

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON
PLÁSTICO RECICLADO PARA LA DETERMINACIÓN DE SUS
PROPIEDADES MECÁNICAS**

TESIS:

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR

Bach. COSIO VERA, KATERIN LORENA

Bach. LA TORRE DIAZ, JIM ANDRE

ASESOR: MSc. Ing. HUAMÁN GUERRERO, NÉSTOR WILFREDO

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres Edwin cosio, Elizabeth Vera, a mi hermana Nelida y familiares que siempre han estado acompañándome y brindándome sus consejos, apoyo y ayuda a lo largo de mi carrera universitaria.

Katerin Lorena Cosio Vera

Dedico esta tesis a mis padres Segundo y Wilma que siempre me han apoyado desde el inicio de mis estudios, mi tío Demostenes, hermanos, compañeros y amigos quienes me brindaron consejos, apoyo y conocimiento a lo largo de mis cinco años de estudio.

Jim Andre La Torre Díaz

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por habernos brindado los conocimientos de esta maravillosa carrera, y a todas las personas que de alguna manera nos apoyaron en el desarrollo de la tesis, entre ellos docentes y familiares.

Katerin Lorena Cosio Vera y La torre Díaz
Jim André

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCION.....	xii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Descripción y formulación del problema	1
1.1.1 Problema general.....	1
1.1.2 Problemas específicos.....	1
1.2 Objetivo general y específico	1
1.2.1 Objetivo generall	1
1.2.2 Objetivos específicos	1
1.3 Delimitación de la investigación temporal espacial y temática	2
1.4 Justificación e importancia	2
1.4.1 Justificación	2
1.4.2 Importancia	2
CAPITULO II: MARCO TEORICO	4
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.....	4
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	4
2.1.2 Antecedentes Nacionales	9
2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio	14
2.2.1 Composición de las mezclas asfálticas en caliente.....	14
2.2.2 Componentes de la mezcla asfáltica convencional.....	14
2.2.3 Cemento asfaltico (C.A.P).....	14
2.3 Clasificación de cemento asfaltico	15
2.3.1 Agregados Pétreos y filler o relleno mineral.....	20
2.3.2 Filler o relleno mineral	23
2.3.3 Mejorador de adherencia.....	24
2.3.4 Gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)	25
2.3.5 Plástico Reciclado	27
2.3.6 Tipos de Plástico PET (tereftalato de polietileno).....	29
2.3.7 Plástico PET como parte de una mezcla asfáltica en caliente.....	29
2.3.8 Clasificación de los plásticos	30
2.3.9 Ensayo Marshall	32
CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS	39

3.1 Hipótesis	39
3.1.1 Hipótesis general	39
3.1.2 Hipótesis Específicas	39
3.2 Variables	39
3.2.1 Definición conceptual de las variables	39
3.2.2 Operacionalización de las variables.....	40
CAPITULO IV METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	41
4.1 Tipo y método de investigación	41
4.1.1 Método de la investigación	41
4.1.2 Orientación de investigación.....	41
4.1.3 Nivel de investigación	41
4.2 Diseño de la investigación	41
4.3 Población y muestra.....	42
4.3.1 Población del estudio	42
4.3.2 Diseño muestral.....	42
4.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos:	42
4.4.1 Fuentes 42	
4.4.2 Procedimientos para la recolección de datos	42
4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	42
CAPITULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION.....	43
5.1 Diseño de mezcla asfáltica convencional.....	43
5.1.1 Mezcla Asfáltica en caliente	43
5.1.2 Ensayo marshal.....	44
5.1.3 Ensayo al plástico	44
5.1.4 Producción de mezcla asfáltica en caliente convencional.....	45
5.2 Diseño mezcla asfáltica modificada con plástico reciclado pet (tereftalato de polietileno)	45
5.2.1 Proceso de modificación de cemento asfáltico convencional con pet.	45
5.2.2 Caracterización del cemento asfáltico modificado con pet.....	46
5.3 Comportamiento de la mezcla asfáltica convencional y modificada mediante los ensayos de caracterización y desempeño.....	46
5.4 Costos de Diseño de la Mezclas Asfálticas:	52
5.4.1 Materiales Necesarios de la Mezcla Asfáltica Convencional.	52
5.4.2 Materiales para 1 m3 de Mezcla asfáltica Convencional.....	53

5.4.3	Análisis económico de la Mezcla Asfáltica Convencional	53
5.4.4	Materiales Necesarios de la Mezcla Asfáltica Modificada	54
5.4.5	Materiales para 1 m ³ de Mezcla Asfáltica Modificada.....	54
5.4.6	Análisis Económico de la Mezcla Asfáltica Modificada.....	55
5.4.7	Análisis Económico de la Mezcla Asfáltica Convencional	55
5.5	Contrastación de Hipótesis.....	65
5.5.1	Hipótesis Específica 1:.....	65
5.5.2	Hipótesis Específica 2:.....	66
5.5.3	Hipótesis Específica 3:.....	66
5.5.4	Hipótesis Específica 4:.....	67
	CONCLUSIONES.....	68
	RECOMENDACIONES	69
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70
	ANEXOS.....	77

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Selección del tipo de cemento asfáltico	14
Tabla N° 2: Especificaciones de Cemento Asfáltico clasificado por penetración	15
Tabla N° 3: Cemento asfáltico clasificado por Grado de Performance	19
Tabla N° 4: Cemento asfáltico clasificado por Grado de Performance	20
Tabla N° 5: Requerimientos de calidad para los agregados gruesos.....	21
Tabla N° 6: Requerimientos de calidad para los agregados finos	22
Tabla N° 7: Efectividad de los aditivos	24
Tabla N° 8: Requerimiento de calidad para Cal Tipo I	25
Tabla N° 9: Requerimiento de calidad para Cal Tipo I	25
Tabla N° 10: Requerimientos de usos granulométricos para mezclas asfálticas.....	26
Tabla N° 11: Gradaciones para mezclas cerradas	27
Tabla N° 12: Datos técnicos del PET	28
Tabla N° 13: Clasificación de plásticos	31
Tabla N° 14: Especificaciones de polietileno de baja densidad	31
Tabla N° 15: Operacionalización de variables	40
Tabla N° 16: Resumen de resultados de la Mezcla Asfáltica Convencional	49
Tabla N° 17: Combinación Asfalto + PET	49
Tabla N° 18: Resumen de resultados de Mezcla Asfáltica Modificada.....	52
Tabla N° 19: Masas de Agregados Pétreos	52
Tabla N° 20: Masa total de la Briqueta Asfáltica	53
Tabla N° 21: Materiales para 1m ³ de Mezcla Asfáltica Convencional.....	53
Tabla N° 22: Precio por 1m ³ de Mezcla Asfáltica Convencional.....	54
Tabla N° 23: Masa total de la Briqueta Asfáltica Modificada	54
Tabla N° 24: Materiales para 1m ³ de Mezcla Asfáltica Modificada	55
Tabla N° 25: Precio de 1m ³ de Mezcla Asfáltica Modificada.....	55

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Clasificación de cemento asfáltico en el Perú	19
Figura N° 2: Clasificación del Plástico	29
Figura N° 3: Simbología de polietileno de baja densidad.....	31
Figura N° 4: Preparado de probetas de ensayo en Moldes Marshall	34
Figura N° 5: Preparado de probetas de ensayo en Moldes Marshall	35
Figura N° 6: Briquetas de Mezcla Asfáltica Convencional	46
Figura N° 7: Curva de vacíos al aire Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).....	47
Figura N° 8: Curva Flujo vs %Asfalto Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)....	47
Figura N° 9: Curva Estabilidad vs % Asfalto Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)	48
Figura N° 10: Curva VAM vs %AsfaltoFuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)	48
Figura N° 11: Curva densidad Bulk vs %Asfalto Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)	48
Figura N° 12: Curva Flujo vs Asfalto + PETFuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).....	50
Figura N° 13: Curva Vacíos de Aire vs %Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).....	50
Figura N° 14: Curva Estabilidad vs %Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).....	51
Figura N° 15: Curva VAM vs %Asfalto + PETFuente: Pilatuña & Rodríguez (2021) ..	51
Figura N° 16: Curva Densidad Bulk vs %Asfalto + PETFuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).....	51
Figura N° 17: Resultados de porcentaje de vacíos del diseño propuesto normal.....	56
Figura N° 18: Gráfica de resultados de porcentaje de vacíos – densidad del diseño propuesto normal.....	56
Figura N° 19: Resultados de porcentaje de vacíos del diseño con tereftalato de polietileno.....	57
Figura N° 20: Gráfica de resultados de porcentaje de vacíos – densidad del diseño con tereftalato de polietileno (PET).....	57
Figura N° 21: Resultados de la prueba estabilidad – flujo de Marshall del diseño propuesto normal.....	58
Figura N° 22: Gráfica de resultados de prueba de estabilidad – flujo de Marshall para el diseño propuesto normal.....	58
Figura N° 23: Gráfica de resultados de deformación Marshall para el diseño propuesto normal	59

Figura N° 24: Resultados de prueba de estabilidad – flujo de Marshall para el diseño con tereftalato de polietileno (PET)	59
Figura N° 25: Gráfica de resultados de prueba estabilidad – flujo de Marshall para el diseño con tereftalato de polietileno (PET).....	60
Figura N° 26: Gráfica de resultados de deformación Marshall para diseño con tereftalato de polietileno (PET).....	60
Figura N° 27: Comparación de densidad específica bruta (Bulk)	60
Figura N° 28: Gráfica comparativo de densidad específica bruta (Bulk).....	61
Figura N° 29: Cuadro comparativo de densidad específica teórica máxima	61
Figura N° 30: Gráfica comparativo de densidad teórica máxima	62
Figura N° 31: Cuadro comparativo de porcentaje de vacíos – densidad	62
Figura N° 32: Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos – densidad.....	63
Figura N° 33: Cuadro comparativo de deformaciones Marshall.....	63
Figura N° 34: Gráfico comparativo de deformación Marshall	64
Figura N° 35: Cuadro comparativo de estabilidad – flujo Marshall	64
Figura N° 36: Gráfico comparativo de estabilidad – flujo de Marshall.....	65

RESUMEN

Las mezclas asfálticas modificadas han demostrado mejores resultados en cuanto a durabilidad en comparación con mezclas asfálticas convencionales, dando la oportunidad de adecuarlas a unas condiciones específicas de respuesta según las necesidades del proyecto.

La presente investigación realizada lleva como título “Mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado para la determinación de sus propiedades mecánicas”, dándose a conocer diversas investigaciones acerca del uso del plástico reciclado PET en una mezcla asfáltica modificada. Se analizaron 20 trabajos de investigación, de los cuales 10 nacionales y 10 internacionales, tuvo como objetivo principal determinar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con plásticos reciclados PET, para la determinación de sus propiedades mecánicas. Siendo esta investigación documental bibliográfica en donde los estudios revisados utilizaron el método deductivo, enfoque cuantitativo y orientación aplicada, nivel descriptivo. Conforme se desarrolló la investigación se observó que utilizaron distintos tipos, porcentajes y tamaños de partícula del plástico que son añadidos a la mezcla para realizar una comparación entre ambas mezclas y analizar la cantidad de mejora al adicionar el plástico como aditivo a la carpeta asfáltica en sus propiedades mecánicas como la estabilidad, la relación de vacíos y el flujo, resaltando que la estabilidad es la propiedad mecánica más beneficiada al adicionarse el plástico al asfalto.

Palabras clave: Plástico, mezcla asfáltica modificada, propiedades mecánicas, Marshall, estabilidad, relación de vacíos, flujo, análisis de precios unitarios.

ABSTRACT

Modified asphalt mixtures have shown better results in terms of durability compared to conventional asphalt mixtures, giving the opportunity to adapt them to specific response conditions according to the needs of the project.

the present investigation carried out is entitled "hot asphalt mixture modified with recycled plastic for the determination of its mechanical properties", revealing various investigations about the use of plasticpet in a modified asphalt mixture. twenty research papers were analyzed, of which 10 national and 10 international, had as its main objective to determine the properties of thehot asphalt mix modified with recycled plastics, to determine its mechanical properties. being this bibliographic documentary research where the reviewed studies used the deductive method, quantitative approach and applied orientation, descriptive level. as theresearch developed, it was observed that they used different types, percentages and sizesof plastic particles that are added to the mixture to make a comparison between both mixtures and analyze the amount of improvement when adding the plastic as an additiveto the asphalt layer in its mechanical properties such as stability, void ratio and flow, highlighting that stability is the mechanical property most benefited when plastic is addedto asphalt.

Keywords: Plastic, modified asphalt mix, mechanical properties, Marshall, stability, void ratio, flow, unit price analysis.

INTRODUCCION

Los pavimentos en el Perú ya sean de concreto hidráulico o asfáltico se encuentran con distintos problemas, presentan deterioros como ahuellamientos, baches, etc. Estos problemas pueden originar mal aspecto a la carretera y accidentes vehiculares, muchos de los pavimentos fallan antes de lo previsto y no llegan a cumplir con la vida útil para la que fue diseñada.

El diseño de mezclas asfálticas en caliente se desarrolla generalmente realizando procedimientos empíricos de laboratorio, lo que significa que se requiere la experiencia en campo para determinar si el análisis de laboratorio tiene correlación con el comportamiento del pavimento.

El método empírico más utilizado es el método marshall, donde una vez determinado el porcentaje óptimo de Cemento Asfáltico, los ensayos se dirigen a determinar las propiedades mecánicas de las briquetas. Los dos aspectos principales del método Marshall son: la densidad – el análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y su fluencia. Por todo lo anteriormente expuesto el proyecto de tesis, consiste en analizar la influencia del plástico PET en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas en caliente.

La presente investigación se divide en las siguientes partes:

En el capítulo I, describimos el planteamiento del problema, objetivos, la justificación y viabilidad de la investigación.

