la base procurando que los finos de la sub rasante no formen parte de la base. Su función estructural es repartir adecuadamente los esfuerzos que ocasionan la carga de vehículos hacia la sub rasante. También, actúa como filtro de agua, impidiendo la subida capilar hacia la estructura del pavimento.

c) base

Es una capa de material granular que se obtiene de forma natural o derivada de cantera o diversas fuentes. Puede estar compuesta con algún tipo de

estabilizador o ligante debidamente aprobado. Su requerimiento principal es garantizar un elemento resistente que transmita a la sub base y a la sub rasante los esfuerzos generados por la carga del tránsito de vehículos.

d) Carpeta asfáltica

Es la capa final por donde pasaran los vehículos, es decir, la superficie de rodadura, estable conforme al tránsito, con rugosidad y color favorable al producto del aglomerante. Su función principal es soportar y transmitir los esfuerzos tensionales debido a las cargas de los vehículos. Debe presentar condiciones de seguridad y confort al tránsito de los vehículos. Así mismo, trabaja como impermeabilizante, impidiendo el curso de agua hacia partes inferiores del pavimento. (REYSON AMADEO, 2020)

Funciones de las capas de un pavimento flexible

Las principales funciones que debe desarrollar un pavimento flexible son:

a) Estructural

Las capas del pavimento deben estar diseñadas y construidas para poder soportar la fatiga y la suma de deformaciones permanentes producidas por cargas cíclicas de los vehículos que transitan de manera continua.

b) Funcional

Son capas que reciben directamente las cargas inducidas por los vehículos que transitan en la superficie del pavimento, entonces deberá tener un diseño y elaboración que permita un tránsito cómodo y seguro durante su vida útil para el parque automotor.

c) Impermeabilizante

Es la parte en que la capa impide el paso del agua a capas inferiores, evitando de esta manera que la resistencia al corte de las capas granulares disminuya (base y sub base), así no se incrementara el grado de saturación de dichas capas (CONTRERAS & ZUÑIGA)

Características que debe reunir un pavimento flexible.

Un pavimento flexible para que pueda desarrollar adecuadamente sus funciones debe tener los siguientes requisitos:

- a) Presentar resistencia a las cargas inducidas por el tránsito.
- b) Presentar resistencia a los agentes de la intemperie.
- c) Presentar una superficie de rodadura con textura compatible a las velocidades previstas de los vehículos, ya que tiene una influencia en la seguridad vial. Así mismo debe ser resistente al desgaste por la abrasión de las llantas de los vehículos.
- d) Presentar una regularidad en la superficie, de manera transversal como longitudinal, lo cual permitirá una adecuada comodidad en los usuarios.
- e) Debe cumplir con su tiempo de vida útil.
- f) Tener un buen drenaje
- g) El ruido de rodadura debe ser moderado, tanto para el usuario en el interior del vehículo, como también para el exterior.
- h) Debe resultar económico.
- i) Tener un color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos que pueden afectar en la seguridad del tránsito. (ALARCON & CARDENAS, 2021)

2.3.2. Asfalto

El asfalto es un material que puede ser encontrado de manera natural en yacimientos naturales o a través de la destilación del crudo de petróleo. Cuando se logra calentar lo suficiente, el asfalto se vuelve blando y líquido.

El asfalto tiene las características de ser altamente impermeabilizante, adherente y cohesivo, puede resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes.

En la composición química del asfalto se encuentra varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrogeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, al diluirse en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfáltenos y máltenos. (MAILA PAUCAR, 2013)

2.3.3. Cemento asfáltico de petróleo (CAP)

El asfalto es de color negro, cementante, su consistencia puede variar, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Al ser calentado lo suficiente, el asfalto toma una contextura blanda y se vuelve líquido, lo cual nos permite tener mayor facilidad para poder mezclar las partículas de agregados en la elaboración de mezclas asfálticas.

En su mayoría el asfalto usado en los Estados Unidos es elaborado por refinerías modernas de petróleo y es denominado asfalto de petróleo. El nivel de control permitido por los equipos modernos de refinería brinda la producción de asfaltos con características diferentes, los cuales se aprovechan para usos específicos. Con lo cual se logra producir, asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

El asfalto que se utiliza en pavimentación, usualmente llamado cemento asfáltico, es un material de característica viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere a las partículas de agregado es mucho más fácil y, por lo tanto, es un excelente ligante para adherir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico resulta ser un muy buen impermeabilizante y no se ve afectado por ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico. El asfalto no es el mismo cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil, y también pierde parte de su capacidad de adherencia a las partículas de los agregados. Estos cambios pueden ser controlados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos. (ALARCON & CARDENAS, 2021)

Origen del cemento asfáltico de petróleo (CAP)

El crudo de petróleo se refina a través de la destilación del mismo. Es un proceso por el cual las diferentes fracciones van a ser separadas fuera del crudo mediante de un aumento, en etapas, de la temperatura. Como puede verse en la Figura N° 1, las diferentes fracciones se separan a diferentes temperaturas. Las fracciones ligeras se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, pueden ser separados solamente mediante un proceso combinación de calor y vacío. Como se indica en la Figura N° 2, el asfalto se produce usando destilación por vacío a temperaturas aproximadas de 480°C (900°F). Estas temperaturas pueden variar, dependiendo del crudo de petróleo que vaya ser refinando, o del tipo de grado de asfalto que se desee elaborar.

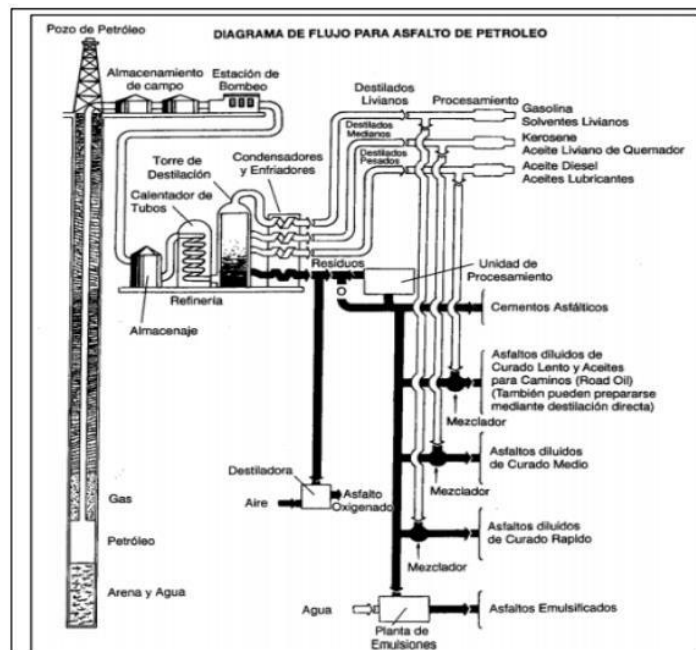


Figura 1: Ilustración esquemática de una refinería típica

Fuente: Influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímeros en zonas cálidas de Perú (2020)

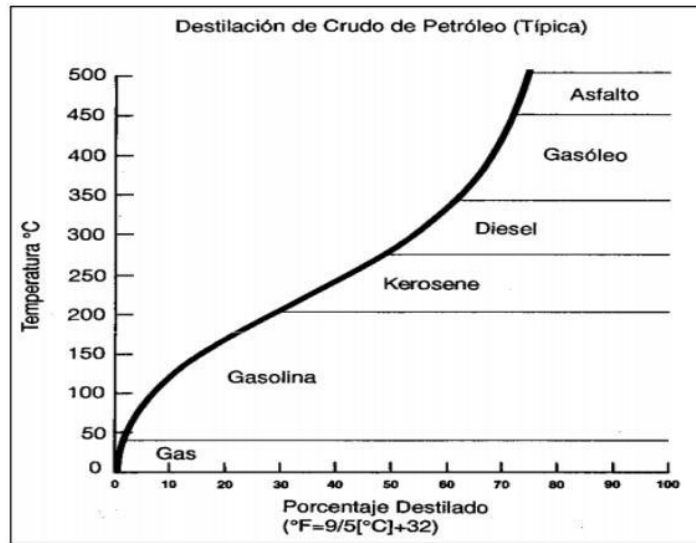


Figura 2: Procesos de temperaturas de refinación

Fuente: Influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímeros en zonas cálidas de Perú (2020)

2.3.4. Mezclas asfálticas en caliente (MAC)

Es la combinación de asfalto y agregados, incluyendo el filler y agregado mineral. Dependiendo los requerimientos se le puede añadir aditivos, con el fin de cubrir en su totalidad todos los agregados que la conforman. Esta combinación se elabora en proporciones exactas para garantizar las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla y su desempeño como pavimento.

Hay métodos que determinan las proporciones necesarias de agregados y asfalto para la elaboración de una mezcla, una de ellas es el método Marshall el cual se usa en diseño de mezclas asfálticas en caliente y el método Hveem. Para la presente investigación solo emplearemos el método Marshall y parámetros (Huari Quispe, 2020)

2.3.5. Composición de las mezclas asfálticas en caliente

Básicamente una mezcla asfáltica se compone del ligante asfáltico o cemento asfáltico, agregados y finalmente está el porcentaje de vacíos o espacios de aire.

Ligante asfáltico

Es el componente bituminoso en la mezcla asfáltica, se puede obtener de la refinación de petróleo o de manera natural, posee características aglomerante,

viscosa y oscura, en tonalidades de negro, por lo general se utilizan para construcciones de pavimentos.

Propiedades Químicas

Los hidrocarburos dentro de un asfalto, está constituido por una parte líquida donde se encuentran moléculas pesadas de dichos hidrocarburos que son los asfáltenos, los cuales existen dispersas dentro del medio aceitoso mayormente ligeros, los que se encuentran en el medio aceitoso son los máltenos, su composición está dada por los hidrocarburos saturados, aromático y la resina, todo aquello sin alguna separación en las fases, lo que evidencia que existe una transición.

Los ligantes asfálticos están compuestos de moléculas de hidrocarburo, estas son los elementos a continuación:

Asfáltenos: Elemento sólido y amorfo de textura negra o café, esta entre un rango de 5% a 25% del ligante, se caracteriza por su alto peso que posee y la alta polaridad. La estructura molecular del asfálteno dependerá de donde provenga el crudo de petróleo, debido a que dicha estructura afecta directamente a la dureza que tenga dicho ligante en cuestión.

Máltenos: Elemento que junta la parte de resinas, aromáticas y saturados.

Aromáticos: Compuesto líquido y viscoso de textura negra o café intenso, la cual tiene la mayor dispersión en el medio de los asfáltenos, está en un rango de 40% a 60% del ligante asfáltico.

Resinas: Elemento sólido o semisólido, presenta un nivel alto de polaridad, actuando como dispersor en los asfáltenos.

Saturados: Elemento aceitoso no polar y viscoso de color blanco intenso, lo constituyen cadenas abiertas de hidrocarburos en un rango de 5% a 20% del ligante asfáltico.

Propiedades físicas

Las principales propiedades físicas que las mezclas asfálticas presentan son:

Susceptibilidad térmica: viene a ser la sensibilidad que tiene el ligante a la variación de temperatura, lo que estará influenciando en su rigidez.

Durabilidad: Es la capacidad que presenta el pavimento para mantener sus características originales, cuando ya haya estado expuesto al envejecimiento y degradación.

Cohesión de la mezcla: viene a ser la capacidad de aglomerar y adherir los agregados con el ligante de forma permanente, incluso ante la exposición de agua, cambios en la temperatura y la acción de cargas vehiculares.

Flexibilidad: capacidad que presentan las mezclas asfálticas a deformarse y recuperar su estado original, por la acción de cargas permanente, sin afectar a la base y sub base.

Susceptibilidad a cargas: gracias a ser un material visco elástico, tiene la capacidad de soportar grandes esfuerzos repentinos, así mismo tiende a fluir ante la presencia de cargas permanentes.

2.3.6. Materiales de las mezclas asfálticas en caliente

Basándose en lo que manda el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, fundamenta la realización de una mezcla asfáltica en caliente, así mismo la colocación por capas en una superficie debidamente preparada.

Agregados minerales gruesos

El agregado mineral grueso deberá cumplir obligatoriamente con lo expuesto en el EG-2013, la cual encontramos de forma detallada en la siguiente tabla 403.B - 01.

Tabla 403.B-01
Requerimientos para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3.000	> 3.000
Durabilidad	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	-
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1,0% máx.	1,0% máx.
Arcilla en terrones y partículas	MTC E 212	0% máx.	0% máx.
Soft partícles	ASTM C 235	5% máx.	5% máx.
Adherencia	ASTM D 3625	>95 %	>95 %

*Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02.
- La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas.

(1) A partir de una altitud A ≥ 3.000 m.s.n.m. debe considerarse el ensayo de durabilidad.

Figura 3: Requerimientos para el agregado grueso

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013.

Agregados minerales finos

El agregado mineral fino tiene que contar obligatoriamente con los requisitos de la EG-2013, la cual se detalla en la siguiente tabla 403.B -02.

Tabla 403.B-02
Requerimientos para los agregados finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASTHO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad	MTC E 209	18 máx.	18% máx.
Índice de Durabilidad (1)	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Adherencia Riedel Weber	MTC E 220	>4 %	>4 %
Absorción* *	MTC E 205	0,5% máx.	0,5% máx.

**Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores sólo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.

- La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02.

(1) A partir de una altitud A ≥ 3.000 m.s.n.m. debe considerarse el ensayo de durabilidad.

Figura 4: Requerimiento para el agregado fino de la mezcla

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013.

Gradación para mezclas asfálticas en caliente

La gradación para las mezclas asfálticas calientes, deberá cumplir y garantizar a uno de los husos granulométricos, los cuales se detallan en la EG-2013, como una alternativa se tiene las especificaciones de la ASTM D 3515 tabla 2 las que también pueden ser empleadas.

Tabla 1

Gradación para las mezclas asfálticas en caliente.

TAMIZ	pulgadas	Porcentaje que Pasa %		
		MAC - 1	MAC - 2	MAC - 3
25 mm	1	100		
19 mm	3/4	80-100	100	
12.5 mm	1/2	67-85	80-100	
9.5 mm	3/8	60-77	70-88	100
4.75 mm	N°4	43-54	51-68	65-87
2.00 mm	N°10	29-45	38-52	43-61
425 µm	N°40	14-25	17-28	16-29
180 µm	N°80	8-17	8-17	9-19
75 µm	N°200	4-8	4-8	5-10

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013

Tabla 2

Especificaciones para la gradación cerrada - ASTM D3515

		Mezclas cerradas								
		tamaño máximo nominal del agregado								
		2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16
Abertura de malla (pulg)	mm	50	37.5	25.0	19.0	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
2 1/2"	63	100								
2"	50	90-100	100							
1 1/2"	37.5		90-100	100						
1"	25	60-80		90-100	100					
3/4"	19		56-80		90-100	100				
1/2"	12.5	35-65				90-100	100			
3/8"	9.5				56-80		90-100	100		
N°4	4.75	17-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100		100
N°8	2.36	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100		95-100
N°16	1.18							40-80		85-100
N°30	600 μm							35-65		70-95
N°50	300 μm	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40		45-75
N°100	150 μm							3-20		20-40
N°200	75 μm	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10		9-20

Fuente: Elaboración propia

2.3.7. Cemento asfáltico

Material que tendrá que presentar los requisitos expuestos en la EG-2013, los cuales están basados en la temperatura y el clima de las zonas, como se logra mostrar en la siguiente tabla 3.

Tabla 3

Selección del tipo de cemento asfáltico.

Temperatura Media Anual			
24°C o mas	24°C - 15°C	15°C - 5°C	menos de 5°C
40 - 50		85 - 100	Asfalto
60 - 70	60 - 70	120 -150	modificado

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG- 2013

De igual manera tiene que tener los requisitos para la calidad del cemento asfáltico, que se puede observar en la tabla 415 - 02 obtenida en la EG-2013.

Tabla 415-02
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo	Grado	Ensayo	Grado Penetración											
			PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300			
			min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx		
Pruebas sobre el Material Bituminoso														
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm		MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300		
Punto de inflamación, °C		MTC E 312	232		232		232		218		177			
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm		MTC E 306	100		100		100		100		100			
Solubilidad en Tricloro-etileno, %		MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0			
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾		MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1		
Ensayo de la Mancha (Ollensies) ⁽²⁾														
Solvente Nafta – Estándar			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno			Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h														
Pérdida de masa, %		ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5		
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %		MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+			
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾		MTC E 306			50		75		100		100			

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.
(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Figura 5: Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción EG-2013

2.3.8. Requisitos de las mezclas asfálticas en caliente

El nivel de calidad que se exige como característica de las mezclas asfálticas tiene que basarse a las exigencias que expone y señala la EG-2013 para un concreto bituminoso, dependiendo el tipo de mezcla que corresponde a un diseño, tales exigencias se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 423-06
Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.
El Índice de Compactabilidad se define como: $\frac{1}{GEB\ 50 - GEB\ 5}$

Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Figura 6: Requisitos para mezclas de concreto bituminoso

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG-2013

Por otra parte, la EG-2013 no presenta un ajuste cuando se trabaja para el diseño de una mezcla modificada, esto debido que al usar un agente modificante en las mezclas asfálticas nos obtenemos resultados altos de estabilidad, por lo tanto, la relación estabilidad-flujo tiende a ser elevado, con lo que estos resultados estarán muy por encima de los rangos establecidos en la aceptación para aun diseño de mezcla convencional, debido a esto se necesita elaborar el diseño con otras especificaciones de requisitos mínimos indispensables para las mezclas asfálticas, así como las especificaciones generales para las mezclas convencionales y modificadas presentadas del Instituto del asfalto de 1982.

Entonces, expresado lo anterior se expone los requerimientos para una mezcla asfáltica modificada con caucho de neumático de acuerdo a las exigencias del Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22 del Instituto del Asfalto.

Tabla 423-07
Requisitos de adherencia

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

* mayor a 3000 msnm y zonas húmedas ó lluviosas
** grado inicial de desprendimiento

Figura 7: Requisitos de adherencia

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG-2013

Tabla 423-08
Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm (N.º 8)	21	-
4,75 mm (N.º 4)	18	-
9,50 mm (3/8")	16	15
12,5 mm (½")	15	14
19,0 mm (¾")	14	13
25,0 mm (1")	13	12
37,5 mm (1 ½")	12	11
50,0 mm (2")	11,5	10,5

Nota: Los valores de esta tabla serán seleccionados de acuerdo al tamaño máximo de las mezclas que se dan en la Subsección 423.02(c). Las tolerancias serán definidas puntualmente en función de las propiedades de los agregados.

Figura 8: Vacíos mínimos en el agregado mineral (VMA)

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG-2013

Finalmente, para la elección de un diseño de mezcla asfáltica, el Manual del Instituto del Asfalto exige que el diseño seleccionado para ser utilizado en un pavimento, por lo general, es el que llega a satisfacer de forma muy económica con todos los diferentes criterios que se establecieron. De esta forma, no deberá realizarse el diseño de mezcla con el fin de optimizar una propiedad o característica en particular. Por ejemplo, una mezcla con altos valores de estabilidad, por lo general son poco deseables, debido a que los pavimentos de este tipo de mezcla tienden a durar poco tiempo, presentando grietas prematuramente con un flujo grande de vehículos. Por lo tanto, algún cambio o variación en los principios para el diseño tendrán que ser únicamente aceptados bajo circunstancias poco frecuentes, caso contrario que el comportamiento en servicio de una mezcla asfáltica en particular muestre que la solución resulte ser satisfactoria.