En el capítulo II, desarrolla el marco teórico en donde profundiza con la ayuda de antecedentes, definiciones con las cuales podemos dar a conocer con mayor alcance los conceptos relacionados al tema de investigación planteada. Apoyándonos en diversas fuentes.

En el capítulo III, se encuentra el sistema de hipótesis y formulamos la hipótesis general y específica. Asimismo, el diseño del sistema de variables.

En el capítulo IV, precisa el tipo, nivel, diseño y método de la investigación, la población y muestra, las técnicas de recolección y procesamiento del análisis de datos. Se realizó el diseño metodológico.

En el capítulo V, desarrollo de la investigación En el capítulo V, desarrollo de la investigación.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Problema general

¿Cómo mejora la adición de plástico reciclado pet las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente con respecto a una mezcla asfáltica en caliente convencional?

1.1.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo la aplicación de plástico reciclado mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente?
- b) ¿De qué manera la adición de plástico reciclado mejora la resistencia al flujo de la mezcla asfáltica en caliente?
- c) ¿De qué manera la adición de plástico reciclado optimiza la densidad bulk (aparente) y porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente?
- d) ¿Cuál es la diferencia en costo entre una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado pet y una mezcla convencional?

1.2 Objetivo general y específico

1.2.1 Objetivo general

Determinar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificada con plásticos reciclados, para la determinación de sus propiedades mecánicas

1.2.2 Objetivos específicos

- a. Determinar el porcentaje de plástico reciclado que mejora la estabilidad.
- b. Determinar el porcentaje de plástico para aumentar la resistencia al flujo de la mezcla asfáltica en caliente.
- c. Determinar el porcentaje de plástico pet para una densidad bulk (aparente) y porcentaje de vacío óptimo en la mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado.
- d. Determinar la diferencia económica que representa utilizar una mezcla asfáltica modificada con plástico reciclado pet.

1.3 Delimitación de la investigación temporal espacial y temática

La presente investigación se limita solo a ser utilizada para mezclas asfálticas en caliente modificada con plástico reciclado.

Los materiales bibliográficos del tema estudiado (tesis, papers, artículos, etc.) son escasos relacionados a nivel del Perú, ya que es una metodología que en nuestro país no se utiliza con frecuencia.

Los dos bachilleres que investigan sobre el tema, están restringidos a trabajar desde el hogar, debido a la Pandemia del COVID - 19.

Este proyecto se restringe solo a una propuesta de investigación y no a la aplicación debido a la Pandemia del Coronavirus y no está permitido el uso de laboratorios para realizar los ensayos correspondientes.

1.4 Justificación e importancia

1.4.1 Justificación

En algunos países latinoamericanos, existen experiencias de modificación de cemento asfáltico con residuos sólidos, como son: bolsas plásticas recicladas, llantas recicladas, entre otros; sin embargo en el Perú, no se tiene experiencias que nos permita incorporar una nueva tecnología de mezclas asfálticas en caliente, en función a las condiciones climáticas que en el Perú es muy variada, y la necesidad de atender los efectos de deterioros prematuros, causados por el incremento de tránsito de carga pesada, relacionadas a las necesidades de carga y las dimensiones de los vehículos en función al avance de la tecnología del parque automotor, asimismo las condiciones climáticas de la zona de proyecto problemas de deterioro prematuro del pavimento, existe una inadecuada disposición de residuos sólidos como plásticos, cauchos y otros desechos que generan impactos ambientales negativos, debido a su difícil disposición final y la mala utilización. Estos residuos abundan en nuestro país, y que no se han definido un modo adecuado de reutilización posterior.

1.4.2 Importancia

La investigación a realizar nos permitirá emplear material de reciclaje para la reutilización en mezclas de pavimentos asfálticos en caliente y así poder determinar la mejora de mezcla asfáltica en caliente. Ya que en el Perú la técnica de reciclaje empleando el plástico aún es muy poco aplicada, no se

cuenta con muchos datos estadísticos, ni mucha información, pero si existen estudios como alternativas para disminuir el consumo de materiales químicos. Permitted así el cuidado del medio ambiente, lo que ayudara a disminuir los volúmenes de desechos sólidos mejorando la realidad del medio ambiente.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

Según el artículo Problema de la infraestructura vial en el Perú (2015), el problema de la infraestructura vial en el Perú, se caracteriza por la deficiencia en cuanto a calidad y cantidad porque todos los peruanos sabemos a simple vista y expectativa que no se le presta la atención necesaria. Siendo esto el principal problema para el desarrollo a nivel de país ya que si se construyeran redes viales no solo brindaríamos comunicación a pueblos lejanos sino también empleo tanto como para la construcción y mantenimiento de estas.

Las vías de comunicación son de gran importancia para el desarrollo de un país, las mismas que son diseñadas en función a las necesidades de tráfico de carga y las condiciones geográficas de la zona donde se proyecta esta vía; sin embargo, el pavimento se deteriora prematuramente al incrementarse el volumen de tráfico, y la incorporación de vehículos de alta capacidad de carga de acuerdo al avance de la tecnología automotor, en función al cual se ha diseñado un pavimento de alta resistencia a la deformación, al desgaste, y a las condiciones climáticas de variación severa.

El objetivo de buscar un mejor pavimento de alta calidad que resista las sollicitaciones de carga, implica la investigación de nuevas tecnologías de mezclas asfálticas con incorporación de productos químicos y/o reciclados, para obtener un pavimento óptimo que muestre un comportamiento estructural adecuado ante los efectos de los agentes agresivos y aumentar la vida útil del pavimento flexible; nuestra investigación proponemos una mezcla asfáltica en caliente modificada que cumple con las condiciones.

2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Rodríguez, 2021). Presenta en su tesis:

“Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del Cantón Guamote” (tesis pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo. La investigación desarrolla un objetivo principal el de incorporar plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del cantón Guamote y poder comparar sus propiedades mecánicas con una mezcla convencional. Con el fin de crear una alternativa de adición en la mezcla

asfáltica se usó el material modificador siendo este de origen plástico contiene tereftalato de polietileno (PET), se realiza la combinación la cual mejora las características de los pavimentos y a su vez disminuye la contaminación ambiental, dado que la biodegradación se produce a los 500 años. Se realiza los respectivos ensayos para los cuales se elaboran briquetas que serán ensayados por el método Marshall, obteniendo valores de densidad bulk, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral, vacíos de aire así de esa manera de determina el óptimo porcentaje del ligante. Para luego adicionar el material modificador PET, iniciando con un 5%, en relación al peso del ligante de la mezcla convencional. Obteniendo un porcentaje del 9% PET y 91% de ligante bituminoso, superando las propiedades de la mezcla convencional.

(López, 2019) Presenta en su tesis:

“Viabilidad diseño de mezcla asfáltica modificada con 1% de fibra de PET” (tesis pregrado) Universidad Cooperativa de Colombia. La presente investigación motiva a ser la iniciativa de investigar y realizar un diseño de pavimento mediante la incorporación de fibra PET dentro de la mezcla asfáltica en caliente, realizando los ensayos de laboratorio correspondiente a la mezcla asfáltica tradicional. Dándose la verificación del diseño preliminar, la cual debe permitir la verificación de los requisitos en cuanto a las propiedades de Adherencia Resistencia retenida, % mínimo, Resistencia a la deformación plástica, Modulo de resiliente, Mpa y Leyes de fatiga. Concluyendo que la mezcla da como resultado una buena resistencia a la fatiga debido a que la norma exige un mínimo de 10000 ciclos de carga antes de que la rigidez sufra una reducción del 50%. Garantizándose que la rigidez no se reducirá rápidamente.

(Bohórquez, 2020) Presenta en su tesis:

“Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones invias” (tesis pregrado) Universidad Católica de Colombia. El presente trabajo se realiza con el objetivo de efectuar un análisis comparativo de un pavimento flexible de estructuras convencionales respecto a estructuras con mezclas asfálticas incorporando el plástico tipo PET ,sobre una estructura de pavimento planteada a partir de los módulos resilientes

encontrados en las investigaciones ya existentes y así mismo según la guía de pavimentos flexibles para bajo tráfico del INVIAS, donde se evaluara las características de calidad del material basados en las especificaciones del INVIAS y la base de datos, para ser usadas adaptándolas para ser usadas con plástico tipo PET. Y así poder evaluar el aporte estructural de las mezclas asfálticas en caliente con inclusión de PET.

(Ortiz, 2017) Presenta en su tesis:

“Mezclas asfálticas en caliente adicionando Tereftalato de Polietileno como agregado por el método de Marshall” (tesis pregrado) Universidad de San Carlos de Guatemala. La investigación se realiza bajo un estudio teórico-práctico para la evaluación de las características físicas y propiedades mecánicas de un diseño de mezcla asfáltica con el método Marshall, adicionando un porcentaje de agregado de tereftalato de polietileno (PET), llevándose a cabo un diseño de mezcla asfáltica convencional y se compran con el diseño de mezcla asfáltica, adicionando tereftalato de polietileno (PET), como agregado. Se evaluó las características físicas y propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional y de la mezcla asfáltica adicionando tereftalato de polietileno (PET) de acuerdo a los procedimientos y especificaciones aplicables indicadas por ASSHATO y ASTM. Siendo el objetivo comparar las propiedades mecánicas y características físicas de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica adicionando tereftalato de polietileno (PET), como agregado, con los parámetros requeridos.

(Caicedo, 2019) Presenta en su tesis:

“Análisis comparativo del control de calidad en mezclas asfálticas en caliente de un diseño convencional y de un diseño adicionando Tereftalato de Polietileno” (tesis pregrado) Universidad de Guayaquil. En el presente trabajo se realiza una investigación de la implementación de PETS como componente del cemento asfáltico tipo AC -20, realizando primero los ensayos de calidad de los agregado gruesos y finos; así como el cemento asfáltico convencional y modificado de 1% PETS. Para el diseño se respetó los procedimientos de las distintas normas utilizadas en nuestro medio local. Una vez realizado los diseños, se concluye entre lo más importante; el módulo de corte complejo G^* aumenta y el ángulo de fase y disminuye en función de la temperatura, en las mezclas modificadas con PETS originales y envejecidas en RTFO, el

resultado es que incrementa su rigidez, y resistencia a la oxidación, mejorando el grado de desempeño a altas temperaturas. Respecto a las propiedades reológicas del cemento asfáltico modificado con PETS, es mayor al convencional, mejorando dichas propiedades lo cual reduciría el tiempo de mantenimiento de las vías, en comparación a los mantenimientos con mezclas convencionales.

(Ramos, 2017) Presenta en su tesis:

“Variación de la capacidad de soporte en una base granular por inclusión de Tereftalato de Polietileno (PET) como material de agregado (rango 0%,50% y 100% - tamices N° 4, 3/8”,1/2”,3/4” y 1”)” (tesis pregrado) Universidad Piloto de Colombia. El trabajo de investigación se basó en estudiar la inclusión de tereftalato de polietileno en una base granular reemplazando material granular que quede retenido en los tamices N°4,3/8”,1/2”, 3/4” Y 1” en porcentajes de 0%,50% Y 100% ,de esa manera evaluamos las propiedades mecánicas yespecificaciones establecidas por INVIAS 2007 , se conformara realizando ensayos granulométricos de agregados gruesos y finos ,las relaciones de humedad – masa unitaria seca en los suelos de ensayo modificado de compactación y la relación de soporte del suelo. Proponiendo una solución que cumpla con los parámetros y características requeridas.

(Monturiol, 2019) Presenta en su tesis:

“Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET” (tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil) Universidad de CostaRica. La presente investigación se inicia con el análisis sobre la situación de la cantidad de plástico desechado en el mundo, identificando la necesidad de buscarsoluciones para reciclar y/o reutilizar el material dándole un nuevo uso. Realizando la evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas conplástico PET. Llevándose a cabo el método húmedo el cual consiste en añadir elplástico molido al asfalto donde se resuelve por un tiempo homogenizar la mezcla, tomando en cuenta la granulometría y la diferencia de densidades. Para dicho método se realizado algunas pruebas se la clasificación por grado de desempeño a asfaltos modificados con 1;2,5; 5 % de PET, donde se determinó que de los 3 porcentajes el de 2.5% presenta mejores características para su usoen el resto del proceso de evaluación. Con

las pruebas realizadas se determinó que el agregado utilizado sufre daño por humedad y que el método seco, presenta mayor porcentaje de asfalto, lo que rigidiza la mezcla.

(Velandia, 2017) Presenta en su tesis:

“Estudio técnico de factibilidad para el Reparcho de vías de tráfico liviano usando plástico reciclado PET y asfalto en la comuna N°7, barrio La Serranía de la ciudad de Villavicencio, Meta” (Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en gerencia de proyectos) Corporación Universitaria Minuto de Dios. El objetivo principal de la investigación es realizar un estudio técnico de factibilidad tomando como muestra una de las principales vías de tráfico liviano en la comuna N°7 de la ciudad de Villavicencio, Meta, para reparcho mediante la combinación de plástico PET con asfalto. Este estudio técnico comprendió de estudios químicos y físicos de la mezcla y resistencia del material PET al ser combinado con asfalto. Estimando también el grado de aceptación del proyecto por parte de la comunidad mediante encuestas, previamente analizadas. Concluyendo que es factible el uso del PET al 5% como agregado a una mezcla asfáltica (MDC-2), expuesta a condiciones de tráfico liviano (NTP2) ya que la mezcla cumple con la estabilidad y el flujo necesario.

(Cazar, 2014) Presenta en su tesis:

“Diseño de un pavimento flexible adicionando Tereftalato de Polietileno como material constitutivo junto con ligante asfáltico AC-20” (tesis pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas. En la presente investigación se busca dar uso útil a la gran cantidad de desechos plásticos generados en nuestro país aprovechándolos como material adicional de mezcla asfálticas en caliente que den pie a los muy conocidos pavimentos flexibles o bituminosos. Para el diseño de la mezcla se siguió lo dictado por las distintas normas utilizadas. Donde se elaboraron briquetas para poder comparar las muestras de mezclas asfálticas las cuales contienen un porcentaje óptimo de asfalto, así como también un 4% de vacíos de diseño, con briquetas a las cuales se incorporó un porcentaje óptimo con PET.

(Arteaga, 2018) Presenta en su tesis:

“Análisis del comportamiento de la base – cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado” (tesis pregrado) Universidad Católica de Colombia. En la investigación se desarrolla un trabajo experimental, lo que involucra conocer sus características y propiedades generales, realizando las normas INVIAS, aplicadas para este tipo de material, a través de 13 ensayos de laboratorio que buscan caracterizar la dureza, durabilidad, resistencia del material y un ensayo adicionando material PET, los resultados fueron evaluados y comparados en dos casos, primero base granular con adición de cemento y la base granular adicionada con el cemento y PET, determinándose que el material es muy estable e inerte, además es fuerte, resistente al ataque de microorganismos.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

(Flores, 2020) Presenta en su tesis:

“Influencia de los residuos plásticos reciclados al añadirlos a una mezcla asfáltica modificada en caliente, Trujillo” (tesis pregrado) Universidad Cesar Vallejo. La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de los residuos plásticos como modificantes de una mezcla asfáltica en caliente, siendo el asfalto uno de los materiales más usados para una mezcla asfáltica que está compuesta por agregados minerales, aglomerados mediante un ligante asfáltico donde se modifica y se agrega polímeros tipo I, también en la elaboración de emulsiones que son utilizadas para tratamientos superficiales encontrándose dentro de estos los envases de agua, gaseosas y botellas de todo tamaño, realizando ensayos de laboratorio. Donde se elaboró 18 briquetas con porcentajes de 5%, 5.5% y 6% de residuos plásticos en el volumen de las muestras. Utilizando las normas dadas por el ministerio de transportes y comunicaciones, para el nivel internacional la norma AASHTO y por último el método Marshall para la determinación de estabilidad. Se concluye que al agregar los residuos plásticos mejora la estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica.

(Nonato, 2020) Presenta en su tesis:

“Propiedades mecánicas del asfalto en caliente adicionándoles Polietileno de Tereftalato (PET) en porcentajes de 0.75%, 1% y 1.25%, Nuevo Chimbote, Ancash-2020” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. La

investigación tiene como objetivo determinar las propiedades mecánicas del asfalto en caliente adicionándole Polietileno de Tereftalato en porcentajes de 0.75%,1% y 1.25% triturado, proveniente de botellas de plástico usados en mezcla asfáltica con el fin de mejorar las propiedades mecánicas ,usando una metodología cuasiexperimental .Realizando ensayos en el laboratorio ,con la elaboración de briquetas ,siendo sometidas al ensayo Marshall lo que permitió determinar la estabilidad y flujo de la mezcla patrón. Concluyendo que con la adición del 1% de PET mejora la estabilidad y el flujo de la mezcla asfáltica modificada.

(Uribe, 2020) Presenta en su tesis:

“Aplicación del Polietileno (PET) en pavimento flexible para determinar el comportamiento físico – mecánico en la Av. Los Geranios, Huaral 2020” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. El objetivo de la investigación desarrollada es evaluar la mejora de las propiedades Físico – Mecánico del pavimento flexible, con el uso del polietileno (PET) en la Av. Los Geranios, Huaral 2020.Siendo una investigación de tipo explicativa con enfoque cuantitativo, analizando una población de mezclas asfálticas de pavimento plástico PET. Donde fueron dos tesis usadas con instrumento de validación, analizándose la trabajabilidad, resistencia para conocer las propiedades y la durabilidad se estudió el porcentaje de vacíos. En los analizados se demuestra que es importante modificar la mezcla asfáltica con Polietileno (PET), ya que se mejora las propiedades Físicas y Mecánicas.

(Espinoza, 2018) Presenta en su tesis:

“Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huánuco – 2018” (tesis de pregrado) Universidad Nacional “Hermilio Valdizan “de Huánuco. La presente investigación desarrolla lo concerniente a la utilización del plástico PET reciclado y fundido como agregado ligante, para elaborar mezclas asfálticas, considerando que es de mucha importancia porque se puede utilizar en la pavimentación, mantenimiento de las calles de Huánuco que se encuentran en deterioro de esa manera sea de poder mitigar la contaminación del medio ambiente ,ya que los plásticos tardan más de 500 años en degradarse, eso acarrea daños irreparables en el ecosistema terrestre

y marino. Se realizó un diseño de mezcla en caliente con cemento asfáltico y un diseño de mezcla en caliente con plástico reciclado PET fundido, siguiendo el procedimiento del ensayo Marshall, siendo sometidas a pruebas de estabilidad y fluencia, con los requisitos de la norma. Se realizaron 15 briquetas con cemento asfáltico tradicional y 45 briquetas con diferentes porcentajes de plástico PET con relación al peso total de la briketa.

(Tunque, 2020) Presenta en su tesis:

“Modificación de la resistencia y la deformación de una mezcla asfáltica con Polietilentereftalato en la ciudad de Huancayo” (tesis de pregrado) Universidad Peruana Los Andes. El objetivo general de la investigación se enfocó en demostrar en qué medida se modifica la resistencia y la deformación de una mezcla asfáltica con Polietilentereftalato. También estimar la cantidad óptima de cemento asfáltico, calcular la dosificación de Polietilentereftalato en una mezcla asfáltica con Polietilentereftalato. Sobre la metodología, se usó el método científico, de tipo aplicada cuyo nivel es descriptivo. La población estuvo conformada por los pavimentos flexibles del distrito de Huancayo. Los resultados demostraron que la mezcla óptima es de 6% de cemento asfáltico, con

el 8% de Polietilentereftalato (PET), que mejoran los valores los valores de la resistencia (1196.5 Kgf) y la deformación (4.3 mm). Concluyendo que existe una mejora considerable frente a la muestra de mezcla convencional con 6% de cemento asfáltico.

(Puente, 2020) Presenta en su tesis:

“Análisis técnico - económico de mezclas asfálticas con tereftalato de Polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas” (tesis de pregrado) Universidad Peruana Los Andes. El objetivo de la presente investigación fue analizar técnica y económicamente a las mezclas asfálticas con tereftalato de polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas, teniendo en consideración que mejora el desempeño estructural y la durabilidad, además de no variar significativamente el costo para la construcción de carreteras asfaltadas. El método general de investigación fue el científico, tipo de investigación fue aplicada de nivel correlacional y de diseño experimental. La población de estudio fue de 100 especímenes de

mezcla asfáltica convencional y modificada con escamas PET. Concluyendo que la presencia de escamas PET en la mezcla incide positivamente en el desempeño estructural y durabilidad, bajo un contenido óptimo de 1% de escamas PET en relación al agregado fino.

(Corbacho, 2018) Presenta en su tesis:

“Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de Tereftalato de Polietileno reciclado en la ciudad del Cusco

– 2018” (tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. La presente investigación tiene como objetivo mejorar el comportamiento de la mezcla de concreto asfáltico en caliente modificándolo con un polímero-plastomero. El polímero usado fue el Polietileno Tereftalato (PET), proveniente de un centro de acopio de botellas de plástico reciclado. Esta iniciativa recae en el problema medioambiental ya que es insuficiente para poder disminuir la contaminación producida por desechos plásticos. Se realiza el diseño mediante el Método Marshall para así poder obtener el contenido óptimo de asfalto de una mezcla asfáltica convencional y luego modificarlas con las fibras PET. También se realizó el ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo con el fin de determinar el comportamiento ante un ahuellamiento y susceptibilidad a la humedad de ambas mezclas asfálticas. Finalmente se analizaron todos los parámetros Marshall y pruebas de desempeño (Ensayo de Rueda Cargada de Hamburgo, Ensayo Lottman modificado y Modulo Resiliente), con la finalidad de poder conocer la influencia de las fibras PET y así brindar una alternativa de reutilizar este plástico.

(Minaya, 2017) Presenta en su tesis:

“Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima – 2017” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. El objetivo principal de la presente investigación es determinar un mejor comportamiento de la carpeta asfáltica con plástica reciclado en comparación con una carpeta asfáltica tradicional. Lo que llevo a ser análisis de un grupo de ensayo asfáltico, por un lado, una

mezcla asfáltica convencional y el otro una mezcla asfáltica con plástico reciclado. Se concluye que la deformación por carga, obtenidas mediante el ensayo de diseño Marshall en la mezcla con incorporación de plástico mejora la resistencia a la deformación en un 3.11% lo que implica mayor soporte de cargas frente al tradicional.

(Villanueva, 2019) Presenta en su tesis:

“Resistencia al Corte de un suelo arcilloso, adicionando el 3% de Polietileno Tereftalato (PET) a nivel de subrasante en el C.P Rataquenua – Huaraz – Ancash” (tesis de pregrado) Universidad San Pedro. La presente investigación desarrolla un objetivo principal el de incrementar la resistencia al corte (CBR) de un suelo arcilloso adicionándole el 3% de Polietileno Tereftalato (PET), donde se llevó a cabo ensayos de laboratorio al suelo en estado natural y otro adicionándole Polietileno Tereftalato (PET), con la recolección de muestras de las calicatas del tramo Rataquena -Huaraz. Teniendo resultados que alcanzaron un promedio de 11.10% de resistencia al corte de la muestra patrón al 100% y un promedio de 25.30% de la muestra experimental al 100%, se concluye que se logró aumentar en un 14.20% mejorando la resistencia al corte del suelo estudiado.

(Elías, 2017) Presenta en su tesis:

“Análisis de la incorporación del PET y PEAD en la flexibilidad y resistencia a la deformación en un pavimento ecológico” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo. En presenta investigación se desarrolla la evaluación de las muestras con desechos plásticos de tipo PET y PEAD en sustituciones de 1,3 y 5 % en el agregado fino, siendo estos plásticos cortados manualmente en tamaños similares al agregado fino, se aplicó las teorías y normas estandarizadas del pavimento flexible, mezcla en caliente, como lo es el método Marshall. Se obtuvo como población un total de 84 probetas, luego de su elaboración se realizaron los ensayos de control de calidad en el laboratorio, dentro de los ensayos se evaluaron el flujo, quien nos indica la flexibilidad del pavimento y la estabilidad quien nos da como resultado la resistencia a la deformación. Concluyendo que la influencia de los desechos plásticos (PET) EN UN PORCENTAJE 3% tiende a un crecimiento en la resistencia a la deformación y en la flexibilidad tiende a una pequeña

disminución, pero se encuentra dentro del requerimiento a ser pavimento flexible. Lo contrario ocurre con el desecho plástico de tipo PEAD en los porcentajes que fueron sustituidos como son en un 1.3% y 5% la influencia que tiene es que se convierte el pavimento en un pavimento rígido encontrándose así fuera de los parámetros que debe cumplir.

2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

2.2.1 Composición de las mezclas asfálticas en caliente

Las mezclas asfálticas en caliente están compuestas por agregado grueso (piedra chancada), arena natural, agregado fino (arena chancada), relleno o Fíller, cemento asfáltico y aditivos mejoradores de adherencia, cuya proporción es determinada según diseño en función a los requerimientos tanto climáticos como estructurales.

2.2.2 Componentes de la mezcla asfáltica convencional

Los materiales que componen la mezcla asfáltica son esencialmente los: (agregados pétreos: finos, gruesos y filler o polvo mineral); el cemento asfáltico y opcionalmente aditivos.

2.2.3 Cemento asfáltico (C.A.P)

Según EG (2013), el cemento asfáltico empleado para riegos de liga y elaboración de mezclas asfálticas en caliente, se clasifica por viscosidad cinemática, por penetración y los equivalentes al Grado de Performance (PG). Su empleo está condicionado a las características climáticas de la región, la correspondiente a la carta viscosidad del cemento asfáltico, y lo indicado la Tabla 415-01 (tabla 8), las mismas que deben cumplir con lo establecido en el proyecto y la aprobación del Supervisor.

Tabla N° 1: Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media			
Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó		85-100	

60-70 ó 60-70 120-150 Asfalto
Modificado
modificado

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales MTC (EG, 2013).

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

El cemento asfáltico a emplearse, podrá modificarse mediante la adición de productos químicos (aditivos) de diferentes naturalezas, tales como: rejuvenecedores, polímeros, o cualquier otro producto garantizado, con sus respectivos ensayos de calidad y las especificaciones técnicas aprobadas y certificadas por una entidad competente. Los controles de calidad por cada tipo de aditivo, y su dosificación de uso, serán aprobados por la supervisión.

2.3 Clasificación de cemento asfáltico

A) Clasificación por penetración

Esta clasificación fue desarrollada a inicios de los 1900s para caracterizar la consistencia de asfaltos semisólidos.

Los requisitos de calidad están establecidos en la Tabla 9.

Tabla N° 2: Especificaciones de Cemento Asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
		PEN		PEN		PEN		PEN		PEN	
Grado	Ensayo	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
		min	má	min	má	min	má	min	má	min	má
			x		x		x		x		x

Pruebas sobre el Material Bituminoso

Penetración a 25°C, 100g, 5s, 0.1mm MTC E 304

40 50 60 70 85 100 120 150 200 300

Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232	232	232	218	177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100	100	100	100	100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica)	MTC E 304	-1	1	-1	1	-1	1
Ensayo de la Mancha (Olienses)							
Solvente Nafta – Estándar		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	AAS H TO				Negativo	Negativo	
	M20	Negativo	Negativo	Negativo			
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3.2mm, 5h							
Pérdida de masa, %	AST M D 1754	0,8	0.8	1	1.3	1.5	

Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+	52+	47+	42+	37+
Ductilidad del residuo a 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306				100	100
		50	75			

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC (EG, 2013).