2.3.9. Parámetros Diseño Marshall de las mezclas asfálticas en caliente

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75	50	35
2. Estabilidad (mínimo)	8,15 kN	5,44 kN	4,53 kN
3. Flujo 0,01" (0,25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3-5	3-5	3-5
5. Vacíos en el agregado mineral	<u>Ver Tabla 423-10</u>		
Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión Mpa mín.	2,1	2,1	1,4
2. Resistencia retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo – Asfalto (2)	0,6-1,3	0,6-1,3	0,6-1,3
Relación Estabilidad/flujo (kg/cm) (3)	1.700-4.000		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 Min.		

(1) A la fecha se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2%) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3.000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos.

(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0,075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.

(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est. /flujo sea de la menor magnitud posible.

(4) El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.
El Índice de Compactabilidad se define como:
$$\frac{1}{\text{GEB } 50 - \text{GEB } 5}$$
Siendo GEB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

Figura 9: Requisitos para mezclas de concreto bituminoso - Parámetros de diseño Marshall

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para la construcción EG-2013

Como se muestra en la figura 9, en la cual se detalla los parámetros a conseguir de una mezcla asfáltica en caliente, estos parámetros determinan cualquier característica o propiedades de la mezcla que ayuda a establecer y precisar el diseño mediante ensayos. Por lo cual, para un mayor enfoque de estos parámetros, se definirán según lo que demanda el Instituto del Asfalto de 1982, en donde los expone como características y propiedades para cada uno de estos parámetros de diseño Marshall.

2.3.10. Características y comportamiento de la mezcla

De acuerdo a lo que establece el Instituto del Asfalto de 1982, una mezcla asfáltica realizada en un laboratorio es analizada con la finalidad de obtener la posible función de la estructura del pavimento. Este análisis está enfocado en cuatro puntos característicos de las mezclas, y el nivel de incidencia que desarrollan dentro del comportamiento del pavimento. Estas características son:

Densidad de la mezcla

Se puede definir mediante la relación del peso y el volumen específico de la mezcla compactada. Este parámetro es muy importante debido a que es necesario lograr una mayor densidad en el pavimento finalizado, de este modo se logrará un mejor y duradero rendimiento. Dentro de los ensayos, pruebas y análisis de un diseño de mezcla, la densidad compactada de la mezcla se describe generalmente como kilogramo por metro cúbico. Este parámetro resulta al multiplicar la densidad del agua por la gravedad específica total. La densidad patrón está dada por el cálculo dentro del laboratorio, la cual se utiliza como un referente para establecer que la densidad del pavimento finalizado sea el adecuado.

Vacíos de aire (o simplemente vacíos)

Con referencia a los vacíos de aire, estos vienen a ser espacios minúsculos que contienen aire, o conocidos como bolsa de aire, los cuales se observan entre los agregados de la mezcla compactada. Es muy importante que todas las mezclas gradualmente densas presenten dentro cierto porcentaje de vacíos de aire, con la cual se lograra una compactación adicional durante el tráfico, además de proporcionar vacíos en donde fluiría el asfalto al existir una compactación extra.

La presencia de vacíos tiene relación con la durabilidad, este factor es función porcentaje de vacíos. Esta relación se entiende como, cuando menor sea el porcentaje de vacíos, se volverá más impermeable la mezcla. Por otro lado, cuando sea alto el nivel de vacíos en la mezcla, esto producirá espacios por donde ingresara el agua y aire, causando desgaste. De igual manera, un nivel sumamente bajo de porcentaje de vacíos va a causar el fenómeno de exudación en el asfalto, característica en el cual el exceso de asfalto es expulsado hacia la superficie fuera de la mezcla.

Vacíos en el agregado mineral

El VMA o vacíos en el agregado mineral, se presentan en los espacios existentes entre las partículas del agregado en un pavimento ya culminado y compactado, en los cuales se encuentra aire, teniendo en cuenta los espacios en los cuales tiene la presencia de asfalto.

El VMA es la parte libre para acoplamiento de un volumen de asfalto, la cual está representada por el efectivo, es la cantidad del total que no se perdió dentro del agregado, además para acoplar el adecuado volumen de vacíos dentro de las mezclas. Cuanto mayor sea la cantidad de VMA, existirá mayor espacio libre para las películas del asfalto. Estos factores están referenciados en la proporción de que mientras a mayor espesor por parte de la película el cual cubriría el agregado, el factor de durabilidad de la mezcla será mayor.

Si se quiere obtener un grosor de película del asfalto duradero, los valores del VMA deben ser las menores. Un incremento en la graduación de densidad de los agregados, acercándose al punto en el cual se obtenga un estimado del valor para VMA y que esta se localice bajo el valor mínimo especificado, arrojando películas finas de asfalto, en mezclas de muy baja durabilidad y de un aspecto seco. Por lo que, viene a ser peligroso y desfavorable, con respecto a la calidad de los pavimentos, la disminución del VMA con la finalidad de economizar la cantidad de asfalto

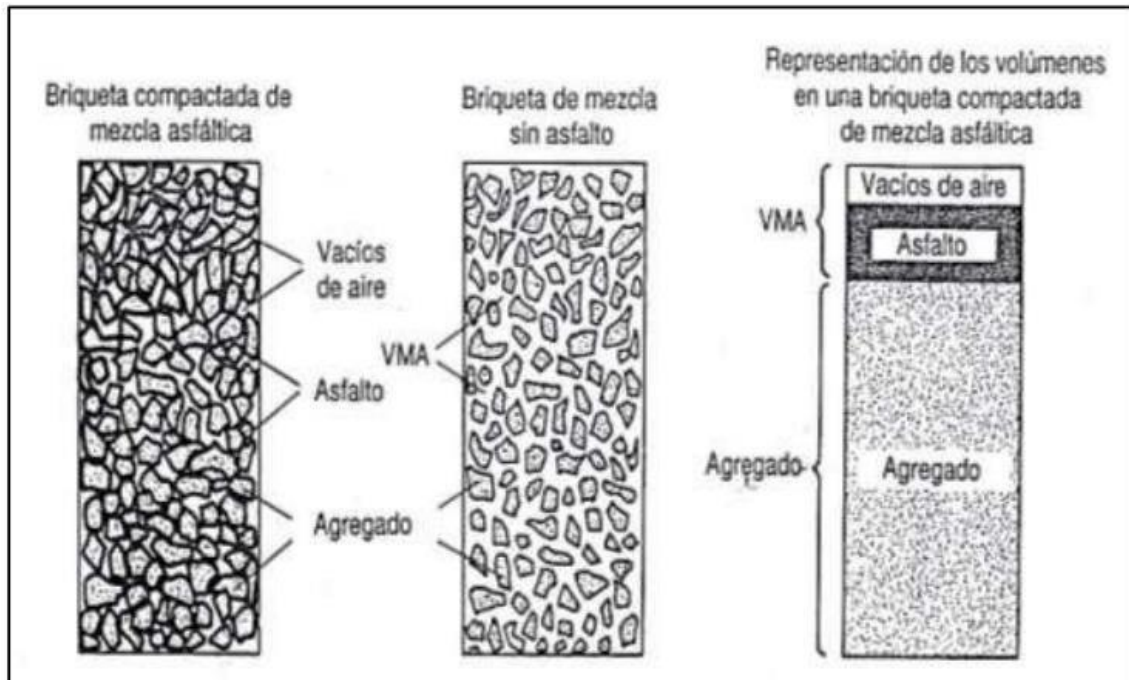


Figura 10: Esquema del VMA

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

2.3.11. Contenido de asfalto

La relación de asfalto en la mezcla es de suma importancia y debe ser desarrollada exactamente en el laboratorio, y después controlada con precisión en la obra. El porcentaje de asfalto de la mezcla en particular se determina utilizando los criterios establecidos por el diseño seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla dependerá, en gran medida, de las características del agregado, las cuales son la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está básicamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Si presenta más finos en la graduación de la mezcla, tendrá mayor área superficial total, y mayor será el requerimiento de asfalto para cubrir de manera uniformemente todas las partículas. De igual, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) demandaran menor cantidad de asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre la superficie total del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más notoria cuando presenta relleno mineral. Los pequeños aumentos en la

cantidad de relleno mineral, logran absorber gran porcentaje del contenido del asfalto, obteniendo una mezcla poco estable y seca. Las pocas disminuciones presentan el efecto contrario, por lo tanto, con poco relleno mineral obtendremos una mezcla muy rica (húmeda). Cualquier alteración en el contenido de relleno mineral provoca modificaciones en las propiedades de la mezcla, haciéndola cambiar de seca a húmeda. Si una mezcla con poco, o demasiado, relleno mineral, cualquier cambio arbitrario, para alterar la situación, probablemente la empeorara. En vez de realizar cambios arbitrarios, se deberá desarrollar un muestreo y unas pruebas apropiadas para hallar las causas de los cambios y, si es necesario, desarrollar otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado utilizado en la mezcla es fundamental para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto es debido a que se tiene que añadir suficiente asfalto a la mezcla para lograr absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película necesaria de asfalto absorbido y al no-absorbido: contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionado a la mezcla para lograr las cualidades requeridas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que realiza una película ligante efectiva no absorbido por el agregado. El contenido efectivo de asfalto se halla al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

2.3.12. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas

a) Estabilidad

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

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de los que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tránsito). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdidas de fricción entre partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. La Tabla N° 4 menciona diversas causas y efectos.

Tabla 4

Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento

Causas	Efectos
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, ahuellamiento, afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente durante un corto tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, supervise trituradas	Ahuellamiento y canalización

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

b) Durabilidad

Es la habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

La durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La durabilidad aumenta con la mayor cantidad de asfalto, porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro, resistente a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento. La Tabla figura una lista de algunas de estas causas y efectos.

Tabla 5
Causas y Efectos de un Poca Durabilidad

Causas	Efectos
bajo contenido de asfaltos	endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
agregados susceptibles al agua (hidrofílicos)	películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

c) Impermeabilidad

Es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través

de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados. La Tabla N° 6 describe ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa

Tabla 6
Causas y Efectos de la Permeabilidad

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas dejadas de asfalto causaran tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

d) Trabajabilidad

Está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

Es importante usar mezclas trabajables en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillados, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla. La Tabla 7 cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

Tabla 7

Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad

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

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

e) Flexibilidad

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

f) Resistencia a la fatiga

Es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto

considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Asimismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles. La Tabla 8 presenta una lista de las causas y los efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

Tabla 8

Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacíos altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

g) Resistencia al deslizamiento

Es la capacidad de la superficie de rodadura del pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos contra el pavimento, generalmente cuando la superficie esta con presencia de agua. Para

lograr una buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe estar y mantener contacto con las partículas de agregado en vez de solo rodar encima de una película de agua en la superficie de rodadura del pavimento (hidro planeo).

Una superficie áspera y rugosa de la superficie de rodadura del pavimento ofrecerá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. Además de presentar una superficie áspera, los agregados deben soportar y resistir el pulimiento (alisamiento) en presencia del tránsito. Las mezclas que son inestables que suelen presentar deformaciones o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) tienen problemas críticos de resistencia al deslizamiento. La Tabla 9 expone una lista de las causas y los efectos que están relacionados con una pobre resistencia al deslizamiento.

Tabla 9
Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento

Causas	Efecto
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidropneumo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

Fuente: “Principio de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente”, por el Instituto del Asfalto (1982)

2.3.13. Neumáticos

En 1839, el estadounidense Charles Goodyear descubrió accidentalmente la polimerización, vulcanización, dando al caucho durabilidad y solvencia necesaria para producirlo. Esto implica mezclar caucho con azufre y después del calentamiento, el caucho se endurece y asegura la calidad del cuero, y no fácilmente soluble en aceite y otras soluciones. En este proceso es lo llamó vulcanización, que revolucionaría la vida moderna. Sin embargo, pero faltaba un

invento más, venido de la mano del escocés John Boyd Dunlop a finales de la década de 1880: el neumático.



Figura 11: Sección transversal del neumático

Fuente: Pruebaderuta.com

Aplicaciones del caucho de neumático (NFU)

En el manual publicado en 2007 por el Centro de Investigación y Experimentación de Obras Públicas sobre el uso de caucho NFU en mezclas asfálticas habla de los posibles usos y aplicaciones del reciclaje y reutilización de NFU. Lo mismo ocurre con el revestimiento, que sin duda fue el principal objetivo del reciclaje

Se enumeran diferentes usos de los neumáticos macizos:

- a) Arrecifes artificiales (favorecen la vida marina),
- b) Protección de muelles o barcos
- c) Barreras acústicas
- d) Como parte de seguridad vial
- e) Como tiras o piezas, se utilizan:
- f) rellenos ligeros o terraplenes
- g) Aislamiento térmico.
- h) Para uso en forma granular o en polvo, se utilizan:
- i) En caminos.
- j) Canchas de fútbol.

- k) Juegos y gimnasios.
- l) Pista de atletismo.
- m) Césped artificial.
- n) Establos.
- o) Zapatos.
- p) Placas (Losas)
- q) Componentes de Caucho

Asimismo, el alto poder calorífico del neumático está en el rango de 7500 Kcal/kg, que supera al del carbón, aunque el menor contenido de azufre del neumático lo hace menos contaminante. un buen combustible que se valora energéticamente en cemento, cerámica, centrales eléctricas, producción de vapor, papeleras, etc.

Hoy en día, el reciclaje de este material se utiliza con mayor frecuencia en los campos deportivos. Por otro lado, las tecnologías con alto y potencial consumo de NFU son la recuperación de energía y las mezclas asfálticas para pavimentos. Así, debido a la jerarquía ambiental, el reciclaje para la producción de mezclas asfálticas es muy interesante

Características de los neumáticos

Los principales componentes de los neumáticos son el caucho natural y sustancias sintéticas; Hay dos tipos: Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) es un elastómero Termoplástico sintético polimerizado a partir de una mezcla de estireno y butadieno y caucho estireno-butadieno (SBR) son elastómeros sintéticos obtenido por polimerización de una mezcla de monómeros: estireno y butadieno, y negro de humo

El caucho natural está hecho de látex, un plástico blanco lechoso, ocurre en los árboles de caucho, también conocidos como árboles de caucho, es Se encuentra en las selvas tropicales de Brasil, Colombia o Tailandia. Este El caucho es una sustancia dispersarle en agua que contiene entre un 25 % y un 40 % de caucho. Las propiedades que el caucho natural otorga a los neumáticos son: ductilidad, alta resistencia mecánica y su adherencia a cualquier tipo de superficie. esa cualidad todavía lo hacen una parte integral de la industria de los neumáticos en la

actualidad, que consume alrededor del 70% de la producción mundial. (Chávez, 2005)

Utilización de neumáticos fuera de uso

La producción en serie de neumáticos y la dificultad de hacerlos desaparecer cuando se usa representa uno de los problemas ambientales más serios de los últimos años a nivel mundial. Un neumático requiere una gran cantidad de energía para producido (medio barril de petróleo crudo para hacer llantas de camión) y también contaminar el medio ambiente si no se recicla adecuadamente suele formar parte de vertederos no regulados. Sin embargo, hay muchas maneras de lograrlo. reciclaje continuo de estos productos, pero necesitamos políticas de apoyo recoger y establecer industrias dedicadas a la tarea de reciclar o limpiar Ingredientes tóxicos en neumáticos y maquinaria. (Castro, 2007).

Grano de Caucho Reciclado

El caucho es un polímero amorfo insaturado por naturaleza, cuyo proceso de producción es la vulcanización. Donde toma una forma similar a una web. Los principales componentes de los neumáticos son principalmente caucho natural y sintético (SBS, SBR) y negro de carbón. De igual forma, se sabe que los automóviles tienen alrededor de un 16% de caucho natural y por otro lado un 31% de caucho sintético.



Figura 12. Grano de Caucho Reciclado

Fuente: (Maguiña 2019)

Se creía que había diferentes neumáticos o partes de mejores materiales para mezclar con ligante asfáltico. Sin embargo, con los neumáticos modernos de hoy en día, como camiones, automóviles y otros neumáticos, no hay mucha diferencia. Hay una ligera diferencia o diferencia porcentual entre el caucho sintético y el natural, pero aquí no hay diferencia o diferencia causal en el rendimiento del aglomerante RTR modificado. (Department of Transportation -Federal Highway Administration, 2014, pág. 4.)

Un neumático puede aplastarse en dos etapas. Al final del primer paso, el caucho de arena debe medir entre 100-230 mm de ancho y 300 - 430 mm. Para el segundo paso, su longitud es de 100-150 mm. Si los procesos de trituración son prolongados y se obtienen partículas de 13 – 16 mm de largo, se denominan partículas trituradas. (Soft, 2018, pág. 20).

El polvo de caucho

Teniendo en cuenta la publicación de 2007 del Centro de Investigación y Pruebas de Obras Públicas NFU Mezclas de betún de caucho, detalla que el polvo de caucho se produce triturando neumáticos. Estos neumáticos se convierten en un elemento de unos 200 componentes con una estructura bastante compleja, aunque sus componentes principales son caucho natural y sintético, dióxido de silicio, antioxidantes, cargas de refuerzo, material metálico, textiles y otros ingredientes esenciales para el desarrollo de la vulcanización. Para obtener polvo de caucho, se tritura toda la vida útil de los neumáticos hasta alcanzar el tamaño de partícula deseado, y se separan los tejidos y minerales entrantes. Factores como el método de trituración, la granularidad del material y los aditivos textiles y metálicos adicionales afectan las características y propiedades del polvo de caucho. Asimismo, cuando se utiliza en mezclas asfálticas, es necesario que el tamaño fino de las partículas de caucho NFU triturado sea inferior a 2 mm o 0,5 mm, según la aplicación.