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a la temperatura de 175°C.

Según EG (2013), las especificaciones particulares de los cementos asfálticos modificados con polímeros se describen en la Sección 431 junto con sus requisitos de calidad, que se establecen las Tablas 431-01, 431-02 y 431-03.

B) Clasificación por grado de performance (PG)

Este sistema llamado SUPERPAVE fue desarrollado en USA a inicios de 1987 para caracterizar la aplicación de asfaltos por grados de performance térmica y decarga de tráfico basados en la ingeniería de la reología. El desarrollo de la tecnología SUPERPAVE, desarrollada por el SHRP (Strategic Highway Research Program) de los EE.UU., está dirigido a controlar la deformación permanente, agrietamiento y fatiga de las mezclas asfálticas durante el servicio en carreteras (Petroperú S.A, (2016).

Actualmente, en base a esta clasificación se realiza una serie de ensayos que permiten determinar las temperaturas máximas y mínimas de uso del asfalto en el pavimento y lograr un mejor análisis del comportamiento que tendrá el ligante durante su uso. Estos métodos se crearon debido a la serie de errores y desviaciones que pueden demostrarse con los ensayos tradicionales.

Este sistema de especificación conocido como SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement) permite determinar las condiciones en donde las propiedades físicas permanecen constantes. Por ejemplo, un grado PG (Performance Grade) 52-40 indica que el asfalto es capaz de garantizar un buen

comportamiento con una temperatura máxima de 52 °C en un promedio de siete días sucesivos, y una temperatura mínima de diseño de -40°C.

Es una herramienta valiosa que considera el clima y la carga de tráfico para la selección de los asfaltos, lo que asegura que los pavimentos duren más y se desempeñen mejor. Los asfaltos son graduados por su Grado de Desempeño (PG) en función de la temperatura ambiental más alta y la temperatura ambiental más baja a la cual el pavimento se mantendrá sin fallas (Petroperú S.A, (2016).

Mario A. Candia Gallegos & Gerardo Flintsch (2010), señalan que la selección del cemento asfáltico se realiza en función a las condiciones climáticas de temperatura y de las mayores cargas inducidas por el tráfico actual. Estas condiciones climáticas de temperatura son medidas en forma más apropiada por su grado de desempeño (PG), el cual define el rango de temperaturas para el cual el asfalto podrá satisfacer los requerimientos de servicio. De esta manera se ha desplazado la medición del tradicional grado de penetración del asfalto (PEN), parámetro que mide la viscosidad del asfalto, la cual ha resultado ser una expresión mucho menos precisa del comportamiento del asfalto frente a sus propiedades viscoelásticas. Por lo tanto, la clasificación de asfalto en base a la penetración ha quedado como información solamente referencial dentro de la tecnología de punta.

Asimismo, indican que para elevar la calidad y extender su vida útil de pavimentos asfálticos, se deben considerar nuevas consideraciones de diseño que incorpore una explicación científica de la interacción de la estructura del pavimento con el medio ambiente y con las cargas aplicadas; asimismo, la selección de materiales y la medición de los parámetros de calidad que son los indicadores del desempeño del pavimento. Además, implica el cambio de responsabilidades entre el Contratista y el Propietario, así como también la gerencia de los proyectos.

Escalante Zegarra J. (2011), señala que la función básica de un polímero, cuando es adicionado al asfalto, es reducir la susceptibilidad térmica, mejorando el comportamiento elástico del asfalto y proporcionando el aumento de la resistencia a la deformación permanente de las mezclas asfálticas en

situaciones extremas de altas temperaturas en servicio, la disminución de las fisuras en bajas temperaturas y la disminución de las fisuras por fatiga. Los polímeros también mejoran la adhesividad entre los agregados y el asfalto, disminuyendo la abrasión y mejorando la resistencia a la oxidación.

Según EG (2013), se tiene la siguiente clasificación.



Figura N° 1: Clasificación de cemento asfáltico en el Perú

Fuente: Beneficios de los cementos asfálticos PG con Polímeros (Romero, 2013).

Según Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México, en el libro CMT. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES (2005), recomienda realizar los ajustes del Grado de PG seleccionado por el clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Tabla N° 3: Cemento asfáltico clasificado por Grado de Performance

Intensidad del Tránsito (ΣL_{10})	Grado PG selecciona do por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceros)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88

Fuente: Secretaria de Comunicaciones y Transporte (CMT), Características de los Materiales (2005), Pavimentos Sustentables Camino hacia ellos.

Según Superpave (2014), se tiene la siguiente clasificación del asfalto:

Tabla N° 4: Cemento asfáltico clasificado por Grado de Performance

<i>Penetración</i>	→→→	<i>PEN 40/50</i>	<i>PEN 60/70</i>	<i>PEN 85/100</i>	<i>PEN 120/150</i>
Performance Grade, PG	M 320	PG 76 - 22	PG 64 - 22	PG 58 - 28	PG 58 - 28
"True" Performance Grade, PG	M 320	PG 76 - 28.20	PG 68 - 27.70	PG 63 - 28.70	PG 58 - 31.20
Rango efectivo	Temperatura	104.20	98.70	91.70	89.20
(G*/Sin δ), virgen	> 1.0 Kpa	1.040 a 76°C	1.510 a 64°C	1.870 a 58°C	1.080 a 58°C
(G*/Sin δ), envejeida RTFOT	> 2.2 Kpa	4.220 a 76°C	6.360 a 64°C	8.610 a 58°C	4.360 a 58°C
(G*.Sin δ), envejeida RTFOT	Máx. 5000Kpa	4.030 a 22°C	3.790 a 22°C	4.950 a 16°C	4.350 a 13°C
Cracking Crítico	Temperatura °C	-28.20	-26.10	-26.30	-33.70

(G*/Sinδ): Mide la resistencia a la deformación permanente. Un “alto” valor, indica su mejor Resistencia a deformación.

(G*. Sinδ): Mide la resistencia a la fatiga. Un “bajo” valor indica una mejor resistencia a la fatiga.

Fuente: Pavimentos Sustentables – Camino hacia ellos (2014).

2.3.1 Agregados Pétreos y filler o relleno mineral

Según EG (2013). Sección 415-02(a) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), los agregados pétreos empleados para la ejecución de cualquier tratamiento o mezcla asfáltica, al agregarse una capa de material asfáltico, esta no se desprenda por acción de agua y de tránsito. Cuando se requiera una adecuada adherencia entre el par agregado y asfalto, se debe adicionar aditivos de comprobada eficacia.

Para efecto de las presentes especificaciones, se denominará agregado grueso a la porción de agregado retenido en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4); agregado fino a la porción comprendida entre los tamices de 4,75 mm y 75 µm (N.º 4 y N.º 200) y polvo mineral o llenante la que pase el tamiz de 75 µm (N.º 200), (EG, 2013, p. 469).

El agregado grueso deberá proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y

durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan impedir la adhesión con el asfalto. Sus requisitos básicos de calidad se presentan en cada especificación (EG, 2013, p. 469).

El agregado fino estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. La proporción admisible de esta última será establecida en el diseño aprobado correspondiente (EG, 2013, p. 470).

El polvo mineral o llenante (Filler), podrá proceder de trituración de agregados, o productos tratados como la cal hidratada o cemento portland, generalmente tipo I. Según EG (2013), su peso unitario aparente, es determinado por el ensayo MTC E 205, cuya variación deberá encontrarse entre 0,5 y 0,8 g/cm³ y su coeficiente de emulsibilidad (NLT 180) deberá ser inferior a 0,6. El polvo mineral tiene una granulometría que deberá ser verificada antes de definir su empleo en la mezcla asfáltica, cuyos valores están parametrizadas en las especificaciones técnicas del proyecto.

La mezcla de los componentes de la mezcla asfáltica como son: agregados gruesos, agregados finos y el material espesante (filler), deben cumplir con una granulometría, indicada en las especificaciones del proyecto y/ Manuales o normas que establecen los parámetros de control de calidad.

Según EG (2013), el requerimiento de calidad de la mezcla de los agregados debe cumplir con lo establecido en el Tomo I, sección 423-02 (a) Tabla 423-01.

Tabla N° 5: Requerimientos de calidad para los agregados gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤ 3.000	> 3.000
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.

Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (*)	MTC E 206	1.0% máx.	1.0% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC (EG, 2013)

(*) Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si se asegura las propiedades de durabilidad de las mezclas asfálticas.

- 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.

Asimismo, según EG (2013) en Tomo I, sección 423-02 (b) los agregados minerales finos, deben cumplir con los parámetros de calidad señalados en la siguiente Tabla 423-02, que para nuestro caso es la tabla 2, referido a los requerimientos de parámetros de calidad de los agregados finos, definidos en función a la altitud, la cual nos facilita definir los valores y parámetros de control de calidad para el diseño de mezclas asfálticas.

Tabla N° 6: Requerimientos de calidad para los agregados finos

Ensayo	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm) ≤ 3.000	> 3.000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40

ASHTO TP57			
Azul de metileno		8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	35% min.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción (**)	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC (EG, 2003)

(**) Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo 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.

establecido la norma AASHTO T283, indicada en la tabla 430 – 01, para nuestro caso tabla 3.

2.3.2 Filler o relleno mineral

Es un material que se utiliza en las mezclas asfálticas, con la finalidad de completar la granulometría de los agregados finos (Material espesante de la mezcla asfáltica), se emplea cuando sus características no cumplen con los parámetros de calidad, requeridas en las especificaciones técnicas del proyecto

Según EG (2013), los materiales que pueden utilizarse como filler pueden ser la cal hidratada, cemento portland (generalmente tipo I), polvo de roca (Trituración de rocas), polvo de escoria (De grandes hornos), ceniza fina o lo es.

Asimismo, el Filler o polvo mineral de la cal hidratada debe cumplir con los requisitos de calidad especificada en la norma AASHTO-M303, y los restantes materiales antes señaladas, deben cumplir la norma ASTM D-242. Las proporciones de uso, serán determinadas en el diseño de mezcla asfáltica.

2.3.3 Mejorador de adherencia

Según EG (2013) En Tomo I, sección 430 Mejoradores de Adherencia, indica que serán utilizados con la finalidad de mejorar la adherencia del par asfalto - agregados. Asimismo, indica que el mejoramiento de adherencia se podría obtener con el uso de cal tipo I y II (AASHTO M303), Base tipo amina, cenizas(AASHTO M295) y otros productos de calidad certificada.

Según EG (2013), la calidad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto – agregado, para cada diseño de mezcla, será evaluada según lo establecido la norma AASHTO T283, indicada en la tabla 430 – 01, para nuestro caso tabla 3.

Tabla N° 7: Efectividad de los aditivos

Requerimiento	Norma	Requerimiento
Resistencia conservada en la prueba de tracción	AASHTO	80 mín.
directa (**)	T 283*	

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC (EG, 2013) .

*El Ensayo AASHTO T-283 se realiza para ciclos completos de congelamiento y calentamiento.

** Opcionalmente se aplica el método ASTM D 4867 (Lottman Modificado), considerando los ciclos completos de congelamiento y calentamiento.

Según EG (2013) refiere que en caso de que el producto utilizado sea cal, deberá cumplir los requerimientos indicados en la Tabla 430 – 02 para tipo I y Tabla 430 – 03, para Tipo II.

Tabla N° 8: Requerimiento de calidad para Cal Tipo I

Requerimiento	% Masa
Contenido mínimo de Cal Activa (% Ca (OH ₂ +Ca(O) ^o)	90
Contenido máximo de Cal Deshidratada (% en masa de CaO)	7
Contenido máximo de agua (% en masa de H ₂ O)	3

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC (EG,2013).

(°) No se permite más del 7% en masa de óxido de calcio (cal hidratada) en ladeterminación del contenido total de cal activa.

Tabla N° 9: Requerimiento de calidad para Cal Tipo I

Requerimiento	% Masa
Contenido mínimo de residuo de ignición de Oxido de Calcio y Magnesio (%)°	96
Contenido máximo de Dio de Carbono (de base recibida)	7
Contenido máximo de Dio de Calcio deshidratado (de base recibida)	3

Fuente: AASHTO M 303

La ignición a masa constante sea realizado en horno eléctrico a temperatura de 1000 – 1100 °C (1800 – 2000. °F).

Las proporciones en las cuales serán incorporadas, serán determinadas en el diseño de mezclas.

2.3.4 Gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC)

Las gradaciones de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente deberán ajustarse a alguna de las siguientes gradaciones y serán propuestas por el Contratista y aprobadas por el Supervisor (EG, 2013, p.561).

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en el acápite (a), (b) y (c) de esta Subsección, el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el 1% de partículas deleznable según ensayo MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos (EG, 2013, p. 561).

La gradación de la mezcla asfáltica en caliente (MAC) deberá responder a algunos de los usos granulométricos, especificados en la Tabla 423-03, que corresponde al Manual de Carreteras Especificaciones Generales del MTC, EG- 2013. Alternativamente pueden emplearse las gradaciones especificadas en la ASTM D 3515 e Instituto del Asfalto (EG, 2013, p. 561).

La gradación de la mezcla asfáltica, deberá cumplir con cualquiera de los tipos de husos granulométricos, la misma que es propuesta por el Contratista, previo diseño de la mezcla asfáltica.

Tabla N° 10: Requerimientos de usos granulométricos para mezclas asfálticas

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

Fuente: Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales de MTC(EG, 2013).