Tabla 10

Composición de llantas según el tipo

Componente	Llanta de carro liviano	
Caucho sintético	27%	14%
Caucho natural	14%	27%
Negro de humo (carbono)	28%	28%
Acero	14-15%	14- 15%
Otros aditivos	16-17%	16- 17%
Peso Promedio (óxidos, etc.)	8.6 kg	45.4k g

Fuente: Guía práctica sobre re – uso de llantas usadas para municipalidades

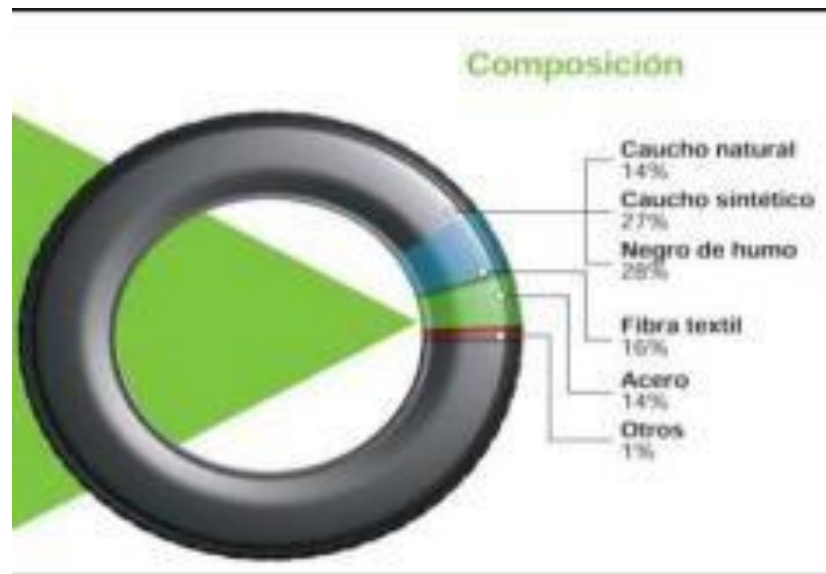


Figura 13: Composición interna de llantas

Fuente: Composición aproximada de los neumáticos. Adaptado de tratamiento de Neumáticos Usados (2016)

2.3.14. Métodos de recuperación del caucho de neumáticos Reciclado

Desde el uso de materiales se puede notar que hay proceso para eliminar las propiedades elásticas del caucho de desecho y nuevamente proporciona las mismas propiedades dúctiles que el caucho no vulcanizado. Veremos algunos procesos más importantes:

a) **Regeneración**

Este proceso se basa en romper las cadenas que componen el material obtener una materia prima que, aunque lejos del material de partida, pueda ser vulcanizada nuevo y reformado. El caucho recuperado se puede utilizar en la producción neumáticos, una mezcla normalmente utilizada en la fabricación de neumáticos, los requisitos de rendimiento son muy altos, deben cumplir con especificaciones tan estrictas dificultando el uso generalizado del caucho recuperado debido al tiempo. En todo caso, puede aplicarse a la fabricación de otros productos de caucho o tapas fijas para otro tipo de vehículos

b) Termólisis

Es un sistema que entra en contacto con los residuos de neumáticos calienta en ausencia de oxígeno. alta temperatura y la ausencia de oxígeno tiene el efecto de romper los enlaces químicos. próximo aparecen cadenas de hidrocarburos. Esa es la manera de traerlos de vuelta. el compuesto original en el neumático, luego el método logrado restauración completa de piezas de neumáticos.

c) Incineración

Es un proceso por el cual los neumáticos son expuestos a altas temperaturas en horno con materiales de primera calidad. Hacer este proceso requiere mucha cantidad y tiene problemas con la tasa de quemado Debido a los diferentes ingredientes utilizados, también contamina.

d) Trituración mecánica

“El proceso mecánico de trituración de neumáticos usados. Mediante un sistema mecánico, los productos obtenidos son de alta calidad. y facilitar su uso en nuevos procesos” (Castro, 2007).

2.3.15. Aplicación del grano de caucho en pavimentos

El caucho de los neumáticos usados se puede utilizar como elemento de unión o Capa de sellado de asfalto (caucho asfáltico) o en forma de agregado (hormigón asfáltico revisado con Borrador). Dependiendo del sistema utilizado, se pueden utilizar entre 1.000 y 7.000 neumáticos por kilómetro en autovía de dos carriles ponen los números Alta reutilización sobre pavimento asfáltico como una de las soluciones Ideal para usar neumáticos sin usar. (Castro, 2007)

Consideraciones técnicas del caucho

Asimismo, en la guía del Centro de Investigación y Experimentación de Obras Generales publicada en 2007 sobre el uso de caucho NFU en mezclas asfálticas, se indica que el resultado obtenido modificando la mezcla con polvo de caucho NFU, debe ser tratado como el uso de NFU caucho lanzado en 2007 y la naturaleza del cemento asfáltico, la granulometría y el método de producción del modificador,

si se utilizan uno o más aditivos, se debe verificar su composición química, así como la proporción relativa de los componentes, la estructura de producción y el tiempo o temperatura de las condiciones de trabajo, etc.

Para el proceso húmedo de conversión de mezclas asfálticas se enumeran las ventajas, efectos y ventajas de este método para las mezclas y el asfalto mismo.

Se describen en detalle dos efectos principales que se logran al agregar polvo de caucho NFU a la mezcla asfáltica:

- a) La función del polvo de caucho es la compactación, lo que aumenta la viscosidad del asfalto. En las mezclas asfálticas, este fenómeno permite que las partículas de agregado rueden sobre películas asfálticas extremadamente gruesas sin exudación ni drenaje.
- b) Al agregar caucho en polvo, es posible cambiar la reología de los asfaltos básicos de tal manera que aumenta la elasticidad y resistencia a altas temperaturas, reduciendo así la sensibilidad al calor del asfalto. Asimismo, la modificación de las mezclas asfálticas produce efectos comunes:
- c) Mayor resistencia a la formación de surcos debido a la alta viscosidad, elasticidad y traza de reblandecimiento que presenta la mezcla modificada en comparación con la mezcla convencional.
- d) Disminución de la sensibilidad térmica respecto a mezclas desarrolladas con asfaltos convencionales.
- e) Mayor resistencia al agrietamiento por fatiga o reflexión en capas inferiores en comparación con las mezclas que contienen asfalto convencional porque este método permite el uso de altas concentraciones de ligante.
- f) Alta resistencia al envejecimiento y a la oxidación aumenta debido al mayor uso de asfalto y porque el caucho tiene antioxidantes como un componente. Además, el uso de caucho como modificador tiene otras ventajas en términos de seguridad, ya que el contraste de las marcas viales se mantiene durante mucho tiempo.
- g) A los precios actuales, el procesamiento de caucho asfáltico puede aumentar la viscosidad de manera más económica que los polímeros

existentes, por lo que es posible desarrollar asfaltos muy viscosos que aún no han tenido éxito. por razones de precio calculado.

- h) Cuando se utiliza asfalto de viscosidad media, el asfalto con caucho no alcanza el grado de modificación reológica de los ligantes antes mencionados, pero es suficiente para ciertas aplicaciones y se reducen los costos, por lo que dichos asfaltos son muy utilizados.

Se pueden obtener ventajas similares modificando la mezcla asfáltica con la adición de caucho en polvo en la vía seca, pero en menor medida que las mencionadas anteriormente. De igual forma, las mezclas procesadas en seco requieren de procedimientos especiales de producción y seguimiento de las condiciones de llenado, que ameritan empresas calificadas con un estricto control de calidad. Sus ventajas son:

- a) Se consigue una mezcla asfáltica más económica que con asfaltos modificados.
- b) Esta tecnología no solo puede ser utilizada por empresas de asfalto modificado.
- c) Más fácil de trabajar directamente con caucho en polvo de un área específica o área sin transferencias adicionales.

Características físicas del caucho en polvo

Propiedades físicas del polvo de caucho según la Guía para la Producción de Asfalto con Caucho de Neumático - Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados (gallego y Saiz, 2017) y la Guía NFU para el Uso de Caucho en Mezclas Asfálticas (Centro de Estudios y Experimentación de Obras) Públicas, 2007) dichos escritos indican y especifican ciertas características y propiedades físicas, qué polvo de caucho se debe agregar a la mezcla asfáltica en caliente para lograr propiedades óptimas.

Granulometría de las partículas y tamaño máximo del caucho

Estas características son parámetros que tienen una influencia importante en el comportamiento de las mezclas. La granulometría de las partículas de caucho debe

estar en una de las zonas definidas en la tabla N° 11 a continuación. Siendo esta la norma UNE-EN 933-2 de 1996, el determinante granulométrico es

Tabla 11

Huso granulométrico específico para el caucho en polvo

Huso granulométrico para el caucho en polvo			
Tamiz	P - 1	P - 2	P - 3
mm	% pasa	% pasa	% pasa
2	100		
1.19	45-90	100	
0.6	30-80	10-80	100
0.3	5-50	5-70	0-40
0.15	0-30	0-30	0-25
0.075	0-15	0-15	0-15

Fuente: Adaptado de Centro de Estudio y Experimentación de Obras Públicas (2007)

a) Contenido de humedad

Se entiende por contenido de humedad según la norma UNE 103-300-3 de 1993, excepto cuando la temperatura del horno es de 105 +/- 5°C y el valor mínimo del peso de la muestra es de 100 gr. El contenido de humedad de la espuma durante el procesamiento debe ser inferior al 0,75 %.

b) Material ferromagnético o contenido de acero

El contenido de acero libre en partículas de caucho se conoce mediante un imán que extrae el acero según los requisitos de la norma UNE-CEN/TS 14243:2012 EX año 2012, que deberá contener al menos 500 g de muestra de caucho triturado, que se esparce sobre la base hasta un espesor de 2 cm. Como tal, esta norma requiere que el contenido de sustancias ferromagnéticas en el material no supere el 0,01 % en peso del polvo de caucho.

c) Contenido textil

La calidad textil cumple con la norma UNE 2012 - CEN/TS 142433:2012 EX. En el interior se detalla que el contenido de materia textil no puede exceder el 0,5%, que es igual a la masa de polvo de caucho.

d) Impurezas

Según la norma 2012 UNE-CEN/TS 14243:2012 EX, la concentración de impurezas en el material se determina en base a la medida de densidad del material, siendo el peso mínimo de la muestra de caucho de 150 gr. que se vierte en una solución salina con una concentración de 1,25 g/cm³, haciendo decantar las partículas extrañas. La cantidad de cualquier tipo de impurezas como vidrio, arena, etc. no supera el 0,25% de la masa de polvo de caucho.

2.3.16. Comportamiento de las mezclas asfálticas en caliente modificadas con caucho reciclado

Existen diferentes tecnologías para incorporar caucho a las mezclas asfálticas, pero hay ventajas comunes a ambos casos. Entre estas ventajas se encuentran Resistencia mejorada a la deformación plástica. En general, se puede decir que cuanto más caucho se combina, mayor es el contenido de aglomerante en la mezcla del asfalto y mayor la resistencia a la fatiga y a la formación de grietas.

El uso de grandes partículas de caucho como agregados en mezclas asfálticas puede mejorar el rendimiento. Partículas de goma en contacto en Las superficies de las aceras juegan un papel importante en la prevención de neumáticos el coche se desliza sobre la superficie de la carretera, proporcionando una mejor tracción y la gente permanece en el cuerpo de la mezcla para ayudar a retardar el proceso de agrietamiento. del segundo, al absorber la tensión, impide la propagación de grietas. (Ramírez, 2006)

Proceso por vía húmeda

En este proceso, las partículas de polvo de caucho se combinan con cemento. betún, para crear una mezcla modificada llamada betún-caucho, que es utilizado como un adhesivo modificado. preparar asfalto engomado que consiste en unir gránulos de caucho reciclado con un diámetro 2mm máx., con cemento bituminoso en el tanque de agitación allí creará el enlace. °C-210°C durante 1- horas



Figura 14: Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda

Fuente: Adaptado de Bermejo (2010)

Proceso por vía seca

El caucho granular o en polvo se mezcla con el agregado antes de agregar de asfalto. Las partículas de caucho interactúan con el ligante asfáltico, que es conocido como el proceso de degradación del caucho, donde el caucho cambia de un conjunto elástico en modificadores de cemento asfáltico en la mezcla. El proceso se lleva a cabo desde la superficie del grano en su interior, por lo que tamaño de partícula más fino, menor porcentaje que la población, por lo que, Por lo tanto, se requieren temperaturas más altas y prolongadas durante el proceso de fabricación. No producir una reacción significativa entre el caucho y el cemento bituminoso debido a la corta, por lo tanto, el tiempo de interacción no logra la misma reacción que el proceso mojado, por lo que tiene un efecto limitado en el rendimiento de la mezcla de asfalto.



Figura 15: Esquema de fabricación de asfalto modificado con caucho por vía seca

Fuente: Adaptado de Bermejo (2010)

2.3.17. Polímeros

Los polímeros son sustancias formadas por la combinación de cientos o miles de pequeñas moléculas llamadas monómeros. La gran variedad de materiales poliméricos dificulta su clasificación y sistematización; pero en base a su estructura y propiedades se clasifican para uso vial como se muestra en la Tabla N° 12 (Montejo Fonseca, 2002) (pág. 621)

Tabla 12

Clasificación de Polímeros

Polímeros		
Termo endurecibles	Termo Plásticos	
Resinas epoxi cas	Plastómeros	Elastómeros
Poliuretanos	Polietileno	S.B.R
Poliésteres	Polipropileno	Cauchos Naturales
	E.V.A	Cauchos Artificiales
	P.V.C	S.B.S

Fuente: Montejo 2002

Los polímeros termo endurecibles se forman por una reacción química de dos componentes (base y endurecedor), lo que da como resultado una estructura reticulada, por lo que no se pueden recuperar para volver a moldearlos. (Montejo, 2002, p. 621)

Los termoplásticos son polímeros solubles que se ablandan bajo la influencia del calor y pueden fluir. Suelen ser polímeros lineales o ligeramente ramificados. Los termoplásticos se dividen en dos grupos: (Montejo, 2002, p. 621)

Polímeros tipo plastómeros

Cuando se estiran, se supera el límite elástico y cuando cesa la tensión, no vuelven a su longitud original. Tienen distorsiones pseudopolíticas con poca elasticidad.

Los plastómeros más comunes son:

- a) Polietileno: Posee buena resistencia a la tracción y buena resistencia al calor, así como buen comportamiento a bajas temperaturas.
- b) Polipropileno atáxico (EPDM): Se mezcla con elastómeros para hacerlo más flexible. Muy flexible y resistente al calor ya los productos químicos
- c) E.V.A (Etileno Vinil Acetato): Los copolímeros de etileno polimerizan el etileno con otros monómeros (vinil acetato) para destruir su orden estructural y reducir su grado de cristalinidad.

Polímeros tipo elastómeros

Los elastómeros o cauchos son polímeros lineales amorfos, generalmente sin curar, que tras procesos de vulcanización forman una estructura parcialmente reticulada que les confiere sus propiedades elásticas. Los cauchos más comunes son:

S.B.R. Caucho sintético de estireno de 25% y butadieno de 75% Se añade ácido acrílico para mejorar la adherencia.

Isopreno: Caucho natural utilizado en la producción de caucho sintético.

Neopreno: Caucho sintético de alta resistencia a los agentes atmosféricos. Se utiliza en carreteras para soportar vigas y estructuras.

S.B.S (estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico: Desarrollado en la década de 1960 en los EE. UU. para adhesivos y revestimientos para pisos. Luego llega al asfalto. Los dos homopolímeros que lo componen son incompatibles entre sí. El más incompatible es el estireno (fase sólida) con temperatura de cristalización: 100 °C. Butadieno (fase flexible) con una temperatura de cristalización superior a la temperatura ambiente.

Montejo (2002) indica que:

La adición de un polímero (una sustancia macromolecular con propiedades visco elásticas) al asfalto provoca interacciones entre la primera molécula y el segundo componente y provoca cambios en el sistema coloidal del asfalto, lo que se traduce en cambios en las propiedades. Las interacciones y cambios en las propiedades dependen de los siguientes factores: (pág. 623)

- a) Composición y estructura molecular del polímero embebido (peso molecular, composición química, temperatura de transición vítrea, polaridad, etc.).
- b) Composición química y estructura coloidal del asfalto.
- c) Parte del asfalto polimérico.
- d) Proceso de mezclado (método de preparación, temperatura, tiempo de mezclado, etc.).

Polímero SBS

También conocido como caucho termoplástico, cuya composición es estireno - butadieno - estireno. Varios autores señalan que es el polímero más adecuado para modificar asfaltos ordinarios.

Ramos (1996, citado en Estrada, 2017) muestra lo siguiente:

El polímero SBS, que es un termoplástico, permite que el cemento asfáltico fluya a altas temperaturas debido a la fusión de los dominios de estireno, y a bajas temperaturas lo impide. frágil debido a la presencia de dominios de butadieno. A las temperaturas de operación más altas del pavimento, el cemento asfáltico se vuelve demasiado fluido, aunque las áreas de estireno aún permanezcan sólidas. Debido a que el cemento asfáltico está cubierto con una malla SBS, el nuevo ligante actúa como caucho vulcanizado en estas condiciones, transformándose en líquido a temperaturas más altas que las que alcanza el pavimento (p. 31).

Ventajas de polímero SBS

Montejo (2002) nos afirma que: Los principales beneficios que se persiguen con la modificación del asfalto son:

- a) Aumentar la rigidez a altas temperaturas de servicio mejorando la resistencia de las mezclas a la deformación permanente.
- b) Reducir la rigidez a bajas temperaturas, previniendo la fisuración térmica.
- c) Aumentar la resistencia a fatiga de las mezclas.
- d) Reducir el endurecimiento en servicio, brindando una vida superior a la mezcla, debido a la retención de sus ventajas iniciales.
- e) Disminuir la susceptibilidad térmica y el rango de temperatura de servicio.
- f) Aumentar la viscosidad a bajas velocidades de corte, permitiendo mejores de película en el agregado de las mezclas abiertas y reduciendo la exudación en tratamientos superficiales (p. 619).

2.3.18. Método de diseño de mezclas asfálticas convencionales

Ensayo Marshall

De acuerdo con los requisitos de la MTC E 504 del manual de Ensayo de Materiales, este método de diseño permite la determinación de su estructura y el

cálculo de diversos parámetros de su comportamiento a través del desarrollo y compactación de muestras de mezclas asfálticas. Los parámetros que se estudian durante el desarrollo del plan son densidad, porcentaje de vacío en las mezclas, fluidez, vacíos en el agregado mineral, etc. Por tanto, los criterios de evaluación de las mezclas asfálticas diseñadas según el método Marshall son los exigidos en el Manual de Carreteras del MTC - Especificaciones Generales para la Construcción (EG-2013). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

El diseño de mezclas asfálticas consiste básicamente en elegir la granulometría y grado del asfalto para que cumpla con las propiedades para las que está diseñado, tanto en el momento de su fabricación como de su colocación en el suelo. De igual manera, el proceso de dosificación tiene como objetivo encontrar el porcentaje óptimo de asfalto para una composición dada de agregados de acuerdo con las propiedades seleccionadas.

Antes de planificar, es muy importante que todos los materiales que componen la mezcla, asfalto y agregado, sean probados y examinados para saber si son adecuados para la superficie final.

El método Marshall se aplica a mezclas asfálticas en caliente, que deben contener partículas de árido de un tamaño máximo de 25 mm. Este proceso se lleva a cabo tanto en el laboratorio de diseño como en el de pruebas de campo. Los resultados de las pruebas de flujo y estabilidad para la estructura de mezcla deseada deben partir de un promedio de al menos tres muestras por cada aumento de contenido de asfalto, en cuyo caso el aumento de contenido debe ser del 0,5 %. Por otro lado, una mezcla densa suele tener un valor máximo de estabilidad a una determinada concentración de asfalto, este pico de concentración se puede promediar con diferentes valores, por ejemplo, la concentración generada por la densidad máxima, la concentración obtenida por la porosidad de la mezcla o vacíos en el agregado mineral.

Este método tiene muestras estandarizadas y su preparación, que debe seguir métodos específicos de calentamiento, mezcla y compactación. El tipo de cemento asfáltico depende de si la mezcla y compactación se realiza a una determinada temperatura para preparar las muestras. La compactación de la mezcla en los tubos

de ensayo, por otro lado, se logra con un martillo Marshall con un elemento de acero de fondo redondo de 98 mm de diámetro que pesa 10 libras y tiene una distancia de caída de 18 pulgadas. Estos moldes se fabrican por prensado con 75 golpes por capa o según requerimientos específicos.

Las dos características principales del método de diseño analizado son la estabilidad y la fluidez del molde. En cuanto a la estabilidad, se conoce el valor máximo de la duración de las deformaciones, que es una velocidad de carga constante de 50 mm/min, el valor de la estabilidad varía según el tipo y escala de los agregados, el porcentaje y la cantidad de asfalto utilizado. Por su parte, el caudal se determina mediante un ensayo de estabilidad y consiste en medir la deformación de las mezclas asfálticas, generalmente producidas en unidades de 0,25 mm de caudal desde el momento de la carga hasta que se alcanza la carga máxima.

Considerando los valores obtenidos del método Marshall y complementándolo con ensayos como índice de compactación, compresión por inmersión, peso específico máximo de arroz y ensayo de tracción indirecta, y porque tiene un claro entendimiento de los requerimientos de la mezcla asfáltica, la calidad óptima del asfalto y obtengo una mezcla de áridos que mantiene suficiente estructura.

2.3.19. Método de diseño de mezclas asfálticas modificadas con caucho

El método de diseño de mezcla modificado por GCR tiene valores guía de aplicación de caucho NFU en mezclas asfálticas.

El método de dosificación de mezclas asfálticas tiene como finalidad combinar los diferentes elementos de tal manera que sean útiles y optimizar las propiedades de las mezclas asfálticas para diferentes usos. Por otro lado, el logro de los objetivos requeridos depende del tipo de mezcla, la ubicación de la capa asfáltica, el tipo de pavimento, la capa inferior sobre la que se apoya, la clase de tráfico del vehículo y las condiciones climáticas. De acuerdo a los requerimientos de las mezclas asfálticas semi densas y compactas PG-3, la dosis se obtiene analizando el porcentaje de vacíos y el grado en que debe soportar las deformaciones plásticas utilizadas por el método Marshall. Luego, cuando se determina el valor óptimo, se asegura que cumple con los requisitos de resistencia a la deformación plástica y

actividad del agua a través de una prueba de presión de inmersión. Finalmente, se realiza y desarrolla la dosificación de aditivos de caucho tanto en carreteras secas como mojadas. Luego mencione las variaciones mencionadas de PG3:

a) Requisitos para mezclas densas y semidensas

Mezclas de este tipo, hechas agregando polvo de caucho, mezcladas en seco, naturalmente también tienen un contenido de asfalto más alto que las mezclas asfálticas normales, incluyendo valores entre 5.2 y 5.5%

b) Procesamiento de probetas

En el proceso de elaboración de una mezcla asfáltica, la adición de vía seca debe ser seguida primero por la mezcla de polvo de caucho y agregado, luego se inicia con la adición de asfalto y finalmente la adición de polvo mineral. Las mezclas asfálticas se preparan mecánica o manualmente en pasos convencionales en el laboratorio.

Al mezclar se recomienda extenderlo por unos 30 segundos luego de lograr el completo rodado de los agregados, para que el polvo de caucho se distribuya mejor. Sin embargo, si esto no sucede en un tiempo razonable, es una señal de defectos del asfalto, baja temperatura de mezcla o alto contenido de polvo de caucho. O también el problema puede ser exceso de finos o árido contaminado, en caso de ser así se debe cambiar la granularidad o árido utilizado.

c) Comparación

El rango normal de temperatura de sellado es de 135-160°C. Las muestras deben estar en el molde por lo menos cuatro horas antes de que la mezcla esté a temperatura ambiente. Si la muestra se extrae prematuramente, se degradará.

Cuando se utiliza el método seco, es muy importante planificar el tiempo de digestión antes de proceder a la compresión. Por lo tanto, las muestras se preparan a diferentes temperaturas y para diferentes tiempos, generalmente 30-90 min, eligiendo la que resulte en una mayor densidad. Normalmente la frecuencia se estabiliza al llegar a los 45 min, pero en algunos casos es

necesario ampliar los tiempos. Finalmente, el tiempo estimado en el laboratorio debe ser verificado en el sitio.

d) Ensayos mecánicos

Las mezclas asfálticas adicionadas con polvo de caucho pueden causar deformaciones mayores que las mezclas asfálticas normales por su alto contenido de asfalto, sin manifestar deformaciones plásticas. Por lo tanto, conviene ajustar los requisitos de tensión añadiendo 0,5 mm.

La calidad óptima del asfalto es la concentración máxima correspondiente a los requisitos de volumen. Las mezclas asfálticas densas o semidensas hechas con asfalto regular generalmente requieren pruebas de tratamiento en laboratorio; sin embargo, si se agrega caucho pulverizado al asfalto, se hace necesario porque sería la única forma de determinar la validez de las grandes cantidades de asfalto utilizadas. En cambio, para una mezcla asfáltica continua, densa o semidensa, el coeficiente de resistencia al agua se determina mediante un ensayo de presión de inmersión, que requiere pérdidas de resistencia inferiores al 25%.

Al aplicar mezclas secas que contengan caucho, es importante determinar el tiempo de ebullición en base a la conversión de pruebas anteriores a ciclos de degradación progresiva

2.3.20. Mezcla asfáltica modificada con polímeros

Montejo (2002) indica que:

Los modificadores le dan al diseñador la capacidad de mezclar las propiedades mecánicas del asfalto. Entre otras cosas, podemos mencionar una reducción de la sensibilidad térmica cuando se buscan propiedades reológicas estables, especialmente a altas temperaturas de operación. Así, esto significa cambiar las propiedades de las aleaciones para reducir tanto la deformación plástica a altas temperaturas como la rigidez a bajas temperaturas, proporcionando un mejor comportamiento en operación bajo mayores cargas de tráfico circulante, independientemente de las condiciones climáticas imperantes.

Las propiedades del asfalto tradicional cambian continuamente a través de la temperatura de operación. Un asfalto ideal es aquel cuyas propiedades son

más o menos constantes en un amplio rango de temperaturas de operación, convirtiéndose en un líquido viscoso a las temperaturas de mezcla y compactación.

La adición de un polímero adecuado cambia la sensibilidad térmica del asfalto, como se muestra en la Figura N° 16, porque el comportamiento viscoelástico a las temperaturas de operación mejora al de un asfalto ideal. (págs. 617-618)

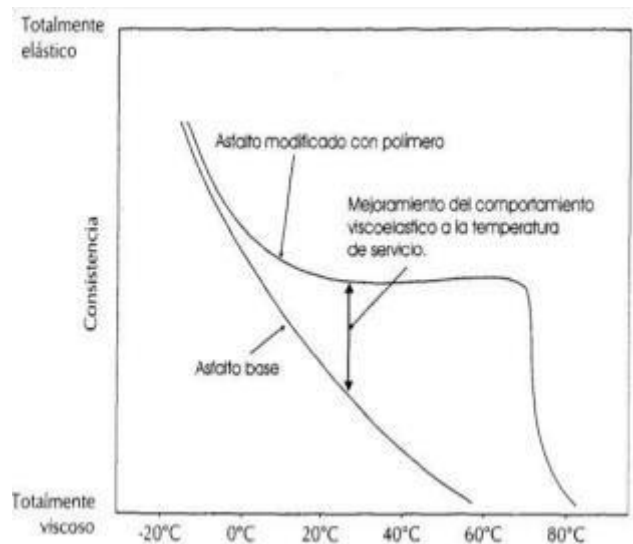


Figura 16: Efecto de la incorporación de un polímero sobre la susceptibilidad térmica del asfalto
Fuente: Montejo (2002, P618)

Beneficios que se buscan al modificar el asfalto

Montejo (2002) muestra que:

Las principales ventajas que se buscan en la modificación del asfalto son:

- a) Aumenta la rigidez a altas temperaturas de operación, mejora la resistencia de las mezclas a la deformación permanente
- b) Disminuye la rigidez a bajas temperaturas, lo que evita el agrietamiento térmico.
- c) Aumenta la resistencia a la fatiga de las aleaciones.
- d) Mejora la alineación con rellenos.

- e) Mejora la cohesión, lo que permite una mejor retención de los áridos en las etapas iniciales del tratamiento superficial.
- f) Reducir el endurecimiento en uso, dando a la mezcla una excelente vida útil manteniendo sus beneficios originales.
- g) Reducir la sensibilidad térmica en la temperatura de funcionamiento.
- h) Aumenta la viscosidad a bajas velocidades de cizallamiento, lo que permite un mejor espesor de película en mezclas sueltas y reduce el tratamiento superficial.

Existen varios aditivos que pueden mejorar al menos una de las propiedades del asfalto, pero cabe señalar que no existe un solo aditivo que mejore todas las propiedades descritas anteriormente. (pág. 619)

Compatibilidad del polímero con el asfalto

Montejo (2002) indica que:

Cuando el asfalto y el polímero se mezclan en caliente, sin precauciones especiales, se obtiene uno de los tres resultados siguientes:

- a) Una mezcla micro heterogénea formada por dos fases compatibles: esta es la compatibilidad deseada que realmente permite la unión. Un polímero compatible con estas propiedades en el sistema se "hincha" al absorber algunas fracciones de aceite liviano del asfalto, formando una fase de polímero diferente de la fase residual del asfalto, que consiste en fracciones pesadas del aglutinante: aceites residuales, resinas. y asfáltenos. (pág. 623-624)
- b) Mezcla heterogénea: Es el caso más probable y ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles. En este caso, los componentes de la mezcla se separan y el conjunto tiene solo las propiedades de un enlace normal.
- c) Una mezcla completamente homogénea incluso a nivel molecular: este es un caso raro de compatibilidad perfecta. En este caso, el aglutinante es muy estable, pero el cambio en sus propiedades de trabajo es muy pequeño en

comparación con el asfalto original. Sólo aumenta su viscosidad. Por lo tanto, este no es el resultado deseado (p. 623-624)

Para Montejo (2002), es lógico creer que las posibilidades existen, porque existen varios polímeros comercialmente disponibles con diferentes composiciones químicas y propiedades. La modificación de ligantes bituminosos con polímeros es adecuada para ligantes hidrocarbonados.

Los polímeros ideales para mejorar las propiedades del asfalto en aplicaciones viales son aquellos que cumplen con las siguientes características:

- a) Cadena de áridos suficientemente larga.
- b) Baja prioridad, facilita su compatibilidad con el asfalto
- c) Alto peso molecular, pero no demasiado alto, reduce riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión

De acuerdo con lo anterior, las dos familias de polímeros más utilizadas son:

Plastómeros, generalmente a base de sobre copolímeros de etileno, normalmente EVA cuya calidad varía según la cantidad y el peso molecular del acetato de vinilo.

Los elastómeros, generalmente compuestos por copolímeros tipo SBS, se distinguen por su contenido de estireno y su configuración lineal o radial.

En construcciones radiales, la presencia de bloques de estireno adicionales forma una red elástica que le da al eslabón baja sensibilidad térmica y buenas propiedades mecánicas. Linear SBS, por otro lado, ofrece las mismas propiedades y mayor flexibilidad a bajas temperaturas.

La Tabla No. 13 da una visión general de las mejoras logradas mediante la modificación de asfaltos con diferentes grados de polímeros compatibles y el uso de llantas de caucho usadas y da una visión general de sus costos relativos

Tabla 13

Panorama del mejoramiento producido en las propiedades de los ligantes por diferentes clases de polímeros.

Polímero	Resistencia a la deformación permanente	Adhesión a los agregados	Resistencia al envejecimiento
Termo endurecibles	Muy efectivo	mejora significativa	mejora significativa
Elastómeros	mejora sustancial	mejora significativa	mejora significativa
Plastómeros	mejora significativa	poca o ninguna mejora	poca o ninguna mejora
Caucho de llanta usada	poca y mejora significativa	poca o ninguna mejora	poca o ninguna mejora

Fuente: Montejo (2002)

Los polímeros termo endurecibles producen uniones patentadas mucho mejores, pero son muy caros y difíciles de fabricar y aplicar. Los enlaces con una cantidad importante de elastómeros (tipo SBS) mejoran significativamente la resistencia a la deformación y al agrietamiento térmico y por fatiga, mejoran la adherencia con los áridos y también favorecen la resistencia al envejecimiento. Los aglutinantes que contienen plastómeros, como el EVA, mejoran la resistencia a la deformación permanente, pero tienen menos efecto sobre otras propiedades, finalmente el comportamiento del caucho varía mucho según el tipo y porcentaje de caucho y las condiciones de procesamiento. Para lograr las propiedades que se muestran en la tabla, a temperaturas muy altas (200 a 230 °C), 8 a 20 litros de caucho (pág. 623-625)

Técnicas usadas para modificar polímeros

Acosta & Herrera (2016) indica que:

Al momento de añadir un polímero al asfalto, las propiedades del asfalto modificado dependen de los siguientes parámetros:

- a) La compatibilidad Asfalto - Polímero.
- b) Tiempo y temperatura durante el mezclado.

- c) Naturaleza y grado de asfalto.
- d) Tipo de equipo.
- e) Su forma física.
- f) Tipo de polímero a emplearse ya sean elastómeros o plastómeros.

El proceso apropiado de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero, polímeros del tipo SBS requieren etapas de molienda y otros como el tipo EVA requieren solamente proceso de agitación. (p. 34).

2.4. Definición de términos básicos

Mezcla asfáltica: “También reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos agregados quedan cubiertos por una película continua del ligante” (Kraemer, 2009)

Flujo: “Deformación vertical total del espécimen sometido a la carga máxima, en este punto la carga empieza a decrecer. Este valor nos indica la resistencia que ofrecerá la carpeta asfáltica al deformarse bajo la acción de las cargas de los vehículos” (Sánchez, 2014)

Estabilidad: “Capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla” (Sánchez, 2014)

Deformación permanente: Es uno de los principales mecanismos de daño de capas asfálticas en estructuras de pavimento flexible. Este fenómeno puede ser definido como la deformación vertical permanente que se va acumulando en el pavimento debido al paso repetitivo de los vehículos el cual genera la formación de delgadas depresiones longitudinales a lo largo de la trayectoria de las llantas. (Rondón y Reyes, 2015)

Susceptibilidad a la temperatura Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se denomina susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. Es muy importante conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado, pues ella indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado. (Asphalt Institute, 1982, p. 18)

Resistencia a la fatiga La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo cargas de tránsito. Investigaciones han demostrado que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. (Contreras y Zúñiga, 2020)

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

La adición de caucho y polímeros mejora las propiedades de la mezcla asfáltica modificada

3.1.2 Hipótesis específicas

- a) La adición de caucho mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas
- b) La adición de polímeros mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas
- c) La mezcla asfáltica con adición de caucho presenta una diferencia significativa en las propiedades mecánicas con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

3.2 Variables

3.2.1 Variable Dependiente

- a) Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas

3.2.2 Variable Independiente

- a) Caucho
- b) Polímeros

3.2.3 Operacionalización de las variables

Tabla 14

Operacionalización de variables

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y con polímeros						
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGIA
Caucho	Es un material elastómero que se extrae de manera natural, Se obtiene como una sustancia lechosa conocida como látex y se extrae principalmente del árbol HEVEA; también se puede obtener de manera sintética.	El porcentaje y la granulometría de las partículas de caucho que se agrega aumenta la viscosidad del asfalto, en las mezclas asfálticas este fenómeno enrolla con películas sumamente gruesas de asfalto los agregados, de esta manera evita que ocurra exudación o escurrimiento	Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con caucho y mezclas asfálticas con polímeros	Densidad Estabilidad Flujo	Investigaciones nacionales e internacionales	Método: Deductivo Orientación: Aplicada Enfoque: Cuantitativa Fuente: Bibliográfico Tipo de Investigación
	Polímeros	Son sustancias químicas formadas por la unión de compuestos llamados monómeros. Cada polímero tiene una propiedad determinada.	Los polímeros, una vez dispersos en el asfalto, llegan a formar verdaderas redes tridimensionales, creando un reticulado que confiere propiedades relevantes de elasticidad al asfalto modificado.	Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con caucho y mezclas asfálticas con polímeros		
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	METODOLOGIA
Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Son el conjunto de comportamientos físicos que presenta una mezcla asfáltica convencional o modificada con algún polímero. Las cuales determinan la calidad de la mezcla asfáltica.	Características físicas que determina la calidad de la mezcla asfáltica basándose en los resultados de los ensayos de estabilidad, fluencia, fatiga, etc.	Propiedades mecánicas de mezclas asfálticas	Densidad Estabilidad Flujo Vacío de aire Vacío de agregado mineral	Investigaciones nacionales e internacionales	Descriptivo Correlacional Explicativo Nivel de Investigación Descriptivo

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO IV: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1 Método de investigación

La investigación es de método deductivo, porque a partir de investigaciones, tesis realizadas se va hacer la comparación de diversos resultados y de esta manera generar nuevos conocimientos con respecto a mezclas asfálticas con adición de caucho y mezclas asfálticas con polímeros para su implementación en soluciones prácticas de la misma magnitud.

4.2 Orientación de la investigación

La orientación de la investigación es básica, debido a que se determinara las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros y caucho reciclado haciendo una comparación entre ellas, determinado cuáles serán sus diferencias en la influencia de ambas mezclas asfálticas

4.3 Enfoque de la investigación

La investigación es de enfoque cualitativo, debido a que inferiremos en conclusiones según los datos, resultados obtenidos en trabajos de investigaciones recolectadas.

4.4 tipo de la investigación

La investigación es de tipo descriptiva debido a que determinaremos las diferencias entre las mezclas asfálticas con polímeros y caucho recolectando los datos y resultados de trabajo de investigación recolectadas.

4.5 Diseño de la investigación

El diseño según la finalidad del estudio es observacional ya que no se hará intervención sobre los resultados obtenidos de los trabajos de investigación, los cuales determinaran el desarrollo de la investigación.

4.6 Población

La población estará conformada por 11 investigaciones nacionales, 2 investigaciones internacionales y 2 paper sobre las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas modificadas con polímeros y caucho.

4.7 Muestra

La muestra estará dada por investigaciones basadas en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con polímero y caucho de las cuales recolectaremos información para comparar dichas propiedades mecánicas.

4.8 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se hizo por medio de investigaciones existentes basadas en las propiedades asfálticas modificadas con polímeros y caucho (diseños de mezclas asfálticas, ensayos al cemento asfáltico de petróleo, ensayos de estabilidad, flujo y desempeño).

4.9 Descripción de procedimientos de análisis

- a) Se eligieron los trabajos de investigación sobre mezclas asfálticas modificadas con polímeros y caucho.
- b) Se hizo un cuadro comparativo entre las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con polímeros y mezclas asfálticas con caucho.
- c) Las propiedades a comparar son la densidad, estabilidad, flujo, vacíos de aire y vacíos de agregado mineral de las mezclas asfálticas con polímeros y mezclas asfálticas con caucho.