Tabla N° 11: Gradaciones para mezclas cerradas

Mezcla cerrada									
Tamaño máximo nominal de agregado									
Abertura de malla	2 in (50 mm)	1 ½ in (37,5 mm)	1 in (25,0 mm)	¾ in (19,0 mm)	½ in (12,5 mm)	⅜ in (9,5 mm)	N°4 (4,75 mm)	N°8 (2.36 mm)	N°16 (1,18 mm)
2½"	100	...	...	...	...	...	...	...	...
(63m)									
2"	90-100	100	...	...	...	...	...	...	...
(50mm)									

Fuente: Norma ASTM D 3515

2.3.5 Plástico Reciclado

Definición de Plástico Reciclado

Según Espinoza (2019). Los plásticos son materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, siendo fácil de moldearlos y modificarlos ya sea de textura o forma colocándole a una determinada compresión y temperatura.

Para la revista Reinforced Plastics and Composite magazine (2011), por lo general, los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor. Una vez que alcanzan el estado que caracteriza a los materiales que solemos denominar como plásticos, resultan bastante resistentes a la degradación y a la vez son livianos.

Tipos de Plástico Reciclados

Según Villanueva (2019). Los plásticos se pueden dividir y clasificar de acuerdo a la estructura molecular, el estado físico, la composición química, el uso final o la reacción en el ambiente.

Plástico PET (tereftalato de polietileno)

Según Villanueva (2019). El PET o también conocido como polietileno de tereftalato, es un polímero (material construido por moléculas), que es obtenido mediante la reacción de ácido tereftalato y etilenglicol. Ello da

lugar a la formación de gránulos blancos que se utilizan para la fabricación principalmente envases.

El tereftalato de polietileno o más conocidos por las siglas es tipo de plástico derivado del petróleo, se obtiene de la reacción de petroquímicos secundarios como ácido tereftalato, formando pequeños cilindros de color blanco transparente.

Es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas, así como por su alto grado de transparencia y brillo.

Propiedades del Plástico PET (tereftalato de polietileno)

Este material cuenta con la capacidad de cumplir diversos requerimientos técnicos y ha sido a causa de esto que actualmente el desarrollo tecnológico lo haya incluido en una gran variedad de compuestos y estructuras en el general. (Muñoz, 2012, p.48). Estas son:

- Buena resistencia a la corrosión y desgaste
- Coeficiente de deslizamiento favorable
- Gran resistencia química y térmica
- Alta dureza
- Elevada rigidez
- Muy elevada resistencia a los esfuerzos permanentes.
- Datos técnicos del PET

Tabla N° 12: Datos técnicos del PET

Propiedad	Densidad	Resistencia a la tensión	Resistencia a la compresión	Resistencia al impacto	Dureza	Límite elástico	Dilatación térmica
Unidad	g/cm ³	Mpa	Mpa	J/mm	--	%	10 – 4/°C
Valor	1.34-1.39	59-72	76-128	0.01-0.04	Rockwell M94-M101	50-150	15.2-24
Propiedad	Resistencia al calor	Resistencia dieléctrica	Absorción de agua	Velocidad de combustión	Efecto de la luz solar	Calidad de mecanizado	Calidad óptica

Unidad	°C	V/m m	%	Mm/mi n	--	--	--
Valor	80-130	13780- 15750	0.02	Consumo lento	Se decolora ligerament e	Excelent e	Transparente

Fuente: Elaboración propia en base a los datos de la empresa de plásticos Richardson & Lokensgard

2.3.6 Tipos de Plástico PET (tereftalato de polietileno)

Podemos distinguir siete tipos, según su grado, de plástico PET: los cuales varían por la composición de la misma, siendo el PET 1 o Tereftalato de Polietileno el de uso común los cuales son botellas de plástico, vinagre, aceites, etc.; el PET 2 o Polietileno de alta densidad, también son reciclables; el PET 3 o vinil que está presente en el PVC y empaquetaduras de comida transparente sin embargo es poco reciclable; el PET 4 o Polietileno de baja densidad; el PET 5 o Polipropileno ; el PET 6 o Polietileno y el PET 7 o variado, este último se encuentran los productos usados en tecnología, como coberturas de dispositivos y más los cuales no pueden ser reciclables. (Steve, 2012, p. 8-14).

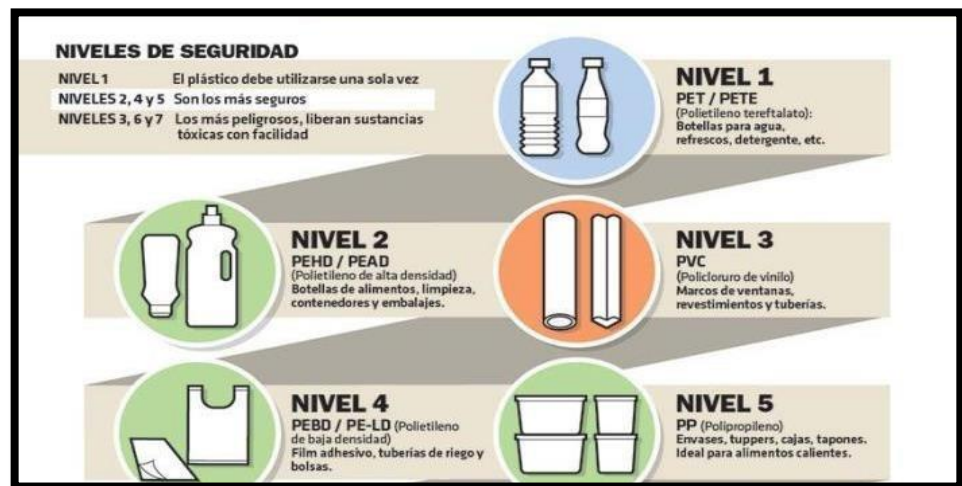


Figura N° 2: Clasificación del Plástico

Fuente: <https://images.app.goo.gl/B6GQ6JhDAsnuXcLE7>

2.3.7 Plástico PET como parte de una mezcla asfáltica en caliente

En el mundo existen dos técnicas de utilización de polímero o aditivos para modificar las propiedades de mezclas asfálticas que se les denomina por vía

húmeda y por vía seca. Por vía húmeda, el polímero o aditivo es agregado al asfalto a alta temperatura y, luego, este ligante ya modificado es adicionado al agregado pétreo para conformar la mezcla asfáltica. Por vía seca, el aditivo reemplaza parte del agregado pétreo y se adiciona a este a alta temperatura para luego recibir el asfalto y formar la mezcla asfáltica (Quintana, 2015, p.103).

Hasta ahora el ligante asfáltico tradicional resistía bien la acción del clima y el tránsito; pero el constante aumento de las solicitudes debidas al mayor número de cargas por eje, a la mayor presión de inflado, a las mayores velocidades, etc., hace que se requiera para la elaboración de mezclas asfálticas, un ligante con mejores propiedades reológicas y mecánicas (Contreras & Zúñiga, 2020, p.55).

El plástico en forma de botellas, bolsa, recipientes, entre otros es de los materiales de mayor consumo diario a nivel global, por lo que su tratamiento como material a ser incorporado en las mezclas asfálticas modificadas se han realizado a través de diferentes aplicaciones como:

- Modificación de ligantes asfálticos
- Agregados cubiertos de plástico
- Situación del agregado

En todo proceso de modificación de asfalto y mezclas asfálticas, es de suma importancia el analizar el material a utilizar como modificante, maximice si este es un material de desecho.

2.3.8 Clasificación de los plásticos

Según la disposición de las moléculas que forman el polímero se distinguen tres grupos de plásticos: Termoestables, Termoplásticos Elastómeros. Las macromoléculas están dispuestas libremente sin entrelazarse. Tienen la propiedad de reblandecerse con el calor, adquiriendo una forma que conserva al enfriarse. Sus macromoléculas se entrecruzan formando una red. Debido a esta disposición sólo se les puede dar forma una vez. Un segundo calentamiento produciría su degradación. Las macromoléculas están ordenadas formando una red de pocos enlaces. Recuperan su forma y dimensiones cuando la fuerza que actúa sobre ellos cede.

Tabla N° 13: Clasificación de plásticos

<i>Clasificación de plásticos</i>		
<i>Termoplásticos</i>	<i>Termoestables</i>	<i>Elastómeros</i>
PVC	Poliuretano	Caucho natural
Poliestereno	Resinas fenólicas	Caucho sintético
Polietileno	Melanima	Neopreno
Metacrilato		
Teflón		
Celofán		

Fuente: Materiales plásticos – monografías (Pablo Turmero, 2011).

Tabla N° 14: Especificaciones de polietileno de baja densidad

<i>Características</i>	<i>Unidad</i>	<i>Rango</i>
Densidad a 23°C	g/cm ³	0.9195 - 0.235
Punto de fusión	° C	105 - 110
Indice de fusión	g/10 min	1.7 - 2.30
Resistencia última	PSI	1900 - 2741
Elongación última	%	319 - 534

Fuente: Evaluación de las Propiedades Físicas de un Cemento Asfáltico 60/70

Modificado con Residuos de la Fabricación de Productos con Polietileno de Baja Densidad (2011).

a) Clasificación internacional

El reciclaje y reúso del plástico, según Mariela M. (2010), existen más de cien tipos de plásticos, siendo los más comunes solo seis, identificados con un número dentro de un triángulo, para facilitar su clasificación para el reciclado por separado.



PEBD (LDPE)

Figura N° 3: Simbología de polietileno de baja densidad

Fuente: Materiales plásticos – monografías (Pablo Turmero (2011).

2.3.9 Ensayo Marshall

Usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 64 mm (2.5 pulgadas) de espesor por 102 mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los datos más importantes para el diseño de mezclas del método Marshall son: un análisis de la relación de vacíos- densidad, y una prueba de estabilidad-flujo de las muestras compactadas.

Los procedimientos seguidos en el Diseño Marshall de Mezclas, deben ser seguidos de acuerdo a como se encuentra en la norma AASHTO T 245 (o ASTM D1559).

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

El primer paso en el método de diseño, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir dichas cualidades. Una vez hecho se puede empezar con la preparación de los ensayos.

a) Selección de las Muestras de Material

Se reúnen las muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación, es importante que tanto las muestras del asfalto y las muestras del agregado tengan las mismas características idénticas a las del asfalto que ha de ser usado en la mezcla final. Se hará la extracción de datos de los procedimientos de diseño de mezclas lo que determinarán la fórmula o “receta” para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

b) Preparación del Agregado

La relación viscosidad – temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para poder establecer las temperaturas de

mezclado y compactación en el laboratorio. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

- Secado el agregado

El ensayo requiere que los agregados estén libres de humedad, ya que evita que los resultados sean afectados.

- Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

Es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

- Determinación del Peso Específico

El cálculo del peso específico de la muestra seca de agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto, y vacíos que van usarse en los métodos de diseño.

c) Preparación de las Muestras (Probetas) de Ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes pre-calentados Marshall (Figura 01) como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de

compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

3. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación (Figura 02) El número de golpes del martillo (35,50,75) depende de la cantidad de tránsito para la cual la mezcla está siendo diseñada. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente, un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.



Figura N° 4: Preparado de probetas de ensayo en Moldes Marshall

Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla
Asfáltica en Caliente – Serie de Manuales N°22 (MS – 22)



Figura N° 5: Preparado de probetas de ensayo en Moldes Marshall
Fuente: Análisis de la Influencia de Método de Compactación en
el Comportamiento Mecánico de Mezclas Asfálticas (Publicación
Técnica N°255)

Se desarrolla el procedimiento del Ensayo Marshall

a) Determinación del Peso Específico Total

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis preciso de densidad - vacío. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHATO T 166.

b) Ensayos de Estabilidad y Fluencia

Está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. El procedimiento de los ensayos es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en baño de agua a 60°C (140°F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.

2. La probeta es removida del baño, secada, y colocada rápidamente en aparato Marshall. EL aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51 mm (2 pulgadas) por minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta pueda resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra con la fluencia.

c) Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los dos cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de Estabilidad Marshall.

d) Valor de Fluencia Marshall

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia son consideradas

Demasiado plásticas, y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

e) Análisis de Densidad y Vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

2.2 Definición de términos básicos

Para definir los términos empleados en el desarrollo del presente trabajo, se ha considerado lo establecido en el Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial, aprobado mediante RD. N° 18-2013-MTC/14. Versión actualizada, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2013).

Agregado bien graduado: Agregado cuya gradación tiene una distribución de una gran variedad de tamaño de partículas, que tiene un tamaño máximo hasta un relleno mineral, y que esta distribución de partículas se encuentra centrado a una curva granulométrica “huso” especificada.

Agregado de gradación abierta: Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

Ahuellamiento: Gamboa Ojeda, J. (2011) define como la falla causada por el efecto de esfuerzos verticales de compresión en la capa asfáltica de un pavimento, manifestada en ahuellamiento bajo la superficie de carga de las llantas y de esfuerzos horizontales que varían desde compresión en la parte superior de la capa a tensión en la parte inferior. La magnitud de estos esfuerzos depende de factores relacionados con la estructura de los agregados.

Asfaltos modificados: Gamboa Ojeda, J. (2011) define que son aquellos que presentan mejores propiedades reológicas, un mayor grado de adherencia, mayor resistencia al envejecimiento y menor susceptibilidad térmica, propiedades que se logran mediante la adición de un material de características poliméricas, mediante un proceso de deshidrogenación a altas temperaturas aplicando además una corriente de aire.

Cemento asfáltico: Según EG-2013 es un material bituminoso, de consistencia sólida, utilizado para la fabricación de mezclas asfálticas en caliente.

Control de calidad: Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.

Ensayo Marshall: Ensayo para obtener los valores del contenido de asfalto y otros parámetros que determinan la calidad de una mezcla bituminosa.

Estabilidad bajo agua: Capacidad del suelo de conservar sus propiedades volumétricas y/o de soporte bajo condición de inmersión en agua.