CAPITULO V PRESENTACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

5.1 Investigaciones analizadas con adición de caucho

Tabla 15

Investigaciones analizadas con adición de caucho en el presente estudio

N°	Investigación	Autor	Universidad / Revista	País	Año
1	INFLUENCIA MECÁNICA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS EN LA CIUDAD DE LIMA	Nefi Moroni Godoy Salcedo	Universidad Privada del Norte	Perú	2020
2	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO MEDIANTE PROCESO POR VÍA SECA RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	José Luis Granados Noa	Universidad Ricardo Palma	Perú	2017
3	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra	Universidad Privada del Norte	Perú	2022
4	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO	Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca	Universidad Técnica de Ambato	Ecuador	2017

5	Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas	Maguiña Salazar Walther Teófilo	Universidad Ricardo Palma	Perú	2019
6	Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores	Campaña O.; Galeas S.; Guerrero V	Escuela Politécnica Nacional, Ecuador (paper)	Ecuador	2015
7	Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos	G. Martínez; B. Caicedo; D. Gonzales; L. Celis	Revista Ingeniería de Construcción (paper)	Colombia	2018
8	EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN POR VÍA SECA, DEL POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO, COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO	Universidad San Martin de Porres	Perú	2014
9	INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE PARTICULAS DE CAUCHO RECICLADO COMO AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA	ALVAREZ BRICEÑO LUIS ALBERTO, CARRERA SANCHEZ EVER TONY	Universidad Privada Antenor Orrego	Perú	2017

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 15 se muestra el resultado del filtro original que se registra, del cual se concluye que toda variable que incide en la mezcla asfáltica fue modificada por caucho, y todo resultado de acuerdo a los parámetros para nuestro respectivo análisis, para realizar el mejor proceso, los códigos fueron asignados para cada estudio. Por lo tanto, la Tabla 15 analiza cada variable que afecta las mezclas asfálticas modificadas con

caucho y asegura que cumplen con los resultados de cada parámetro de diseño Marshall, todo como un filtro final.

5.1.1 Cemento asfáltico

Manual vial - Especificaciones técnicas generales para la construcción EG2013 (Ministerio de Carreteras y Comunicaciones, 2013) clasifica los cementos asfálticos según el grado de viscosidad absoluta medido a 60 °C y según el grado de penetración o consistencia que se mide mediante el ensayo de penetración.

Teniendo en cuenta que el desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en la ciudad de Lima, la elección del tipo de cemento asfáltico se realizó en base a la EG-2013 donde la temperatura media anual es de 15 grados. °C a 2°C y/o por encima de 2°C, se pretende utilizar cemento asfáltico con clase de penetración PEN 60-70. La tabla 16 a continuación muestra que todos los ensayos de las diferentes investigaciones utilizaron el cemento asfáltico PEN 60/70 y el tamaño máximo.

Tabla 16

Clasificación de cemento asfáltico y agregados.

N°	Investigación	Cemento asfáltico	Agregado grueso TM	agregado fino TM
1	INFLUENCIA MECÁNICA DEL POLVO DE CAUCHO PROCEDENTE DE NEUMÁTICOS EN LA PAVIMENTACIÓN DE CARRETERAS EN LA CIUDAD DE LIMA	60/70	3/4	1/4
2	COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON CAUCHO MEDIANTE PROCESO POR VÍA SECA RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	60/70	3/4 Y 3/8	1/4
3	INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE	60/70	3/4	1/4

ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES				
4	MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE CAUCHO DE LLANTA RECICLADO	60/70	1 1/2	1/2
	Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto			
5	a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas	60/70	3/4	1/4
	Obtención de Asfalto Modificado con Polvo de			
6	Caucho Proveniente del Reciclaje de Neumáticos de Automotores	60/70	3/4	1/4
	Trece años de continuo desarrollo con mezclas			
7	asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos	60/70	3/4	1/4
	EFECTO DE LA INCORPORACIÓN POR VÍA			
8	SECA, DEL POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO, COMO AGREGADO FINO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	60/70	3/4	3/8
	INFLUENCIA DE LA INCORPORACION DE			
9	PARTICULAS DE CAUCHO RECICLADO COMO AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA	60/70	3/4	1/2

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la Tabla 17 y Tabla 18 se presentan las características físicas de la combinación de agregados, los cuales deben cumplir con los requerimientos indicados en la EG-2013, a acepción de la absorción.

Tabla 17

Características físicas del agregado grueso

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Durabilidad	MTC E 209	18% máx.
Abrasión	MTC E 207	40% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 211	10% máx.
Caras Fracturadas	MTC E 210	85 / 100
Sales Salubres	MTC E 219	0.5% máx.
Adherencia	MTC E 517	>95
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Características físicas del agregado fino

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento
Equivalente de arena	MTC E 114	60% min
Angularidad	MTC E 222	30% min
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4% máx.
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	0.5% máx.

Fuente: Elaboración Propia

5.1.2 Grano de caucho utilizado

El caucho utilizado de esta investigación es de reciclaje de llantas usadas y trituración. El grano de caucho es obtenido producto del reciclado, lo cual está compuesto por caucho proveniente de la trituración mecánica y separación de otros materiales que están compuestas las llantas usadas, donde las principales características son la granulometría, contenido de humedad y contenido de impurezas (acero, textil y otras impurezas).

5.1.3 polímeros

son polímeros lineales amorfos, generalmente insaturados, que sometidos al proceso de vulcanización adquieren una estructura parcialmente reticulada, que le confiere sus propiedades elásticas.

S.B.S. (Estireno-Butadieno-Estireno) o Caucho Termoplástico: desarrollado en Estados Unidos en la década del 60 en adhesivos y suelos. Llega luego al asfalto. Los dos homopolímeros que lo forman son incompatibles entre sí. La más incompatible: el Estireno (fase dura) con temperatura de cristalización(100°C). Y el Butadieno (fase elástica) con temperatura de cristalización menor que ambiente. (pp. 622-623)

5.2 Diseño de las mezclas asfálticas

5.2.1 Diseño de mezcla asfáltica convencional

Ensayo Marshall.

Es el ensayo donde podemos determinar la mezcla óptima, de una briqueta representativa logrando obtener la mayor estabilidad y contenidos de cemento asfáltico a porcentajes distintos que estos nos ayuda a que se pueda mezclar con los agregados.

El método Marshall se realiza después de obtener la cantidad de agregado, se procede hacer la mezcla con el cemento asfáltico compactando con 75 golpes.

Penetración: es un procedimiento para determinar la penetración bituminosos sólidos y semisólidos en el asfalto.

Punto de inflamación. Es el ensayo que logra determinar la temperatura mínima en la q el asfalto produce flamas al estar en contacto con el fuego.

Ductilidad: es el que determina la capacidad de cambios susceptibles sin llegar a romperse. Ensayo de adherencia agregado fino y grueso: esta prueba establece la capacidad de unirse con otros agregados.

Ensayo de compresión: estipula la severidad a las cargas.

Ensayo de deflectometría: este ensayo determina la deflexión de los asfaltos.

Ensayo de rugosidad: Se determina los pequeños relieves que debe de tener el pavimento asfaltico para una mejor adherencia de las llantas del vehículo con la capa de rodadura.

Para poder obtener el contenido óptimo de la mezcla asfáltica convencional, se realizaron en las siguientes investigaciones con diferentes contenidos de asfalto. Las cuales los porcentajes varían entre el 4% a 8%.

Los resultados del ensayo Marshall de las diferentes investigaciones para cada contenido de asfalto son los siguientes:

Cemento Asfaltico

Tabla 19

Contenido de Cemento Asfaltico

Investigaciones	Cemento Asfaltico (%)						
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	7.0	7.5
Nefi Moroni Godoy Salcedo	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0		
José Luis Granados Noa	5.0	5.5	6.0	6.5			
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0		
Maguiña Salazar Walther Teófilo	5.5	6.0	6.5	7.0			
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	

Fuente: Elaboración Propia

Densidad

Tabla 20

Resultados de la Densidad

Investigaciones	Densidad (Kg / cm ³)									
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	
Cemento asfáltico (%)										
Nefi Moroni Godoy Salcedo	2.40	2.42	2.44	2.45	2.46					
José Luis Granados Noa			2.36	2.39	2.39	2.38				
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra			2.22	2.25	2.27	2.34	2.32	2.32	2.33	
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca			2.00	1.98	2.01	2.01	1.89			
Maguiña Salazar Walther Teófilo				2.28	2.32	2.31	2.32			
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS			2.34	2.38	2.40	2.42	2.40	2.38		
ALFONSO										

Fuente: Elaboración Propia

Estabilidad

Tabla 21

Resultados de la Estabilidad

Investigaciones	Estabilidad (Kg)								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Cemento asfáltico (%)									
Nefi Moroni Godoy Salcedo	1,07	1,21	1,27	1,20	1,07				
	8.30	5.30	1.30	7.00	8.30				
José Luis Granados Noa			1,25	1,36	1,35	1,31			
			9.00	0.00	6.00	1.00			
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra			898.	958.	1,00	931.	872.	848.	813.
			.37	53	7.48	00	88	40	73
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca			1,35	1,63	1,75	1,84	1,93		
			8.68	9.99	1.14	3.39	7.75		
Maguiña Salazar Walther Teófilo				693.	907.	1,00	664.		
				00	20	9.20	20		
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO			169		1,87	1,85	1,87	1,63	1,45
			3		1.00	9.00	1.00	4.00	1.00

Fuente: Elaboración Propia

Flujo

Tabla 22

Resultados de la Flujo

Investigaciones	Flujo (0.01" y mm)								
Cemento asfáltico (%)	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Nefi Moroni Godoy Salcedo	10.0	11.6	12.6	13.6	15.3				
	0	0	0	0	0				
José Luis Granados Noa			12.0	13.3	13.7	15.0			
			0	0	0	0			
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra			8.70	9.04	8.81	10.0	10.4	10.5	10.7
						9	3	1	3
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca			11.0	12.0	12.0	13.0	14.0		
			0	0	0	0	0		
Maguiña Salazar Walther Teófilo				2.20	3.20	3.70	4.20		
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO			4.4	4.10	4.30	5.10	5.20	6.30	

Fuente: Elaboración Propia

Vacío de Aire

Tabla 23

Resultados de *la* Vacíos de aire

Investigaciones	Porcentaje de Vacíos de Aire (%)								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Cemento asfáltico (%)									
Nefi Moroni Godoy Salcedo	7.20	5.50	4.00	2.70	1.60				
José Luis Granados Noa			5.80	4.10	2.80	2.10			
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra			4.39	4.03	3.81	3.87	3.61	3.59	3.37
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca			1.64	1.63	15.0 7	14.0 9	19.0 6		
Maguiña Salazar Walther Teófilo					8.90	6.10	4.40	3.50	
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO			6.9		4.40	3.20	1.50	1.00	1.20

Fuente: Elaboración Propia

Vacíos Mineral de Agregados

Tabla 24

Resultados de *la* Vacíos Mineral de Agregados

Investigaciones	Porcentaje de Vacíos en Agregado Mineral								
	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0
Cemento asfáltico (%)									
Nefi Moroni Godoy Salcedo	15.0	14.5	14.4	14.3	14.4				
	3	0	0	6	3				
José Luis Granados Noa			15.9	15.1	15.7	16.2			
			0	0	0	0			
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra			12.4	12.4	11.2		10.2	10.7	10.8
			9	9	0	9.09	7	1	3
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca			25.4	26.2	25.7	26.0	31.0		
			7	7	0	3	1		
Maguiña Salazar Walther Teófilo					8.90	6.10	4.40	3.50	
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO				6.9	4.40	3.20	1.50	1.00	1.20

Fuente: Elaboración Propia

Después de comparar diferentes datos de contenido, analizamos el contenido de asfalto óptimo para la próxima encuesta. Cambia ampliamente entre 5%, 5.5%, 6% y 6.5%, utilizando este contenido óptimo. Diseño Marshall basado en EG -2013 mostrado en la Tabla 25.

Tabla 25

Requerimientos EG – 2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional según su óptimo contenido de asfalto.

	Óptimo CA%	Compac tación	Densida d	Estabilid ad	Flujo	VA%	VMA %
Nefi Moroni Godoy Salcedo	5.2	75	2.444	1252	13.2	3.5	14.33
José Luis Granados Noa	5.5	75	2.384	1350	13.3	4	15.3
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra	6	50	2.414	1007.48	8.81	3.81	11.2
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca	5.7	75	2.022	1751.14	11.9	1.47	25.3
Maguiña Salazar Walther Teófilo	6.45	75	2.334	1007.3	3.1	3.7	10.4
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO	5.6	75	2.386	1860	4.3	4.2	16.2
Requerimiento				8.15kN / 831kg	8 - 14 / 3 - 5 0.01" /	3% - 5%	14% min
Unidades	%	golpes	gr/cm ³	kg	0.25m m	%	%

Fuente: Elaboración propia

5.3 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con granos de caucho mediante proceso por vía seca

La metodología de diseño empleada toma en consideración, Guía para la fabricación de betunes con polvo de neumático (Gallego y Saiz, 2017) y Manual de Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente MS-22 (Instituto del Asfalto, 1982).

Se estudia la influencia que produce el polvo de caucho al incorporarse como una parte de los agregados finos en la elaboración de las mezclas asfálticas modificadas.

La técnica de utilización del caucho es mediante proceso por vía seca y la tecnología para el uso del caucho es la convencional, la cual usa porcentajes de incorporación de caucho hasta el 0.5 al 2.5% del peso total de los agregados.

Los granos de caucho se incorporaron en porcentajes de 0.5%, 1.5% y 2.5% con respecto al peso del agregado y se utiliza una granulometría total que se enmarca dentro de los usos granulométricos de la ASTM D 3515. (Granados, 2017, p. 92).

- a) Granulometría
- b) Contenido de Humedad
- c) Contenido textil
- d) Contenido de impurezas

5.3.1 Diseño final con la mezcla de polvo de caucho

De los resultados del diseño Marshall de la mezcla con polvo de caucho se obtuvo las siguientes gráficas de los valores de Densidad, Estabilidad, Flujo, Vacíos y VMA, las cuales se representa en la siguiente tabla 27.

Tabla 26

Resultados de diseño Marshall de mezcla asfáltica modificada con caucho según investigaciones

	Incorporación de caucho	Optimo CA%	Densidad	Estabilidad	Flujo	VA %	VMA %
Nefi Moroni Godoy Salcedo	0.5	5.2	2.42	2001	13.7	3.9	14.6
José Luis Granados Noa	0.5	5.5	2.352	2175	13.8	4.7	16.5
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel	1	6	2.359	1108.43	8.72	3.85	7.55
Rodríguez Neyra Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca	1	5.7	1.94	1924.27	14	1.93	29.1
Maguiña Salazar Walther Teófilo	1	5.81	2.1	998.5	3.1	3.6	18.4
FAJARDO CACHAY, LUIS ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO	1	5.3	2.388	2274	3.9	4.1	16.1
Requerimiento				8.15kN / 831kg	8 - 14 / 3 - 5 / 0.01" /	3% - 5%	14% min
Unidades	%	%	gr/cm ³	kg	0.25m	%	%

Fuente: Elaboración Propia

5.4 Investigación Analizadas con adición de polímeros

Tabla 27

Investigaciones analizadas con adición de polímero en el presente estudio

Nº	Investigación	Autor	Universidad / Revista	País	Año
----	---------------	-------	-----------------------	------	-----

	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BETUTEC IC + ADITIVO WARMIX RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.	PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA, HERLESS LIMAS SIFUENTES	Universidad San Martín de Porres	Perú	2018
2	EVALUACIÓN DE ESTABILIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE UTILIZANDO ADITIVO SBS.	Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	Universidad Cesar Vallejo	Perú	2020
3	ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	INFANTE ATAURIMA CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ	Universidad Señor de Sipán	Perú	2016
4	CARACTERIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, ELABORADAS CON EL USO DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO CON POLÍMERO SBR Y SBS.	Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander	Universidad Central del Ecuador	Ecuador	2019
5	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON	Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez Villanueva	Universidad Privada del Norte	Perú	2019

POLÍMEROS SBS
BETUTEC IC Y UNA
MEZCLA
ASFÁLTICA
CONVENCIONAL 60/70.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se muestra el resultado del filtro original que se registra, del cual se concluye que toda variable que incide en la mezcla asfáltica fue modificada con polímero, y todo resultado de acuerdo a los parámetros para nuestro respectivo análisis, para realizar el mejor proceso, los códigos fueron asignados para cada estudio. Por lo tanto, la Tabla 28 analiza cada variable que afecta las mezclas asfálticas modificadas con polímeros y asegura que cumplen con los resultados de cada parámetro de diseño Marshall, todo como un filtro final.

5.4.1 Cemento asfáltico y agregados de las mezclas convencionales

se pretende utilizar cemento asfáltico con clase de penetración PEN 60-70. La tabla 28 a continuación muestra que todos los ensayos de las diferentes investigaciones utilizaron el cemento asfáltico PEN 60/70 y con su correspondiente tamaño máximo.

Tabla 28

Clasificación de cemento asfáltico y agregados.

N°	Investigación	Cemento asfáltico	Agregado grueso TM	agregado fino TM
1	ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON BETUTEC IC + ADITIVO WARMIX RESPECTO A LA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	60/70	3/4	1/2
2	Evaluación de estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente utilizando aditivo SBS	60/70	3/4	1/2
3	ESTUDIO COMPARATIVO DEL MÉTODO CONVENCIONAL Y USO DE LOS POLÍMEROS EVA Y SBS EN LA APLICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	60/70	3/4	1/4
4	Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS.	60/70	3/4	1/2
5	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS SBS BETUTEC IC Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL 60/70	60/70	3/4	3/8

Fuente: Elaboración propia

5.5 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímero

5.5.1 Diseño mezcla convencional

Se ha diseñado respecto al Manual de Ensayos de Materiales MTC E 504, Ministerio de Transporte (2016), mediante ensayo Marshall se obtiene el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, contenidos de asfalto diferentes para determinar el contenido óptimo de asfalto en la mezcla convencional se muestra la siguiente tabla 29.