Grados de penetración: Sistema de Clasificación de los cementos asfálticos basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen grados patrones de clasificación tales como: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300. Impacto ambiental: Alteración o modificación del medio ambiente generado por la actividad del hombre o de la naturaleza, que incluye los impactos socio ambiental. Polietileno de baja densidad: El polietileno es el plástico de mayor uso. El polietileno de baja densidad, LDPE, se usa en películas y bolsas plásticas. Reciclar: Camargo Chávez, H & Suarez Mesa, A (2010) indica que es obtener materia prima a partir de desechos, introduciéndolos de nuevo en un ciclo de vida. Volumen de vacíos: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla asfáltica compactada.

CAPITULO III: SISTEMA DE HIPOTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Al adicionar el plástico reciclado pet a la mezcla asfáltica en caliente se determinay mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.

3.1.2 Hipótesis Específicas

- a) Al determinar el porcentaje óptimo de plástico reciclado usado se mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.
- b) Al determinar el porcentaje de plástico reciclado se aumenta la resistencia al flujo de la mezcla asfáltica en caliente.
- c) Al determinar el porcentaje de plástico reciclado se optimiza la densidad aparente y el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente con plástico reciclado.
- d) La mezcla asfáltica en caliente con plástico reciclado es más costosa que la mezcla convencional.

3.2 Variables

3.2.1 Definición conceptual de las variables

- Variable independiente
Mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado.
- Variable dependiente
Propiedades mecánicas de los asfalto

3.2.2 Operacionalización de las variables

Tabla N° 15: Operacionalización de variables

Variable independiente	Descripción conceptual	Descripción operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice de medición
Mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado	Porcentaje óptimo de plástico para mejorar las propiedades mecánicas del asfalto convencional.	Se determina el porcentaje de adición de plástico reciclado (PET) apartir del contenido óptimo de cemento asfáltico convencional para obtener el cemento asfáltico modificado, y por consiguiente una mezcla asfáltica modificada con respecto ala mezcla convencional.	Resistencia	Soporte de carga Trabajabilidad Resistencia a la fatiga Resistencia al deslizamiento	Kg/cm2 Kg/cm2
Variable dependiente	Descripción conceptual	Descripción operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice de medición
Propiedades mecánicas delos asfaltos		Se determina los parámetros que representaran las propiedades mecánicas de una mezcla convencional y de la mezcla asfáltica modificada con plástico reciclado	Parámetros Marshall – comportamientomecánico	Soporte de carga Índice de rigidez Densidad Óptimo contenido deC.A.	Porcentaje %

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

4.1 Tipo y método de investigación

4.1.1 Método de la investigación

El método de la investigación es deductivo debido a que obtendremos los parámetros Marshall de una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado pet, y a partir de eso evaluaremos la viabilidad de su uso como mejorador de las propiedades mecánicas.

4.1.2 Orientación de investigación

La orientación de la presente investigación es aplicada, ya que se parte de investigaciones anteriores y buscamos dar una alternativa para determinar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificado con plásticos reciclados, para la determinación de sus propiedades mecánicas.

Enfoque de investigación

El enfoque de investigación es cualitativo, ya que se basa en información recolectada de una población no representativa, luego se analiza y procedea deducir el comportamiento que tendrá otra población con características similares a la estudiada.

4.1.3 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es descriptivo ya que su finalidad es detallar y describir los parámetros Marshall, con el fin de obtener de obtener la viabilidad de una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado.

4.2 Diseño de la investigación

El diseño del estudio es no experimental debido a que no se realizaran ensayos de laboratorio, nos basaremos en estudios similares de acuerdo al clima y los diseños de mezclas asfálticas en caliente.

Según la cronología de las observaciones es retrospectiva ya que se cuenta con información previamente recopilada referente a nuestro objetivo de investigación.

Según el número de mediciones es longitudinal porque las variables tienen una relación causa efecto ya que a partir de la incorporación del plástico reciclado

mediante la técnica de mezcla en caliente se presentará una mejora en las propiedades mecánicas de la mezcla.

4.3 Población y muestra

4.3.1 Población del estudio

La población de estudio de esta investigación son las mezclas asfálticas en caliente modificadas con plásticos reciclado para mejorar sus propiedades mecánicas y/o mejorar la susceptibilidad térmica en la ciudad de lima.

4.3.2 Diseño muestral

La muestra es no paramétrica y comprende en estudios similares de acuerdo al clima y los diseños de mezclas asfálticas en caliente.

4.4 Técnica e instrumentos de recolección de datos:

4.4.1 Fuentes

1. Fuentes secundarias para recolección de la información

Las fuentes secundarias serán los expedientes técnicos de diseños de mezclas asfálticas en caliente.

2. Fuentes primarias para recolección de la información

Se recopilaron diseños de mezclas asfálticas en caliente, con el fin de obtener la viabilidad de una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado.

4.4.2 Procedimientos para la recolección de datos

El procesamiento de la información recabada se realizó de forma manual. La metodología que se utilizó para un correcto informe fue: Recopilación de antecedentes preliminares, donde se realizó la búsqueda, ordenamiento, análisis y validación de los datos existentes y toda la información necesaria que ayudó a cumplir con los objetivos establecidos de la investigación.

4.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas de procesamiento y análisis de datos se basarán en la comparación de comportamiento – costo de la mezcla asfáltica convencional y modificada.

CAPITULO V: DESARROLLO DE LA INVESTIGACION

5.1 Diseño de mezcla asfáltica convencional

5.1.1 Mezcla Asfáltica en caliente

Una mezcla asfáltica en caliente es la combinación en ciertas cantidades de agregados gruesos y finos con un ligante a altas temperaturas que oscilan entre los 135°C y 160°C. Están constituidos en un 90% por agregados pétreos, 5% polvo mineral y 5% de ligante asfáltico, donde estas cantidades relativas determinan las propiedades físicas de la mezcla. (Archila & Aparicio, 2018). Para conocer el porcentaje óptimo de ligante bituminoso se debe considerar lo siguiente:

Parámetros de las Mezclas Asfálticas en Caliente

Para el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente se debe considerar las proporciones volumétricas de los agregados pétreos y del ligante asfáltico, que son:

- Vacíos al aire (V_a): Son bolsas de aire atrapados en la mezcla asfáltica compactada final. Todas las mezclas densamente graduadas deben tener un porcentaje de vacíos mínimo y máximo, que permita una cierta comprensión por efecto del tráfico y genere espacio para que fluya al asfalto, conociendo que de esta característica depende la durabilidad del pavimento (Marcillo, 2018)
- Vacíos del agregado mineral (VAM): Volumen de vacíos del área intergranular entre partículas del agregado pétreo de una mezcla asfáltica compacta, que contiene los vacíos de aire llenos de asfalto (Ausletia & Romero, 2017)
- Vacíos llenados con Asfalto (VFA): Es el porcentaje del volumen de espacios vacíos intergranulares entre las partículas de árido que se encuentran llenos de aire y asfalto efectivo.
- Contenido de Asfalto Efectivo (Pbe): Es la cantidad de ligante asfáltico que recubre a los agregados pétreos sin considerar la parte que se ha perdido por la absorción del árido en una mezcla asfáltica.

- Gravedad aparente: Existen métodos para medir las gravedades aparentes relacionadas al diseño de mezclas asfálticas en caliente como la gravedad aparente Bulk.

5.1.2 Ensayo marshal

El propósito del método es analizar las propiedades pertenecientes a una mezcla asfáltica en caliente compactada, verificando el contenido óptimo de ligante bituminoso para una combinación específica de agregados pétreos con tamaño máximo igual o inferior a 25 mm (Morante, 2019).

Como explica Morante, este método nos permite conocer la calidad de nuestra mezcla asfáltica permitiéndonos trabajar con la mezcla más óptima.

Estabilidad Marshall

El ensayo de estabilidad es la máxima carga aplicada a una velocidad de deformación constante de 2plg/min, que puede resistir la briqueta antes de generarse una falla teniendo en cuenta la cohesión y fricción interna.

Flujo Marshall

La fluencia Marshall representa el movimiento o la deformación total de la briqueta, dada por la disminución en el diámetro vertical que se genera durante el ensayo de estabilidad.

5.1.3 Ensayo al plástico

Los plásticos son materiales compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias, y son fáciles de moldear y modificarlas ya sea de tamaño, textura o forma colocándole a una determinada compresión y temperatura. Para la revista Reinforced Plastics and Composites magazine (2011), por lo general, los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor. Una vez que alcanzan el estado que caracteriza a los materiales que solemos denominar como plásticos, resultan bastante resistentes a la degradación y a la vez son livianos.

Reciclado de plásticos:

Es el proceso de recuperación y acopio de desechos de plásticos con la finalidad de su reutilización con materia prima para poder elaborar nuevos productos.

Obtención del plástico y ubicación:

Para esta tesis se obtendrá el plástico a través de la recolección de residuos de un lugar de la misma zona de estudio.

5.1.4 Producción de mezcla asfáltica en caliente convencional

Para realizar el procedimiento de producción, se procede a realizar el diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.

Necesitaremos los materiales utilizados y las dosificaciones correspondientes para cada ensayo.

5.2 Diseño mezcla asfáltica modificada con plástico reciclado pet (tereftalato de polietileno)

El diseño de la presente investigación es tipo experimental. Con respecto a este tipo de investigación, Sampieri (2006) indica que la investigación requiere la manipulación intencional de una acción para analizar sus posibles resultados.

En el desarrollo de la investigación, se realizará el diseño Marshall con el plástico PET reciclado fundido, manteniendo las características del diseño de la mezcla asfáltica con el cemento asfáltico PEN 60/70. Una vez obtenido el porcentaje óptimo de ambos diseños y el índice de rigidez de los diseños, para luego con los resultados realizar la comparación respectiva con el grupo de control a través del ensayo Marshall.

5.2.1 Proceso de modificación de cemento asfáltico convencional con pet.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto, las probetas son preparadas para un determinado peso. El margen de los contenidos de asfalto usado en las briguetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final. La proporción de agregado en las mezclas está formulada por resultados de análisis granulométrico.

5.2.2 Caracterización del cemento asfáltico modificado con pet

Existen diferentes agregados y asfaltos que presentan diferentes características. Estas características tienen un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esascualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

La relación viscosidad-temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida para establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determina su peso específico, y efectuar un análisis granulométrico.

5.3 Comportamiento de la mezcla asfáltica convencional y modificada mediante los ensayos de caracterización y desempeño.

La fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica convencional está constituida por: 31.8% de agregado 3/4"; 56.12% de agregado 3/8"; 5.61% de agregado fino; 6.47% de ligante bituminoso, constituyendo el 100% de la mezcla total.



Figura N° 6: Briquetas de Mezcla Asfáltica Convencional

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

Con la elaboración de las briquetas figura 11 a diferentes porcentajes de ligante bituminoso, se obtuvieron las curvas de diseño que se pueden visualizar en los

gráficos presentados a continuación, misma que nos ayudaron a determinar el porcentaje óptimo de ligante bituminoso, siendo el valor de 6.47% para estos agregados pétreos. El resultado esta función del análisis del porcentaje de vacíos en el aire, debido a su relación directa entre densidad bulk y densidad rice, que a su vez cumple con los parámetros establecidas por la MOP001F-2020.

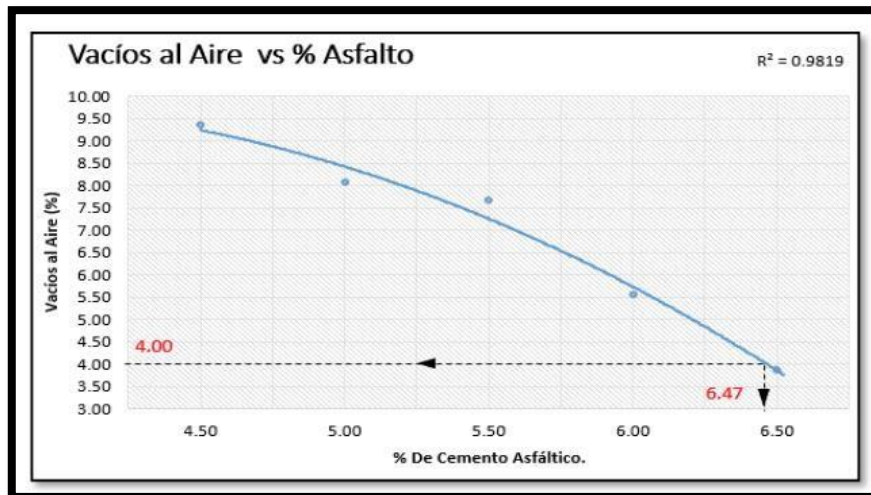


Figura N° 7: Curva de vacíos al aire Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

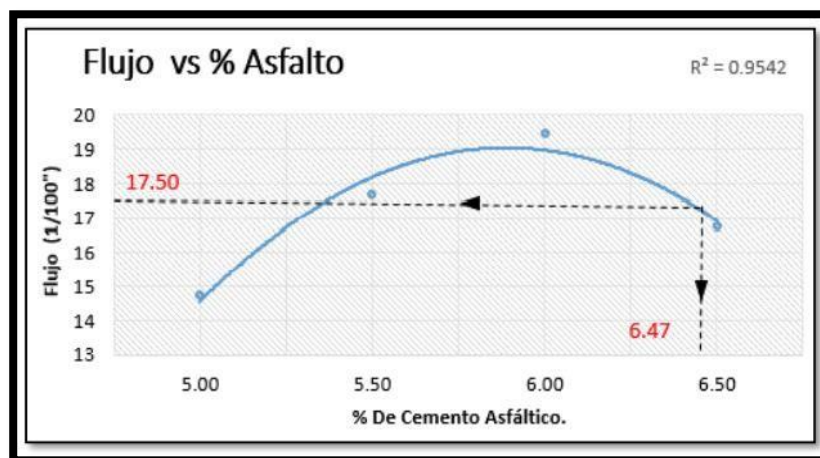


Figura N° 8: Curva Flujo vs % Asfalto Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)