Tabla 29

contenido óptimo de asfalto

Investigaciones	Cemento Asfáltico (%)				
PATRICIA ELIZABETH					
CAHUANA HUAYANCA,	5.00	5.50	6.00	6.50	
HERLESS LIMAS SIFUENTES					
Flores Armas, Sandra Jaqueline,					
Monzón Rivera, Yefersong	3.80	4.30	4.80	5.30	5.8
Aderlinth					
INFANTE ATATURIMA CARLOS					
ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN	4.70	5.00	5.30	5.60	
DEYNIS HANZ					
Borja Torres Stalin Alberto,					
Cárdenas Castillo Joffre Alexander	5.50	6.00	6.50	7.00	
Gerardo Luis Villafana Huamán,					
Raúl Mauricio Ramírez Villanueva	4.50	5.00	5.50	6.00	

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Parámetros Marshall de una mezcla asfáltica convencional

Se revisó para cada investigación el porcentaje de asfalto establecido, las cuales fueron determinadas mediante en ensayo Marshall, los parámetros Marshall se representan en la siguiente tabla, los valores de estabilidad, flujo, densidad, porcentaje de vacíos y porcentaje de vacío mineral

Tabla 30

Resultados de la densidad

Investigaciones	Densidad (Kg / cm ³)												
	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
Cemento asfáltico (%)													
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA						2.35		2.39			2.38	2.38	
HUAYANCA, HERLESS LIMAS						5		1			7	4	
SIFUENTES													
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón		2.7			2.7					2.8			
Rivera, Yefersong Aderlinth	2.67	2			6		2.8			5			
INFANTE ATÁURIMA CARLOS ANDRÉ,				2.46			2.46		2.42				
VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ				3			1		2				
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas								2.33			2.23	2.25	2.26
Castillo Joffre Alexander								6			2	4	7
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl			2.36			2.39		2.43			2.45		
Mauricio Ramírez Villanueva			1			7		3			3		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Resultados de la estabilidad

Investigaciones	Estabilidad (Kg)												
Cemento asfáltico (%)	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA, HERLESS LIMAS SIFUENTES						125		13			13	13	
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	932.	1040			108		1068			1011			
INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ	02	.11			0.9		.66			.56			
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander				447.		536.	933.		1266				
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez Villanueva				69		75	18		.38				
								16			20	19	14
								46			67	22	86
			11			137		14			13		
			77			6		42			21		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Resultados de flujo

Investigaciones	Flujo (0.01" y mm)												
	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
Cemento asfaltico (%)													
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA													
HUAYANCA, HERLESS LIMAS						12.0		13.			15.	15.	
SIFUENTES						0		30			00	00	
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón	10.94	11.5			13.1		14.0			15.4			
Rivera, Yeferson Aderlinth		4			1		9			3			
INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ,													
VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ				14.0		9.00	8.33		7.67				
				0									
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas									8.0		9	10	12
Castillo Joffre Alexander									0				
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl													
Mauricio Ramírez Villanueva			3.2			3.40		3.6			3.9		
			0					0					

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33

Resultados de porcentaje de vacíos de aire

Investigaciones	Porcentaje de Vacíos de Aire (%)												
	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
Cemento asfáltico (%)													
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA, HERLESS LIMAS SIFUENTES						5.80		4.10			2.80	2.10	
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	5.35	4.74			4.43		3.85			3.45			
INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ				4.97		4.53	4.31		4.22				
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander								4.45			4.04	3.71	3.47
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez Villanueva				7.30		5.30		3.50			1.9		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Resultados de porcentaje de vacíos en agregado mineral

Investigaciones	Porcentaje de Vacíos en Agregado Mineral												
	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
Cemento asfáltico (%)	3.8	4.3	4.5	4.7	4.8	5.0	5.3	5.5	5.6	5.8	6.0	6.5	7.0
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA,						15.		15.			15.	16.	
HERLESS LIMAS SIFUENTES						90		10			70	20	
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera,	16.2	15.8			15.6		15.			15.			
Yefersong Aderlinth	1	4			6		46			19			
INFANTE ATaurima CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ				9.1		8.0	9.1		10.				
ALARCÓN DEYNIS HANZ				5		1	7		78				
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre								12.			13.	12.	12.
Alexander								61			19	81	77
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez			16.4			15.		14.			14.		
Villanueva			0			50		80			5		

Fuente: Elaboración propia

Una vez recolectado los datos de los parámetros Marshall para diferentes contenidos de asfalto, se analiza el contenido óptimo de asfalto que va desde 3.8% a 7.0% para la mezcla convencional y sus correspondientes parámetros Marshall para dicho contenido óptimo, respetando los requerimientos mostrados en el EG-2013.

Tabla 35

Requerimientos EG – 2013 y diseño Marshall de la mezcla asfáltica convencional según su óptimo contenido de asfalto.

Investigaciones	Óptimo CA%	Densidad gr/cm ³	Estabilidad Kg	Flujo 0.01"	VA%	VMA %
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA, HERLESS LIMAS SIFUENTES	5.5	2.391	1360	13.3	4.1	15.1
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	5.17	2.221	1075.71	13.78	4	15.54
INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ	5	2.32	536.75	9	4.53	8.01
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander	6.1	2.239	923.51	9.2	4	13.04
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez Villanueva	5.4	2.529	1373	13.78	3.8	14.7
Requerimiento			8.15kN / 831kg	8 - 14 / 3 - 5	3% - 5%	14% min

Fuente: Elaboración propia

5.6 Diseño de la mezcla asfáltica modificada con polímero

5.6.1 Diseño final con la mezcla modificada con polímero

Se recopiló la data de los parámetros Marshall para cada mezcla asfáltica convencional la cual se modificó con polímero para analizar los cambios en los parámetros Marshall y de esta manera encontrar que para casos determinados que mezcla nos resultaría conveniente.

De los resultados del diseño Marshall de la mezcla modificada con polímero se obtuvieron las siguientes gráficas de los valores de Densidad, Estabilidad, Flujo, Vacíos y VMA, las cuales se representan en la siguiente tabla 36.

Tabla 36

Resultados de diseño Marshall de mezcla asfáltica modificada con polímero según investigaciones

Investigaciones	Óptimo CA%	Densidad gr/cm ³	Estabilidad Kg	Flujo 0.01"	VA%	VMA %
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA HUAYANCA, HERLESS LIMAS SIFUENTES	5.50	2.428	1770.00	13.70	3.10	15.50
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	4.95	2.446	1816.00	9.14	4.00	15.03
INFANTE ATATURIMA CARLOS ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN DEYNIS HANZ	4.00	2.320	1345.38	9.67	1.64	4.52
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas Castillo Joffre Alexander	6.10	2.322	927.50	9.00	4.18	14.00
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl Mauricio Ramírez Villanueva	5.30	2.525	1964.00	13.11	3.90	14.80
Requerimiento			8.15kN/ 831kg	8 - 14 / 3 - 5	3% - 5%	14% min

Fuente: Elaboración propia

5.7 Análisis correlacional de la recopilación filtrada de la base de datos, resultados en cuanto a los ensayos Marshall de mezclas asfálticas modificadas con caucho.

En este capítulo, se realiza un análisis de correlación de los resultados para cada parámetro de diseño Marshall donde se utilizando investigaciones pasadas. Estos resultados se comparan en una sola base de datos, ya que cumplieron los filtros finales realizados en la presentación de datos.

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	-----	1200	-----	1800	-----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Figura 17 Tabla de criterios de diseño Marshall según el tráfico inducido

Fuente: Extraído de Publicación Técnica No 246 Sanfandila, Qro, 2004

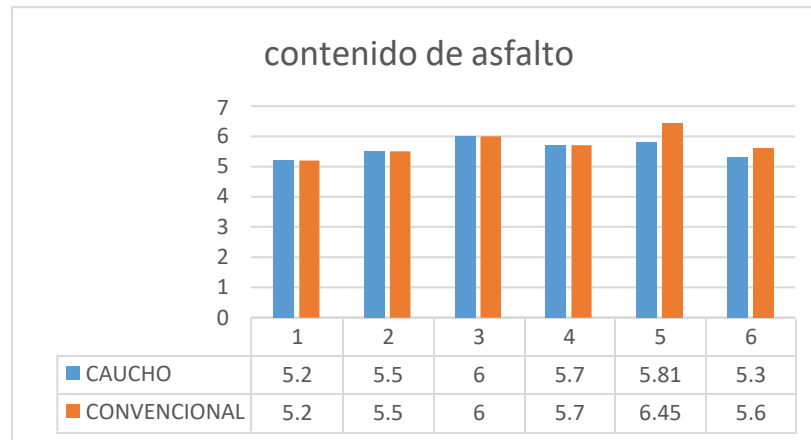


Figura 18: Grafico comparativo de contenido de asfalto optimo de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Según observado en la figura 18 evidenciamos que el contenido óptimo de asfalto para cada investigación presenta el mismo porcentaje entre las mezclas asfálticas convencional y modificadas, que estas varían entre el 5% al 6%.

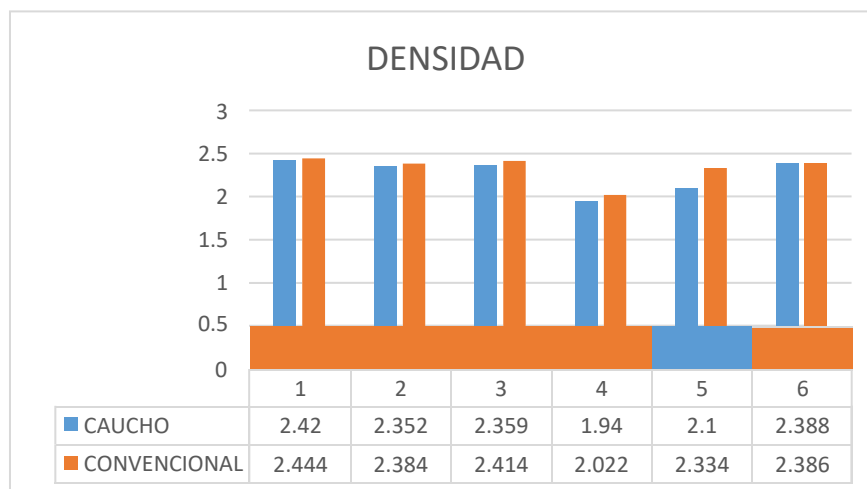


Figura 19: Grafico comparativo de densidad de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 19, se aprecia los diferentes valores de densidad tanto para la mezcla asfáltica convencional como la mezcla asfáltica modificada con caucho. Se muestra el grafico donde evidenciamos que, en la mayoría de casos de las mezclas asfálticas modificadas con caucho, la densidad de la mezcla asfáltica disminuye ligeramente, con lo cual no presenta una mezcla demasiado densa, así garantizando que

en la carpeta asfáltica no se pueda presentar fallas debido a una mezcla asfáltica con una densidad muy alta.

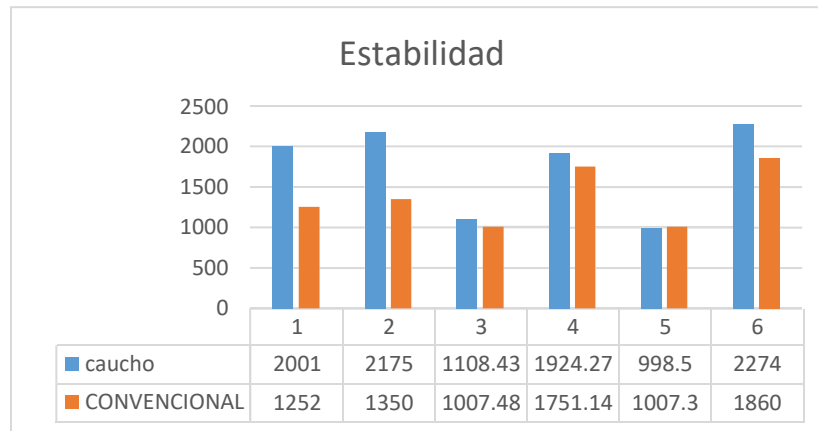


Figura 20: Grafico comparativo de la estabilidad de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los resultados expuestos en la figura 20 podemos observar que en la mayoría de casos la estabilidad de la mezcla modificada con caucho aumenta considerablemente con respecto a la mezcla convencional. Esto es favorable para los pavimentos asfálticos, debido a que de esa manera puede soportar las deformaciones producidas por las cargas de tránsito y resistir desplazamientos horizontales, eso dependerá de la fricción y cohesión de la mezcla asfáltica.

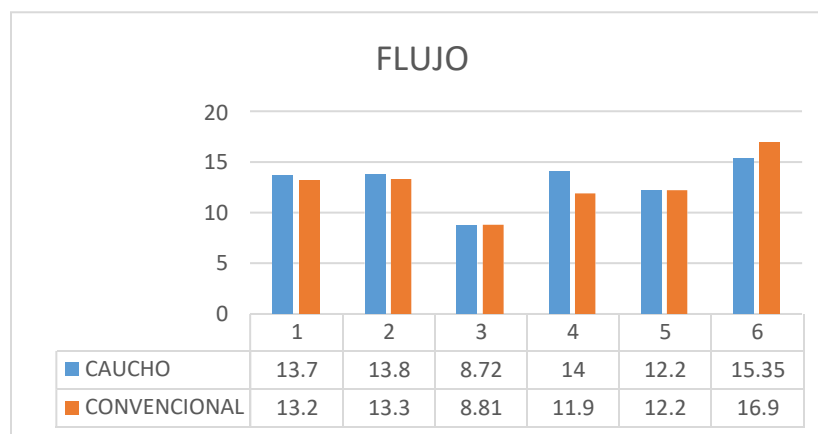


Figura 21: Grafico comparativo de flujo de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos que tenemos en la figura 21 nos damos cuenta que en las mezclas modificadas con caucho el flujo aumenta ligeramente y en algunos casos de manera significativa con respecto a una mezcla convencional. Lo cual brinda a la mezcla

asfáltica mejor capacidad para soportar los asentamientos y deformaciones sin agrietarse, debido a la aplicación de cargas producidas por el tráfico vehicular.

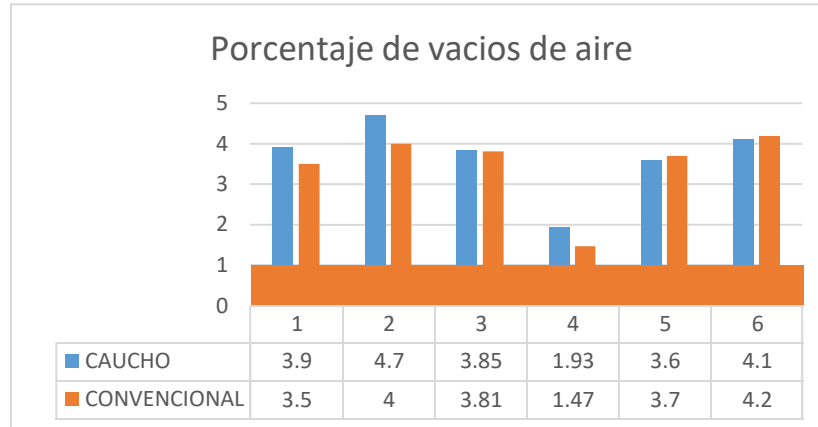


Figura 22: Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 nos muestra el porcentaje de vacíos de cada mezcla asfáltica ya sea con incorporación de caucho o convencional. Podemos apreciar que para las mezclas modificadas con caucho su porcentaje de vacíos de aire aumenta con respecto a una mezcla convencional, lo cual quiere decir que los asfaltos al estar sometidos por cargas permanentes pueden deformarse y cubrir esos vacíos sin presentar algún daño, caso contrario sería que no tuviera lugar y presente grietas o el fenómeno de exudación del asfalto. También siempre se busca un porcentaje óptimo de vacíos de aire.

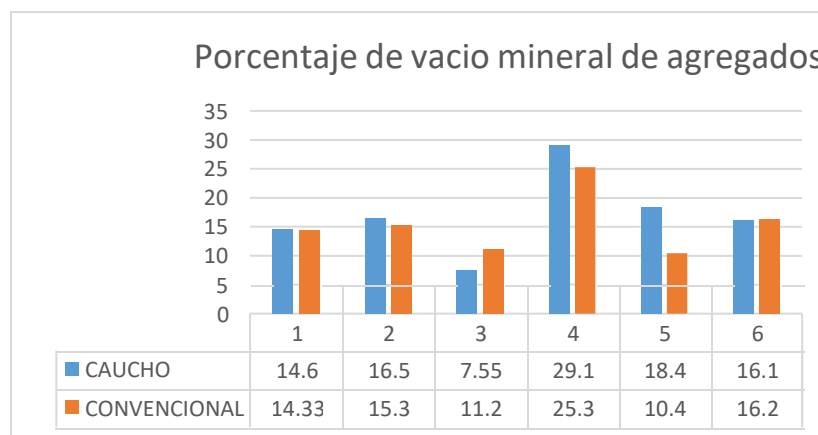


Figura 23: Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se analiza los resultados del porcentaje de vacío mineral de agregados para una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con caucho, donde evidenciamos que una mezcla modificada presenta mejores porcentajes de vacío mineral de agregados con respecto a una mezcla convencional. Tener un adecuado porcentaje de vacío mineral de agregados evita que la mezcla asfáltica sea susceptible a la oxidación y que la película de asfalto sea de dimensiones considerables, aglomere a todos los agregados y presente mejor durabilidad.

Tabla 37

Comparación de variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con caucho

Investigaciones	Variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con caucho				
	Densidad	Estabilidad	Flujo	Va%	VMA%
Nefi Moroni Godoy Salcedo	0.99%	37.43%	3.65%	10.26%	1.85%
José Luis Granados Noa	1.36%	37.93%	3.62%	14.89%	7.27%
Elmer Raúl Burgos Álvarez, Juan Daniel Rodríguez Neyra	2.33%	9.11%	1.03%	1.04%	48.34%
Fernanda Patricia Guamanquispe Vaca	4.23%	9.00%	15.00%	23.83%	13.06%
Maguiña Salazar Walther Teófilo FAJARDO CACHAY, LUIS	11.14%	0.88%	0.00%	2.78%	43.48%
ENRIQUE, VERGARAY HUAMÁN, DOUGLAS ALFONSO	0.08%	18.21%	10.10%	2.44%	0.62%

Fuente: Elaboración propia

5.8 Análisis correlacional de la recopilación filtrada de la base de datos, resultados en cuanto a los ensayos Marshall de mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

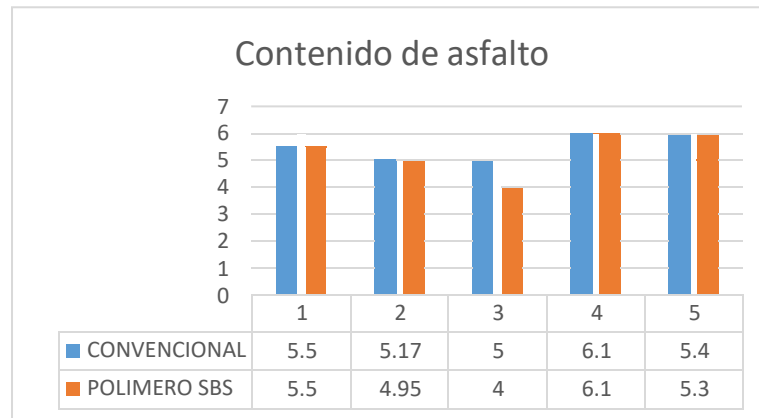


Figura 24: Grafico comparativo de contenido de asfalto optimo de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Según observado en la figura 24 evidenciamos que el contenido óptimo de asfalto para cada investigación presentando valores similares para la mezcla convencional y mezcla modificada con, los contenidos óptimos de asfalto varían entre el 4% al 6%.

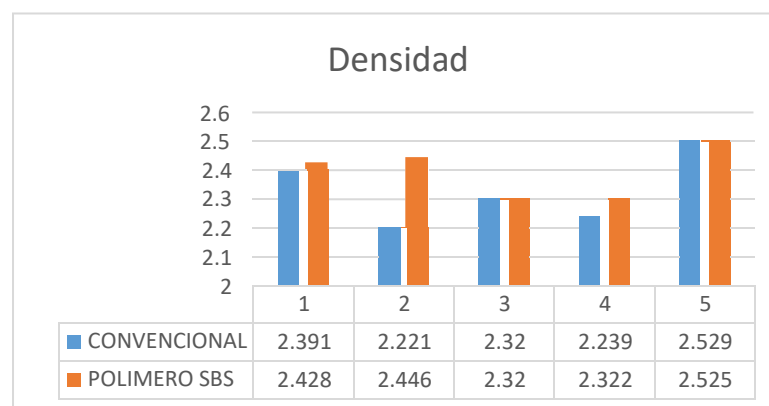


Figura 25: Grafico comparativo de densidad de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 25, se aprecia los diferentes valores para las densidades tanto para la mezcla asfáltica convencional como la mezcla asfáltica modificada con polímero. Se muestra el grafico donde evidenciamos que, en la mayoría

de casos de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, las densidades de la mezcla asfáltica aumentan de manera considerable en algunos casos, con lo cual al presentar una densidad adecuada para el pavimento evitara que el agua filtre por los poros de la carpeta asfáltica y genere daños en la composición del pavimento.