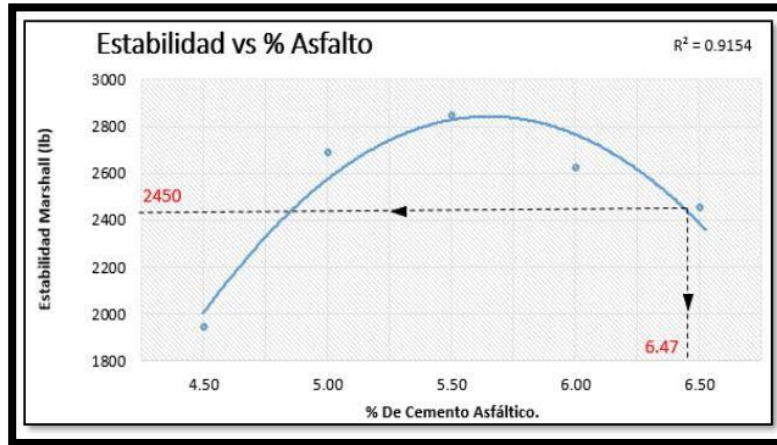


Figura N° 9: Curva Estabilidad vs % Asfalto Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

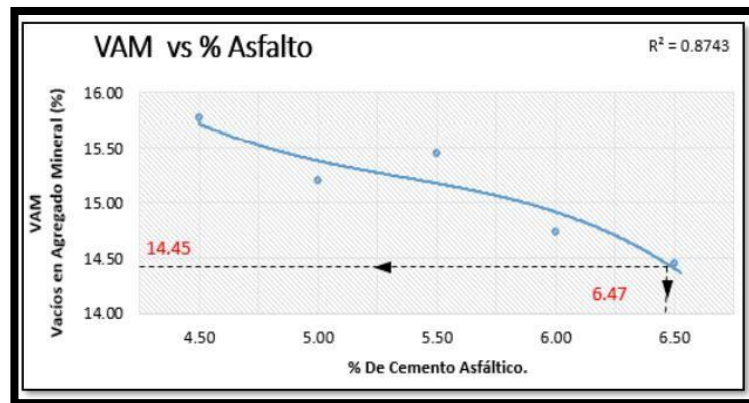


Figura N° 10: Curva VAM vs % Asfalto Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

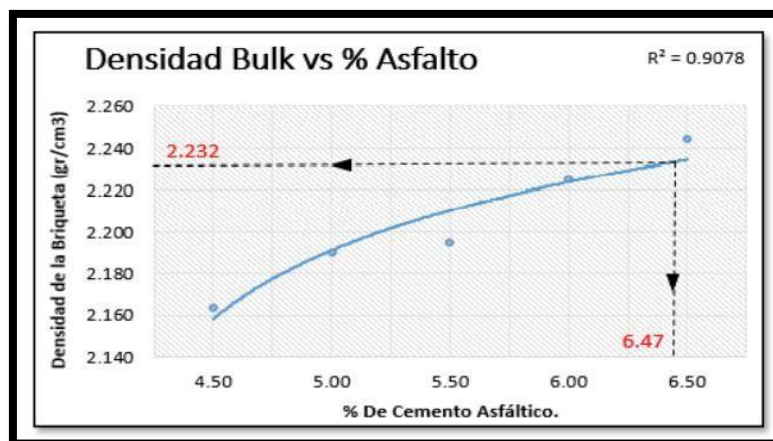


Figura N° 11: Curva densidad Bulk vs % Asfalto Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

Tabla N° 16: Resumen de resultados de la Mezcla Asfáltica Convencional

MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL					
% Asfalto	% Vacíos	Flujo	Estabilidad	VAM	Densidad BULK
4.500	9.348		1945.454	15.773	2.164
5.000	8.066	14.733	2687.284	15.201	2.19
5.500	7.662	17.700	2848.955	15.448	2.195
6.000	5.546	19.467	2624.495	14.736	2.225
6.470	4.000	17.500	2450.000	14.45	2.232
6.500	3.884	16.767	2451.360	14.45	2.245

Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)

A) Diseño de la Mezcla Asfáltica Modificada

Para realiza la mezcla asfáltica modificada con la combinación óptima entre agregados y ligante bituminoso, se incorporará material triturado PET en estado líquido al porcentaje de ligante con una variación del 5% en la cual se conserva la masa del agregado pétreo y se modifica el porcentaje de ligante + PET como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla N° 17: Combinación Asfalto + PET

Dosificación con Plástico Líquido	
Porcentaje Optimo = 6.47	
% Ligante	% PET
95%	5%
90%	10%
85%	15%
80%	20%

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

Con la elaboración de las briquetas a diferentes porcentajes de PET y ligante bituminoso, se obtuvieron las curvas de diseño obteniendo que el porcentaje óptimo de PET es del 9%, mientras que para el ligante bituminoso es del 91%, mismos que se pueden visualizar a continuación en los gráficos.

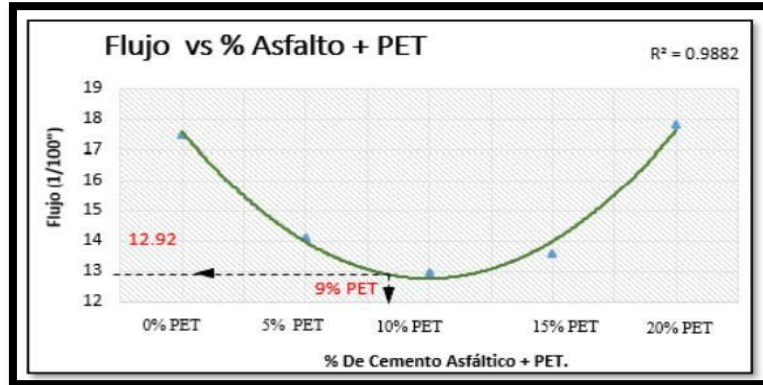


Figura N° 12: Curva Flujo vs Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

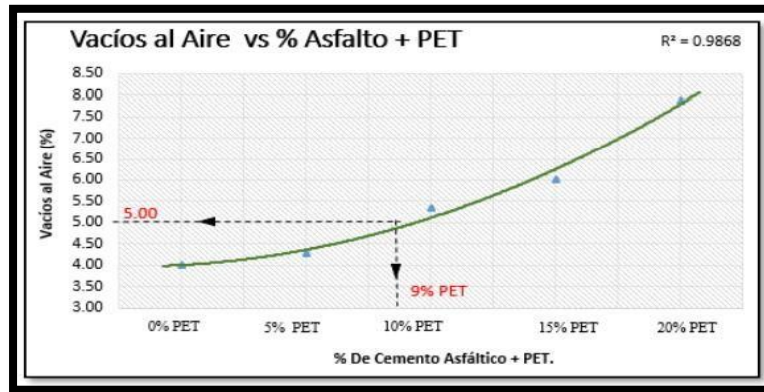


Figura N° 13: Curva Vacíos de Aire vs % Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

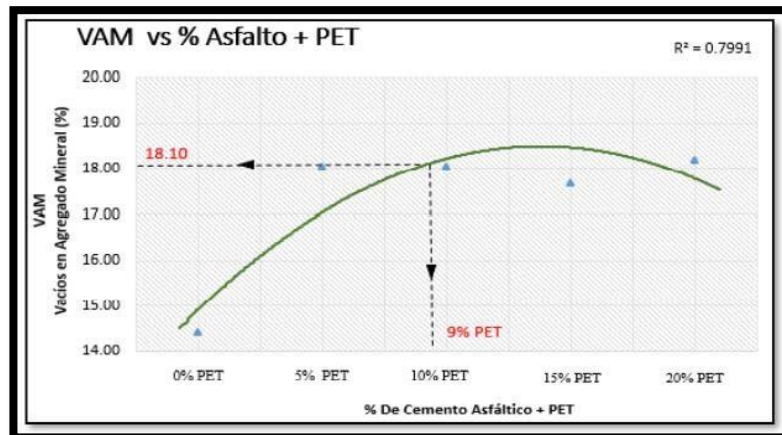


Figura N° 14: Curva Estabilidad vs % Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

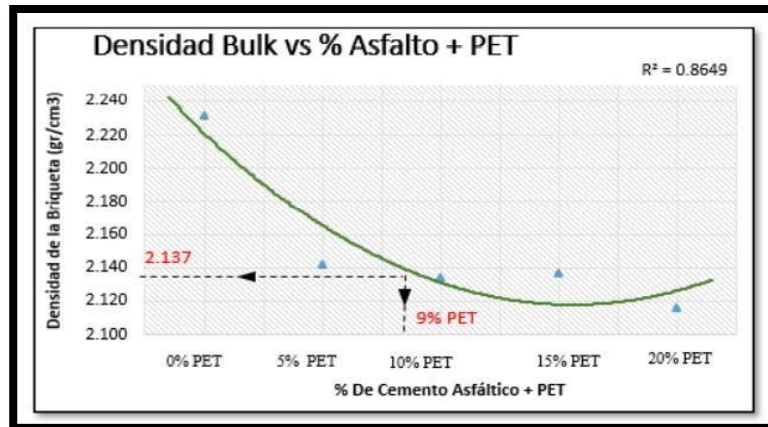


Figura N° 15: Curva VAM vs % Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

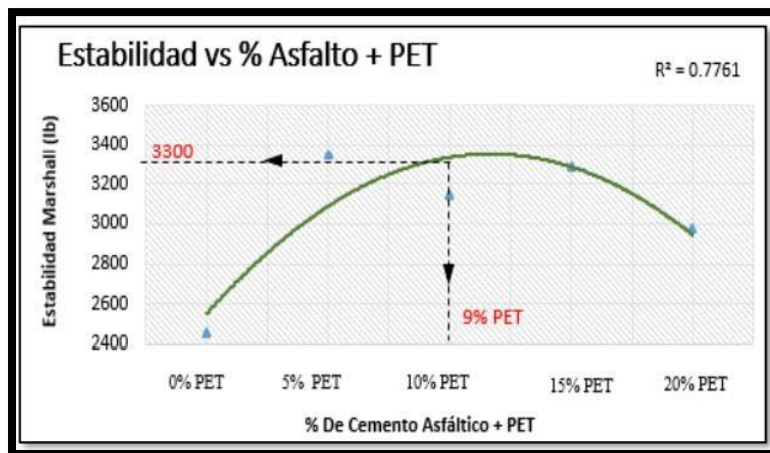


Figura N° 16: Curva Densidad Bulk vs % Asfalto + PET Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

Los resultados obtenidos se aprecian a continuación, mismo que ayudaron analizar y realizar las curvas del método Marshall, tomandocomo prioridad el flujo y el porcentaje de vacíos al aire.

Tabla N° 18: Resumen de resultados de Mezcla Asfáltica Modificada

MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA						
%Asfalto	%PET	Flujo	%Vacíos	Estabilidad	VAM	Densidad BULK
0.000	0	17.500	4.000	2450.000	14.450	2.232
95.000	5	14.100	4.293	3349.870	18.048	2.142
91.00 0	9	12.92 0	5.000	3300.000	18.100	2.137
90.00 0	1 0	12.96 7	5.351	3142.308	18.062	2.134
85.00 0	1 5	13.60 0	6.014	3285.620	17.687	2.137
80.00 0	2 0	17.80 0	7.878	2978.665	18.203	2.116

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

5.4 Costos de Diseño de la Mezclas Asfálticas:

Se analiza los costos de producción entre una mezcla asfáltica convencional y modificada para 1m³, haciendo una relación con el volumen de las briquetas realizadas.

$$V = \pi * r^2$$

* hDonde:

V= Volumen promedio para Briqueta (cm) r= radio de la briqueta h= altura de labriqueta

$$V = 3.1416 * 5.12^2 * 6.86$$

$$V = 565 \text{ cm}^3$$

5.4.1 Materiales Necesarios de la Mezcla Asfáltica Convencional.

Con los porcentajes obtenidos de dosificación de agregados para la mezcla asfáltica convencional, se determinó la masa total de la briqueta asfáltica.

Tabla N° 19: Masas de Agregados Pétreos

Agregado	Porcentaje	Masa (g)
Grueso 3/4"	34	408
Intermedio 3/8"	60	720
Fino	6	72

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

Tabla N° 20: Masa total de la Briqueta Asfáltica

Materiales	Masa(g)
Agregado	1200
Ligante (6.47 %)	83.01
MASA TOTAL	1283.0108

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).

5.4.2 Materiales para 1 m³ de Mezcla asfáltica Convencional

Se determinó la masa total de agregados y ligante bituminoso, para 1m³ de mezclaasfáltica convencional con relación al volumen de la briqueta.

Tabla N° 21: Materiales para 1m³ de Mezcla Asfáltica Convencional

Materiales	Masa (kg)
Agregado	2123.89
Ligante (6.47%)	146.92
MASA TOTAL	2270.82

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021).

5.4.3 Análisis económico de la Mezcla Asfáltica Convencional

Se analizó los precios del material pétreo del cantón Guamote en referencia al mercado. Con este análisis se obtuvo \$ 67.84 para 1 m³ de mezcla asfáltica convencional como lo detalla la tabla 44.

El análisis económico se expresa en Dólares Estadounidense

Tabla N° 22: Precio por 1m³ de Mezcla Asfáltica Convencional

Evaluación de Costos			
Materiales	Cantidad (Kg)	P.U (\$/kg)	Valor (\$)
Agregado Grueso 3/4"	722.12	0.00458	3.306
Agregado Intermedio 3/8"	1274.34	0.00561	7.155
Agregado Fino	127.43	0.00303	0.386
Ligante Bituminoso	146.92	0.39	56.994
		TOTAL	\$ 67.842

Fuente: Pilatuña & Rodríguez (2021)

5.4.4 Materiales Necesarios de la Mezcla Asfáltica Modificada

Con los porcentajes obtenidos de dosificación de agregados y plástico PET para la mezcla asfáltica modificada, se determinó la masa total de la briqueta.