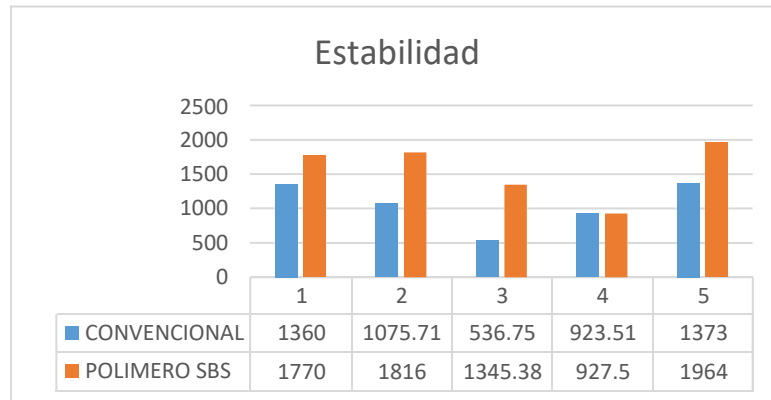


Figura 26: Grafico comparativo de la estabilidad de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los resultados expuestos en la figura 26 podemos observar que en la mayoría de casos la estabilidad de la mezcla modificada con polímero aumenta considerablemente con respecto a la mezcla convencional. Esto es favorable para los pavimentos asfálticos, debido a que de esa manera puede soportar las deformaciones producidas por las cargas de tránsito y resistir desplazamientos horizontales, eso dependerá de la fricción y cohesión de la mezcla asfáltica

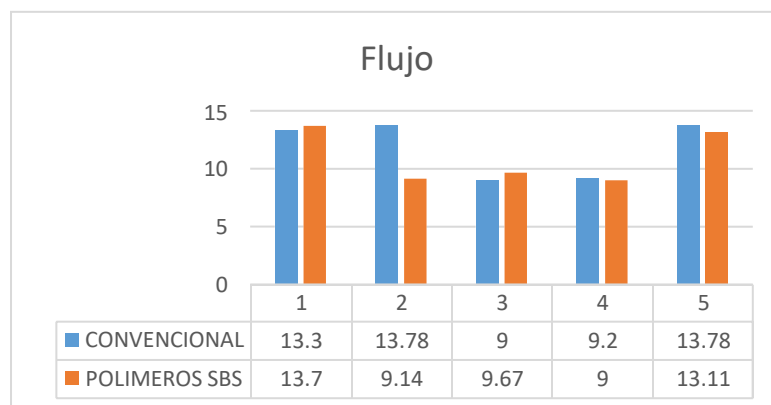


Figura 27: Grafico comparativo de flujo de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos que tenemos en la figura 27 nos damos cuenta que en las mezclas modificadas con polímeros presentan un valor para el flujo ligeramente por encima y en algunos casos de manera significativa con respecto a una mezcla convencional. Lo cual brinda a la mezcla asfáltica mejor capacidad para soportar los asentamientos y deformaciones sin agrietarse, debido a la aplicación de cargas producidas por el tráfico vehicular.

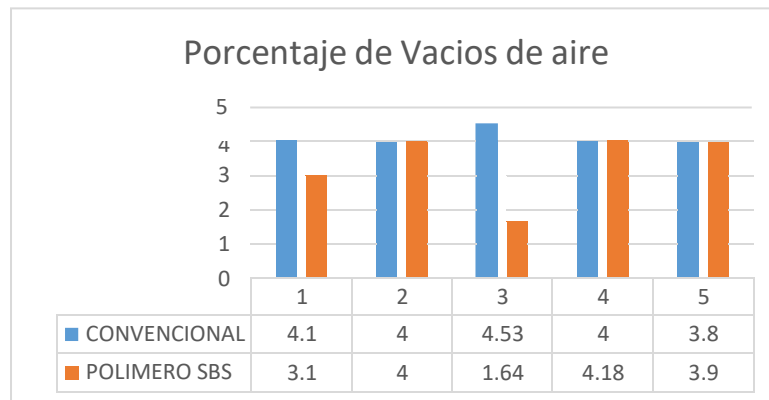


Figura 28: Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 nos muestra el porcentaje de vacíos para las mezclas asfálticas convencionales y mezclas modificadas con polímeros. Podemos apreciar que para las mezclas modificadas con polímeros su porcentaje de vacíos de aire no aumenta, se mantiene y en algunos casos disminuye con respecto a una mezcla convencional, lo cual quiere decir que los asfaltos al estar sometidos por cargas permanentes pueden deformarse y no tener los suficientes vacíos donde alojarse, produciendo algún daño al pavimento asfáltico o la exudación del mismo. Siempre se busca un porcentaje óptimo de vacíos de aire.

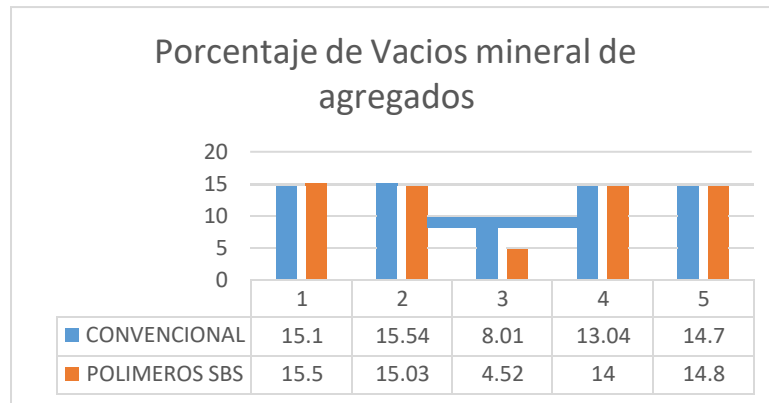


Figura 29: Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se analiza los resultados del porcentaje de vacío mineral de agregados para una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con polímeros, donde evidenciamos que los porcentajes de vacío mineral se mantienen muy similares, solo en el caso para la investigación 3 se evidencia que disminuye en la mezcla modificada con polímero con respecto a una mezcla convencional. Tener un adecuado porcentaje de vacío mineral de agregados evita que la mezcla asfáltica sea susceptible a la oxidación y que la película de asfalto sea de dimensiones considerables, aglomere a todos los agregados y presente mejor durabilidad.

Tabla 38

Variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con polímeros

Investigaciones	Variación de las propiedades de las mezclas convencional y modificada con polímeros				
	Densidad gr/cm ³	Estabilidad Kg	Flujo	VA%	VMA %
PATRICIA ELIZABETH CAHUANA					
HUAYANCA, HERLESS LIMAS	1.55%	30.15%	3.01%	24.39%	2.65%
SIFUENTES					
Flores Armas, Sandra Jaqueline, Monzón Rivera, Yefersong Aderlinth	10.13%	68.82%	33.67%	0.00%	3.28%
INFANTE ATATURIMA CARLOS					
ANDRÉ, VÁSQUEZ ALARCÓN	0.00%	150.65%	7.44%	63.80%	43.57%
DEYNIS HANZ					
Borja Torres Stalin Alberto, Cárdenas					
Castillo Joffre Alexander	3.71%	0.43%	2.17%	4.50%	7.36%
Gerardo Luis Villafana Huamán, Raúl					
Mauricio Ramírez Villanueva	0.16%	43.04%	4.86%	2.63%	0.68%

Fuente: Elaboración Propia

5.9 Comparación de las propiedades de mezclas asfálticas modificada con caucho y mezcla asfálticas modificada con polímero.

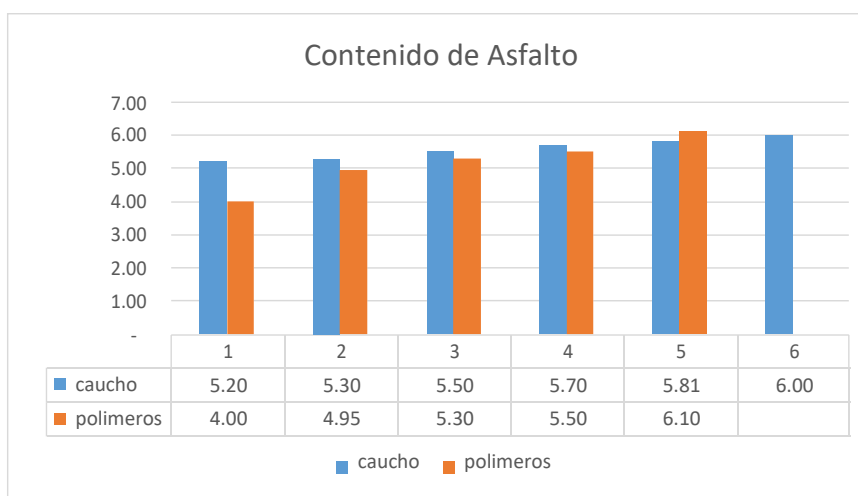


Figura 30: Grafico comparativo de Contenido de Asfalto de las mezclas modificadas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Según observado en la figura 30 evidenciamos que el contenido óptimo de asfalto para cada investigación presentando valores similares para la mezcla modificada con caucho y con polímeros, los contenidos óptimos de asfalto varían entre el 4% al 6%.

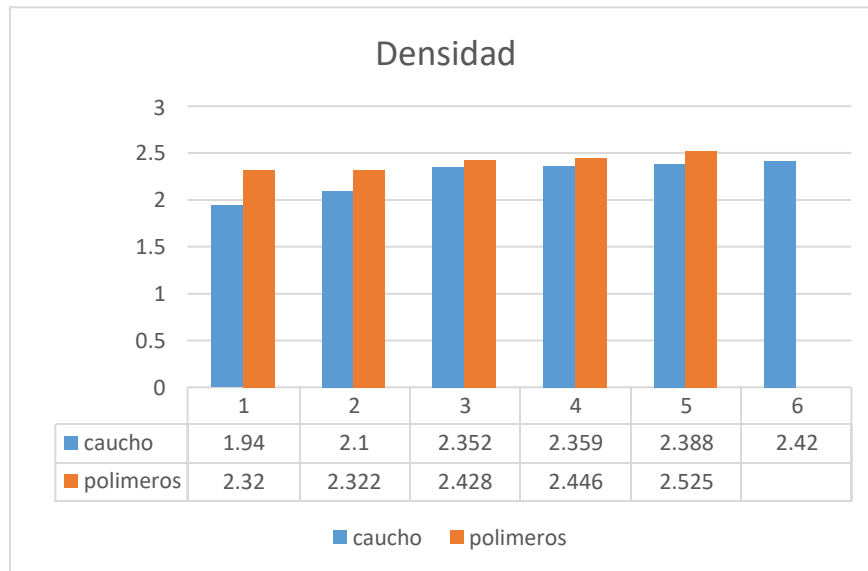


Figura 31: Grafico comparativo de Densidad de las mezclas modificadas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 31, se aprecia los diferentes valores para las densidades tanto para la mezcla asfáltica modificada con caucho como la mezcla asfáltica modificada con polímero. Se muestra el grafico donde evidenciamos que, en la mayoría de casos de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, las densidades de la mezcla asfáltica aumentan de manera considerable en algunos casos, con lo cual al presentar una densidad adecuada para el pavimento evitara que el agua filtre por los poros de la carpeta asfáltica y genere daños en la composición del pavimento.

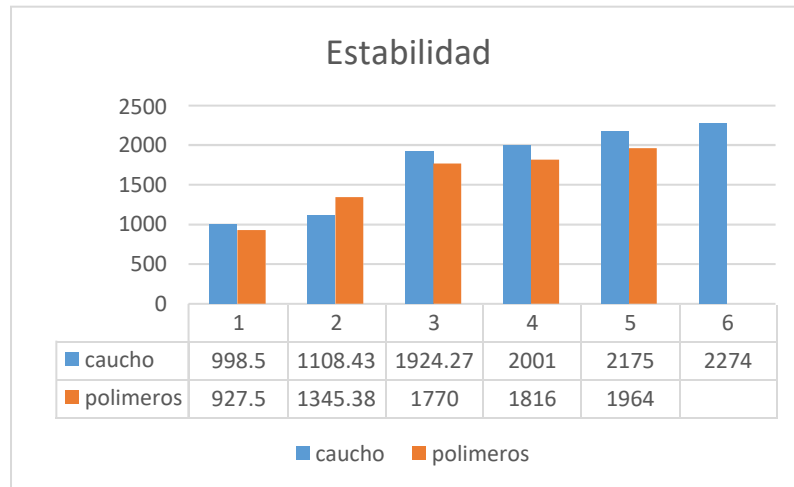


Figura 32: Grafico comparativo de Estabilidad de las mezclas modificadas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Basándonos en los resultados expuestos en la figura 32 podemos observar que en la mayoría de casos la estabilidad de la mezcla modificada con caucho aumenta considerablemente con respecto a la mezcla modificada con polímero. Esto es favorable para los pavimentos asfálticos, debido a que de esa manera puede soportar las deformaciones producidas por las cargas de tránsito y resistir desplazamientos horizontales, eso dependerá de la fricción y cohesión de la mezcla asfáltica

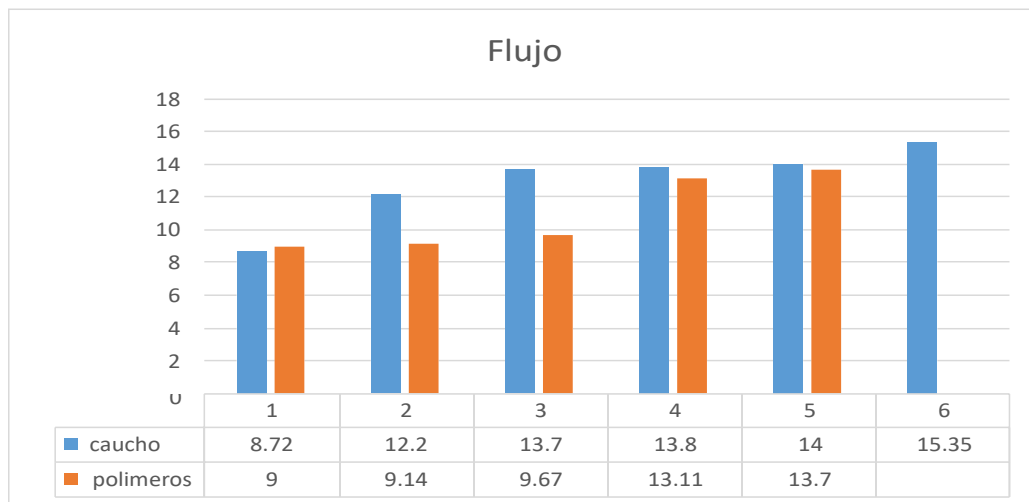


Figura 33: Grafico comparativo de flujo de las mezclas modificadas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos que tenemos en la figura 33 nos damos cuenta que en las mezclas modificadas con caucho presentan un valor para el flujo mayor con respecto a una mezcla modificada con polímero, solo en la primera investigación presentan valores iguales. El

flujo brinda a la mezcla asfáltica mejor capacidad para soportar los asentamientos y deformaciones sin agrietarse, debido a la aplicación de cargas producidas por el tráfico vehicular.

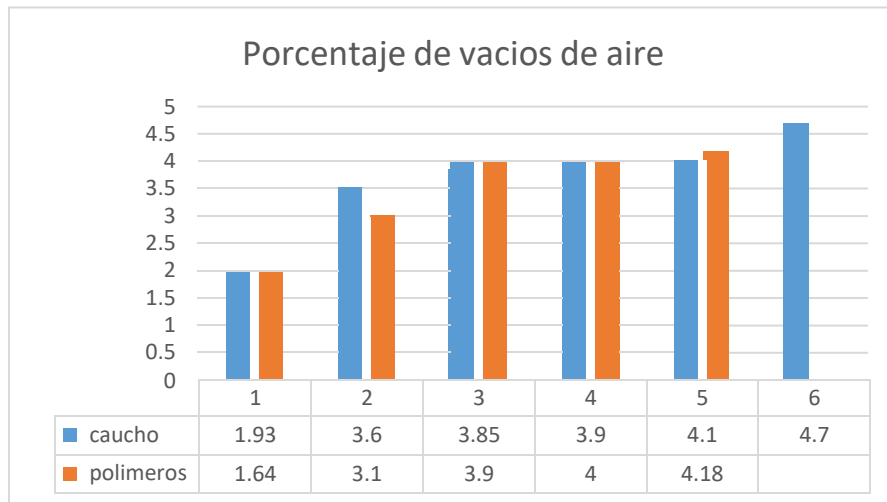


Figura 34: Grafico comparativo de porcentaje de vacíos de las mezclas modificadas en las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 nos muestra el porcentaje de vacíos para las mezclas asfálticas modificadas con caucho y mezclas modificadas con polímeros. Podemos apreciar que para las mezclas modificadas con caucho su porcentaje de vacíos de aire es mayor y en algunos casos presenta valores similares, lo cual indica que la mezcla modificada con caucho presenta valores menores de densidad con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero, lo cual quiere decir que los asfaltos al estar sometidos por cargas permanentes pueden deformarse y no tener los suficientes vacíos donde alojarse, produciendo algún daño al pavimento asfáltico o la exudación del mismo. Siempre se busca un porcentaje óptimo de vacíos de aire.

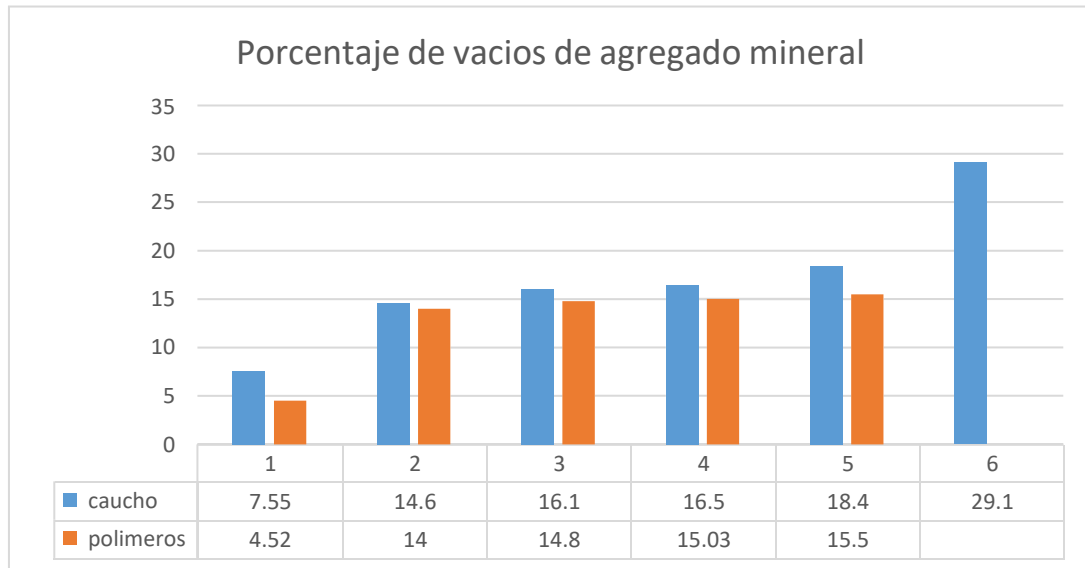


Figura 35: Grafico comparativo de porcentaje de vacío mineral de agregados las investigaciones

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se analiza los resultados del porcentaje de vacío mineral de agregados para una mezcla asfáltica modificada con caucho y una mezcla asfáltica modificada con polímeros, donde evidenciamos que los porcentajes de vacío mineral es mayor en las mezclas modificadas con caucho, aumenta considerablemente en la mezcla modificada con caucho con respecto a una mezcla asfáltica modificada con polímero. Tener un adecuado porcentaje de vacío mineral de agregados evita que la mezcla asfáltica sea susceptible a la oxidación y que la película de asfalto sea de dimensiones considerables para que así aglomere a todos los agregados y presente mejor durabilidad.

5.10 Contrastación de hipótesis

5.10.1 Contrastación de hipótesis específicas.

Hipótesis específica 1:

- Hipótesis Alterna (Hi1): La adición de caucho mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas
- Hipótesis Nula (Ho1): La adición de caucho no mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas

De acuerdo con los resultados obtenidos de las propiedades de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con adición de caucho, como se observa en la tabla 38, la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho mejora las

características de las propiedades mecánicas con respecto a una mezcla asfáltica convencional. Por ende, Hi1 es valida

Hipótesis específica 2:

- Hipótesis Alterna (Hi2): La adición de polímeros mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas
- Hipótesis Nula (Ho2): La adición de polímeros no mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas

De acuerdo con los resultados obtenidos de las propiedades de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con adición de polímeros, como se observa en la tabla 39, la mezcla asfáltica modificada con adición de polímeros mejora las características de las propiedades mecánicas con respecto a una mezcla asfáltica convencional. Por ende, Hi2 es valida

Hipótesis específica 3:

- Hipótesis Alterna (Hi3): La mezcla asfáltica con adición de caucho presenta una diferencia significativa en las propiedades mecánicas con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros.
- Hipótesis Nula (Ho1): La mezcla asfáltica con adición de caucho no presenta una diferencia significativa en las propiedades mecánicas con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las propiedades de una mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y una mezcla asfáltica modificada con adición de polímeros, como se observa en la comparación de los resultados de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con modificación de caucho y polímero en las figuras de la 30 al 35, la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho mejora considerablemente las características de las propiedades mecánicas con respecto a una mezcla asfáltica modificada con caucho. Por ende, Hi3 es valida

5.10.2 Contratación de hipótesis general

Hipótesis General

- La adición de caucho y polímeros mejora las propiedades de la mezcla asfáltica convencional.

Con lo expuesto anteriormente en la contratación de hipótesis específicas, la hipótesis general es válida debido a que las mezclas asfálticas modificadas presentan mejores propiedades mecánicas que una mezcla asfáltica convencional. Por lo tanto, la hipótesis general es válida.

CONCLUSIONES

1. Con respecto al comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con adición de caucho, se concluye que, al añadir caucho la estabilidad en 4 de las investigaciones analizadas aumenta de manera significativa y solo en una se mantiene muy similar los valores obtenidos, por lo tanto, el añadir caucho en las mezclas asfálticas mejora la estabilidad obteniendo variaciones desde 9.00% hasta 37.93%, lo cual dependerá de la cantidad de caucho usado. De igual manera se analiza el flujo, donde se aprecia que los resultados varían presentando mejores valores de flujo las mezclas con adición de caucho, valores que están desde 1.03% a 10.10%. Estas variaciones de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con adición de caucho respecto a una mezcla convencional podemos encontrar en la tabla 37.
2. Con respecto al comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con adición de polímero, se concluye que, el incorporar polímero la estabilidad en 4 de las investigaciones analizadas aumenta de manera significativa y solo en una investigación aumenta ligeramente su valor, por lo tanto, al incorporar polímero en las mezclas asfálticas mejora la estabilidad con respecto a una mezcla asfáltica convencional, obteniendo variaciones desde 30.15 hasta 150.65%, lo cual dependerá de la cantidad de polímero incorporado. De igual manera se analiza el flujo, donde se aprecia que los resultados varían presentando mejores valores de flujo las mezclas con incorporación de polímero, valores que están desde 2.17% hasta 33.67%. Estas variaciones de las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas con incorporación de polímero respecto a una mezcla convencional las podemos encontrar en la tabla 38.
3. Según lo observado en los gráficos en los cuales comparamos las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas con caucho y polímero, se concluye que las mezclas modificadas con polímeros presentan mayor densidad y estabilidad con respecto a las mezclas modificadas con caucho, con lo que nos brinda una carpeta de rodadura capaz de soportar deformaciones a causa de las cargas por el tránsito de los vehículos. De igual manera observamos que las mezclas asfálticas modificadas con caucho arrojan

mejores resultados en su flujo con respecto a las mezclas modificadas con polímero, por ende, obtienen mejor capacidad de deformarse sin agrietarse ni presentar daños en la carpeta de rodadura de un pavimento. Para vacíos de aire y vacíos de agregado mineral, presentan valores muy similares. Obteniendo como conclusión que una mezcla asfáltica modificada con polímero presenta mejores propiedades con respecto a una mezcla modificada con caucho.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda al momento de hacer una comparación de las propiedades de una mezcla asfáltica modificada con respecto de otra mezcla asfáltica ya sea modificada con otro agente modificante o convencional, deben presentar en su mayoría el mismo diseño Marshall con el cual se elaboró dichas mezclas. Respetando la normativa vigente.
2. Si bien es cierto que al incorporar un agente modificante a la mezcla sus propiedades cambian, es recomendable saber dónde será la aplicación de tal mezcla a desarrollar para tener en cuenta los requisitos para el cual se solicitara, de esa manera saber qué tipo de agente modificante es el más eficaz a usar.
3. Se recomienda también hacer investigaciones en campo, donde será aplicada la mezcla, de esa manera poder obtener las propiedades de la mezcla en forma in situ, ya que con el tránsito de vehículos existe una variación en los valores de las propiedades de las mezclas y así también sirva para próximas investigaciones con respecto a la vida útil del pavimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta M, M. A., & Herrera L, J. D. (2016). USO DE POLÍMEROS TIPO III PARA MEJORAR LA DURABILIDAD Y EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS. Cartagena. Obtenido de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/5757/Monografia%20-%20USO%20DE%20POL%20MEROS%20TIPO%20III%20PARA%20MEJORAR%20LA%20DURABILIDAD%20Y%20EL%20COMPORTAMIENTO%20DE%20LAS%20MEZCLAS%20ASFALTICAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aicama, J. C. (2017). Estudio Comparativo del Comportamiento a Compresión de Pavimentos Asfálticos a Base de Polímeros y Pavimentos Flexibles Tradicionales (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25265/1/Tesis%201114%20-%20Aicama%20C3%B1a%20Iza%20Juan%20Carlos.pdf>
- Angulo R., R. A., & Duarte A, J. L. (2005). Modificación de un asfalto con caucho reciclado de llanta para su aplicación en pavimentos. Obtenido de <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6916/2/118188.pdf>
- Aulestia V, S. A., & Chávez R, S. F. (2017). COMPARACIÓN DE PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS ENTRE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE NORMAL Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMEROS (TAPAS PLÁSTICAS DE BOTELLAS) POR VÍA SECA. QUITO. Obtenido de [file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tites/tesis/tesis%20extranjeras/TESIS%20AULESTIA-CH%20VEZ%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tites/tesis/tesis%20extranjeras/TESIS%20AULESTIA-CH%20VEZ%20(1).pdf)
- Balbín C, M. L., & Enríquez L, R. F. (2020). INFLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMEROS. Lima. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tites/tesis/tesis%20nacionales/CIV-T030_71209873_T%20-%20-%20BALBIN%20CASTRO%20MARIA%20LUISA.pdf

- Burgos A., E. R., & Rodríguez N., J. D. (2021). INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECÁNICAS EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. Trujillo. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/30437>
- Bustos, C. H., Sosa, M. P., Rodríguez, R. N., & Calderón, B. J. (2018). Fundamentos Micro Y Macroscópicos de la Modificación del Asfalto Convencional con Polímeros: Una revisión. Obtenido de <https://doi.org/10.26620/uniminuto.inventum.13.24.2018.58-77>
- Canevarolo, J. S. (2006). Ciencia dos polímeros. Obtenido de http://www.ifba.edu.br/professores/iarasantos/QUI%20541_Qu%C3%ADmica%20de%20pol%C3%ADmeros/Livros/Cie%CC%82ncia%20dos%20polimeros%20de%20pol%C3%ADmeros/Livros/Cie%CC%82ncia%20dos%20polimeros%20-%20Canevarolo%20Jr.,%20Sebastia%CC%83o%20V.pdf
- Cárdenas R, C. D., & Jara P, F. (2013). ANALISIS FISICO-MECANICO DEL CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON CAUCHO INDUSTRIAL. Bogotá. Obtenido de <file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tites/tesis/tesis%20extranjeras/RAE.pdf>
- Castro, G. (2007). REUTILIZACION, RECICLADO Y DISPOSICION FINAL DE NEUMATICOS. Obtenido de https://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Reutilizacion_Reciclado_y_Disposicion_final_de_Numatico.pdf
- Figuerola, A., Reyes L., F. A., Hernández, B., Jiménez, C., & Bohorquez, N. (2007). Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/ingevinv/article/view/14840>
- Huamán Guerrero, N., & Chang Albitres, C. (2015). La deformación permanente en las mezclas asfálticas y el consecuente deterioro de los pavimentos asfálticos en el Perú (Vol. 11). Lima. Obtenido de doi: https://doi.org/10.31381/perfiles_ingenieria.v2i11.402
- Huamán, V. S., & Huauya, J. A. (2020). Cálculo de un pavimento flexible con mezcla asfáltica. Lima.
- Huari Q., R. A. (2020). ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON RAP Y UNA MEZCLA

- ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS PG 70-28. LIMA. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3416>
- Ibañez, M. W. (2015). Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico-mecánicas del asfalto: Contribución para para el tramo de. Obtenido de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1639>
- Infante, A. C., & Vásquez, A. D. (2016). Estudio Comparativo del método Convencional y Uso de los Polímeros EVA y SBS en la Aplicación de Mezclas Asfálticas. Obtenido de <http://repositorio.uss.edu.pe/handle/uss/2253>
- León T, P. J., Borja T, S. A., & Cárdenas C, J. A. (2019). Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, elaboradas con el uso de cemento asfáltico modificado con polímero SBR y SBS. Quito: UCE. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/18757>
- Macedo, S., & Ureta, C. W. (2020). INFLUENCIA DEL CAUCHO RECICLADO UTILIZADO COMO AGENTE MODIFICANTE EN LOS PARAMETROS DE DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA. Lima. Obtenido de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/3681/CIV-T030_73033850_T%20%20MACEDO%20SEMINARIO%20SERGIO%20AL EJANDRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Maguiña S, W. T. (2019). Caucho reciclado de llantas en la mezcla de Asfalto a Compresión para mejorar las Propiedades Mecánicas. Lima. Obtenido de http://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2919/T030_31605837_M%20Magui%20Salazar%20Walther%20Te%20Filosofo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2013). Manual de Carreteras Especificaciones técnicas generales para la construcción. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4955.pdf
- Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos (Segunda edición ed.). Bogotá. Obtenido de https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_-
- Padilla, A. (2004). Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista. Tesis, Lima. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3334>

- Prieto, G. O. (2006). DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, METODO MARSHALL. Mendoza, Argentina. Obtenido de <https://filadd.com/doc/apunte-marshall-1-pdf-construccion-de-carreteras>
- Ramírez Palma, N. I. (2006). Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en caliente mediante proceso seco. Universidad de Chile. Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/104457>
- Romero F, P. (s.f.). Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente Modificadas con Elastómero (caucho) y Tereftalato de Polietileno reciclados con Ligante Asfáltico AC-20. Obtenido de file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tites/tesis/tesis%20extranjer/AC-%20C-ESPE-048139.pdf
- Rubber Pavement Association. (14 de Marzo de 2016). Rubber Pavement Association. Obtenido de Rubber Pavement Association.: <http://www.rubberpavements.org/index.html>
- Rubber Pavement Association. (14 de marzo de 2016). Rubber Pavement Association. Obtenido de Rubber Pavement Association.: <http://www.rubberpavements.org/index.html>
- Salcedo, C. (2008). EXPERIENCIA DE MODIFICACIÓN DE. Lima. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1988/MAS_ICIV-L_004.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Victoria P., C., Ortiz C., J. C., Avalos B, F., & Castañeda F., A. (2015). Modificación de asfalto con elastómeros. México. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/45665856.pdf>

ANEXOS

6.1 Matriz de consistencia

Anexo 1: Matriz de consistencia

Matriz de consistencia

Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho y con polímeros

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
¿De qué manera influye las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros?	Determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros	La adición de caucho y polímeros mejora las propiedades de la mezcla asfáltica modificada	Caucho Polímeros	Propiedades de mezclas asfálticas con caucho y mezcla asfáltica con polímeros	Densidad Estabilidad Flujo Vacíos de aire	Investigaciones de nacionales e internacionales
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
1. ¿Cuál es la propiedad mecánica de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho?	1. Analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de caucho	1. La adición de caucho mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas			Densidad Estabilidad	
2. ¿Cuál es la propiedad mecánica de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros?	2. Analizar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas modificadas con adición de polímeros	2. La adición de polímeros mejora las características de las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas	Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	Flujo Vacíos de aire	Investigaciones de nacionales e internacionales
3. ¿Cuál es la diferencia con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con caucho y con polímeros?	3. Comparar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica modificada con adición de caucho y con polímeros	3. La mezcla asfáltica con adición de caucho presenta una diferencia significativa en las propiedades mecánicas con respecto a las mezclas asfálticas modificadas con polímeros.			Vacíos de agregado mineral	

Fuente: Elaboración propia.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON ADICIÓN DE CAUCHO Y CON POLIMEROS

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	11%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	id.scribd.com Fuente de Internet	3%
2	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	2%
3	dspace.biblioteca.um.edu.mx Fuente de Internet	1%
4	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	1%
5	docplayer.es Fuente de Internet	1%
6	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	Jorge Bobadilla Peña, Franklin Luis Tesen Muñoz, Jhayro Jhoel Tigre Acosta, Sócrates Pedro Muñoz Pérez. "Uso de polímeros en asfalto: una revisión", Gaceta Técnica, 2022 Publicación	< 1%

8

Fuente de Internet

< 1 %

9

Submitted to Infile

Trabajo del estudiante

< 1 %

10

Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana

Trabajo del estudiante

< 1 %

11

Submitted to Universidad Católica de Santa María

Trabajo del estudiante

< 1 %

12

docslide.us

Fuente de Internet

< 1 %

13

www.idu.gov.co

Fuente de Internet

< 1 %

14

moam.info

Fuente de Internet

< 1 %

15

Ricardo Walter Soto Sulca, Julissa Karent Muñoz Rojas, Yulia Nadia Cáceres Quispe. "Impacto social y económico del Corredor Vial Cañete – Perú", Dataismo, 2021

Publicación

< 1 %

16

repository.usta.edu.co

Fuente de Internet

< 1 %

17

www.doccity.com

Fuente de Internet

< 1 %

18	repository.lasalle.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
19	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	< 1 %
20	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	< 1 %
21	catalogo.ucatolica.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
22	"Proceedings of the 6th Brazilian Technology Symposium (BTSym'20)", Springer Science and Business Media LLC, 2021 Publicación	< 1 %
23	gala.gre.ac.uk Fuente de Internet	< 1 %
24	es.unionpedia.org Fuente de Internet	< 1 %
25	xdocs.net Fuente de Internet	< 1 %
26	Submitted to Esumer Institucion Universitaria Trabajo del estudiante	< 1 %
27	core.ac.uk Fuente de Internet	< 1 %
28	repositorio.uniandes.edu.co Fuente de Internet	< 1 %

29

Submitted to Universidad Militar Nueva Granada

Trabajo del estudiante

< 1 %

30

Submitted to Universidad Anahuac México Sur

Trabajo del estudiante

< 1 %

31

Submitted to Universidad Francisco de Paula Santander

Trabajo del estudiante

< 1 %

32

rcta.unah.edu.cu

Fuente de Internet

< 1 %

33

Gabriel Antonio Navarrete Schettini. "Diseño de mezclas asfálticas integrando residuos sólidos de la industria automovilística (elastómero) y de vías (pavimento asfáltico envejecido) en Manabí, Ecuador", Industrial Data, 2019

Publicación

< 1 %

34

content.unops.org

Fuente de Internet

< 1 %

35

Emilio Turbay, Gilberto Martinez-Arguelles, Tatiana Navarro-Donado, Edgar Sánchez-Cotte et al. "Rheological Behaviour of WMA-Modified Asphalt Binders with Crumb Rubber", Polymers, 2022

Publicación

< 1 %

Submitted to Systems Link

36

Trabajo del estudiante

< 1 %

37

www.domaiki.com.pe

Fuente de Internet

< 1 %

38

Miguel Sol-Sánchez, Ana Jiménez del Barco Carrión, Ana Hidalgo-Arroyo, Fernando Moreno-Navarro et al. "Viability of producing sustainable asphalt mixtures with crumb rubber bitumen at reduced temperatures", *Construction and Building Materials*, 2020

Publicación

< 1 %

39

www.hisour.com

Fuente de Internet

< 1 %

40

www.slideshare.net

Fuente de Internet

< 1 %

41

A. Alonso, E. Tejeda, F. Moreno, M. C. Rubio, E. Medel. "Estudio de laboratorio sobre utilización de zeolita natural *versus* zeolita sintética en la fabricación de mezclas semicalientes", *Materiales de Construcción*, 2013

Publicación

< 1 %

42

Marta De Prados Pedraza. "Caracterización mediante ultrasonidos de señal de los cambios composicionales del jamón curado durante su procesado", *Universitat Politecnica de Valencia*, 2016

< 1 %

43

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

< 1 %

44

es.scribd.com

Fuente de Internet

< 1 %

45

es.slideshare.net

Fuente de Internet

< 1 %

46

www.congresovidaindependiente.org

Fuente de Internet

< 1 %

47

Ana Vidal Pantaleoni. "Técnicas secuenciales y paralelas para la resolución de problemas computacionales en electromagnetismo.",
Universitat Politecnica de Valencia, 2013

Publicación

< 1 %

48

Mónica Chillarón Pérez. "Análisis y desarrollo de algoritmos de altas prestaciones para reconstrucción de imagen médica TAC 3D basados en la reducción de dosis.",
Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

< 1 %

49

durth-roos.net

Fuente de Internet

< 1 %

50

inciupaoetorres.blogspot.com

Fuente de Internet

< 1 %

51

issuu.com

Fuente de Internet

< 1 %

52	movimiento-shaeva-tamntrika.blogspot.com Fuente de Internet	< 1 %
53	qdoc.tips Fuente de Internet	< 1 %
54	revistas.ufps.edu.co Fuente de Internet	< 1 %
55	sourceforge.net Fuente de Internet	< 1 %
56	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	< 1 %
57	www.clubensayos.com Fuente de Internet	< 1 %
58	www.justlanded.es Fuente de Internet	< 1 %
59	www.msmanuals.com Fuente de Internet	< 1 %
60	Leidy Indira Hinestroza Còrdoba. "Aplicación de tecnologías sostenibles para el desarrollo de alimentos nutritivos y saludables dirigidos a mejorar el estado nutricional de la población del departamento del Chocó (Colombia)", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	< 1 %
61	futur.upc.edu	

62

O Hurtado-Figueroa, CE Colmenares-Bernal, JA Cárdenas-Gutiérrez. "Quality of aggregates for the preparation of asphalt mixtures from 4 processing companies in San José de Cúcuta, Colombia", Journal of Physics: Conference Series, 2019

Publicación

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Activo