Tabla N° 23: Masa total de la Briqueta Asfáltica Modificada

Materiales	Masa(g)
Agregado	1200
Ligante (5.888%)	75.54
PET (0.582%)	7.47
PESO TOTAL	1283.01

Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)

5.4.5 Materiales para 1 m³ de Mezcla Asfáltica Modificada

Se determinó la masa total de agregados, plástico PET y ligante bituminoso, para 1m³ de mezcla asfáltica modificada con relación al volumen de la briqueta.

Tabla N° 24: Materiales para 1m³ de Mezcla Asfáltica Modificada

Materiales	Masa(g)
Agregado	2123.89
Ligante (5.888%)	133.71
PET (0.582%)	13.22
PESO TOTAL	2270.82

Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)

5.4.6 Análisis Económico de la Mezcla Asfáltica Modificada

Tabla N° 25: Precio de 1m³ de Mezcla Asfáltica Modificada

Evaluación de Costos			
Materiales	Cantidad (Kg)	P.U (\$/kg)	Valor (\$)
Agregado Grueso 3/4"	722.12	0.00458	3.306
Agregado Intermedio 3/8"	1274.34	0.00561	7.155
Agregado Fino	127.43	0.00303	0.386
Ligante Bituminoso	133.71	0.39	51.867
PET (Triturado)	13.22	0.75	9.912
TOTAL			\$ 72.627

Elaborado por: Pilatuña & Rodríguez (2021)

El precio para una mezcla asfáltica modificada es de \$ 72.63 para 1 m³ de ligante con polímero PET triturado e incorporado vía húmeda.

5.4.7 Análisis Económico de la Mezcla Asfáltica Convencional

Se analizó los precios del material pétreo del cantón Guamate en referencia al mercado. Con este análisis se obtuvo \$ 67.84 para 1 m³ de mezcla asfáltica convencional como lo detalla la tabla 44.

De la tesis: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall, tenemos lo siguiente:

Probeta del 4%		Peso total de pastilla 1 050 gramos	Va % 10,598
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,557		
Promedio Gmb	2,286		
Probeta de 4,5 %		Peso total de pastilla 1 050 gramos	Va % 7,924
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,486		
Promedio Gmb	2,289		
Probeta del 5%		Peso total de pastilla 1 050 gramos	Va % 6,550
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,458		
Promedio Gmb	2,297		
Probeta de 5,5%		Peso total de pastilla 1 050 gramos	Va % 5,141
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,412		
Promedio Gmb	2,288		
Probeta del 6%		Peso total de pastilla 1 050 gramos	Va % 3,161
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,373		
Promedio Gmb	2,298		

Figura N° 17: Resultados de porcentaje de vacíos del diseño propuesto normal

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

De la Figura N° 17 se observa el porcentaje de vacíos para las diferentes probetas de 4%, 4.5%, 5% y 6%. Cada uno de ellos con su respectivo peso y porcentaje de vacíos.

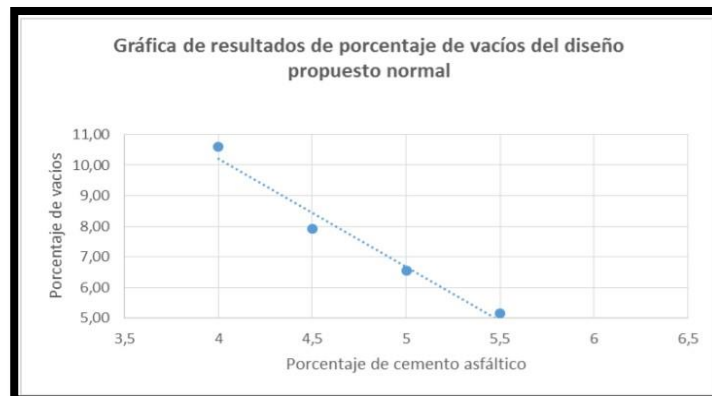


Figura N° 18: Gráfica de resultados de porcentaje de vacíos – densidad del diseño propuesto normal

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Probeta del 4%		Peso total de pastilla	Va %
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,383		
Promedio Gmb	2,087	1 050 gramos	12,421
Probeta de 4,5 %		Peso total de pastilla	Va %
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,395		
Promedio Gmb	2,079	1 050 gramos	13,194
Probeta del 5%		Peso total de pastilla	Va %
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,353		
Promedio Gmb	2,104	1 050 gramos	10,582
Probeta del 5,5%		Peso total de pastilla	Va %
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,344		
Promedio Gmb	2,11	1 050 gramos	9,983
Probeta del 6%		Peso total de pastilla	Va %
Pastilla No. 3			
Promedio Gmm	2,318		
Promedio Gmb	2,121	1 050 gramos	8,499

Figura N° 19: Resultados de porcentaje de vacíos del diseño con tereftalato depolietileno

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

De la Figura N° 19 observamos los porcentajes de vacios del diseño con tereftalato depolietileno para las diferentes probetas de 4%, 4.5%, 5% y 6%. Cada uno de ellos consu respectivo peso y porcentaje de vacíos.

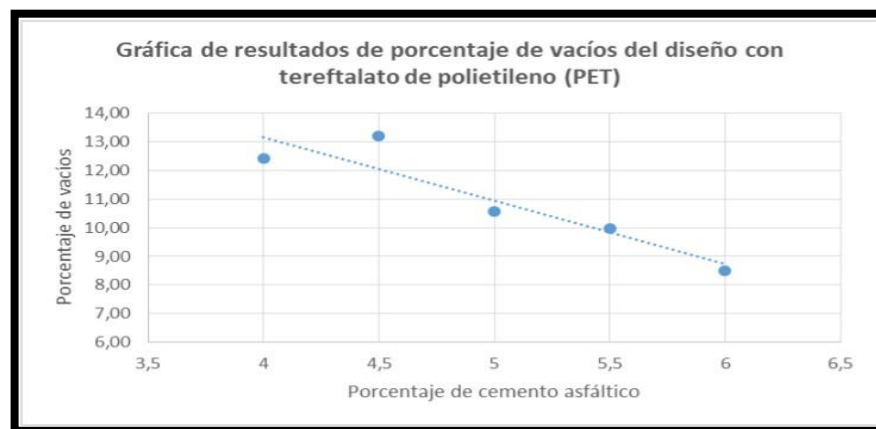


Figura N° 20: Gráfica de resultados de porcentaje de vacíos – densidad del diseño con tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Resultados de estabilidad-flujo de Marshall para diseño propuesto normal						
1ra. Pastilla 4 %		2da. Pastilla 4 %		3ra. Pastilla 4 %		Prom. 4 %
Lectura dada	208,00	Lectura dada	195,00	Lectura dada	189,50	2 231,25 libras
Carga en lb	1 975,00	Carga en lb	1 850,00	Carga en lb	1 800,00	
Deformación	6,00	Deformación	5,00	Deformación	5,00	
Corrección	2 350,25	Corrección	2 201,50	Corrección	2 142,00	
1ra. Pastilla 4,5 %		2da. Pastilla 4,5 %		3ra. Pastilla 4,5 %		Prom. 4,5 %
Lectura dada	231,00	Lectura dada	287,00	Lectura dada	198,00	2 748,33 libras
Carga en lb	2 191,46	Carga en lb	2 719,90	Carga en lb	1 880,06	
Deformación	5,00	Deformación	5,00	Deformación	5,00	
Corrección	2 607,84	Corrección	3 399,88	Corrección	2 237,27	
1ra. Pastilla 5 %		2da. Pastilla 5 %		3ra. Pastilla 5 %		Prom. 5 %
Lectura dada	242,00	Lectura dada	197,00	Lectura dada	249,00	2 682,01 libras
Carga en lb	2 295,26	Carga en lb	1 869,93	Carga en lb	2 361,38	
Deformación	6,00	Deformación	8,00	Deformación	6,00	
Corrección	2 869,08	Corrección	2 225,22	Corrección	2 951,73	
1ra. Pastilla 5,5 %		2da. Pastilla 5,5 %		3ra. Pastilla 5,5 %		Prom. 5,5 %
Lectura dada	189,00	Lectura dada	190,00	Lectura dada	190,00	2 142,75 libras
Carga en lb	1 794,30	Carga en lb	1 803,79	Carga en lb	1 803,79	
Deformación	10,00	Deformación	8,00	Deformación	9,00	
Corrección	2 135,22	Corrección	2 146,51	Corrección	2 146,51	
1ra. Pastilla 6 %		2da. Pastilla 6 %		3ra. Pastilla 6 %		Prom. 6 %
Lectura dada	189,00	Lectura dada	186,00	Lectura dada	181,00	1 918,19 libras
Carga en lb	1 794,30	Carga en lb	1 766,14	Carga en lb	1 718,99	
Deformación	12,00	Deformación	8,00	Deformación	8,00	
Corrección	1 955,79	Corrección	1 925,09	Corrección	1 873,70	

Figura N° 21: Resultados de la prueba estabilidad – flujo de Marshall del diseño propuesto normal

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

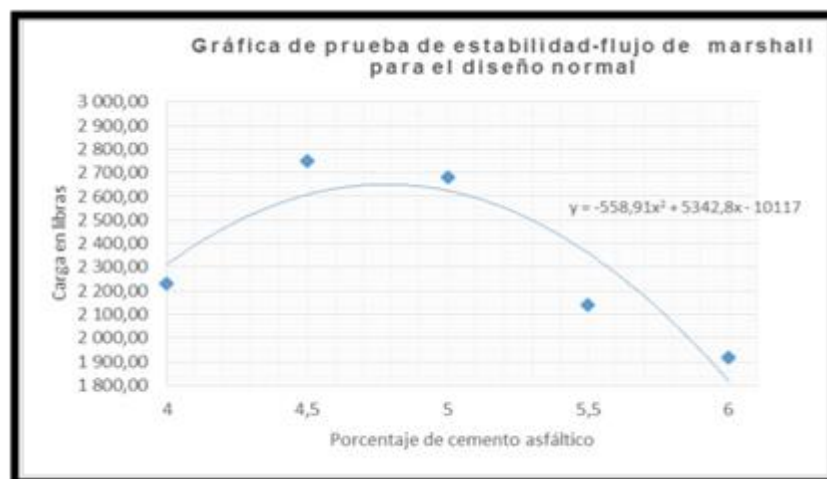


Figura N° 22: Gráfica de resultados de prueba de estabilidad – flujo de Marshall para el diseño propuesto normal

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

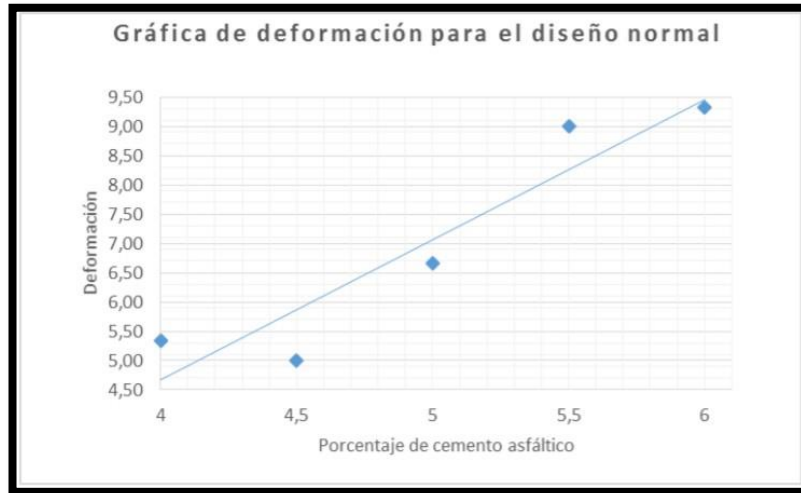


Figura N° 23: Gráfica de resultados de deformación Marshall para el diseño propuestonormal

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Figura N° 24: Resultados de prueba de estabilidad – flujo de Marshall

Resultados de estabilidad-flujo de Marshall para diseño con tereftalato de polietileno (PET)							
1ra. PASTILLA 4 %		2da. PASTILLA 4 %		3ra. PASTILLA 4 %		Prom. 4 %	
Lectura dada	129,00	Lectura dada	152,60	Lectura dada	139,37	1 353,08 libras	
Carga en lb	1 226,23	Carga en lb	1 450,00	Carga en lb	1 325,00		
Deformación	14,00	Deformación	14,00	Deformación	15,00		
Corrección	1 226,23	Corrección	1 508,00	Corrección	1 325,00		
1ra. PASTILLA 4,5 %		2da. PASTILLA 4,5 %		3ra. PASTILLA 4,5 %		Prom. 4,5 %	
Lectura dada	180,00	Lectura dada	141,00	Lectura dada	168,00	1 590,66 libras	
Carga en lb	1 709,49	Carga en lb	1 340,49	Carga en lb	1 600,00		
Deformación	15,00	Deformación	15,00	Deformación	17,00		
Corrección	1 394,11	Corrección	1 394,11	Corrección	1 600,00		
1ra. PASTILLA 5 %		2da. PASTILLA 5 %		3ra. PASTILLA 5 %		Prom. 5 %	
Lectura dada	232,00	Lectura dada	135,00	Lectura dada	140,00	1 690,99 libras	
Carga en lb	2 200,00	Carga en lb	1 282,89	Carga en lb	1 330,98		
Deformación	18,00	Deformación	15,00	Deformación	14,00		
Corrección	2 288,00	Corrección	1 334,21	Corrección	1 450,77		
1ra. PASTILLA 5,5 %		2da. PASTILLA 5,5 %		3ra. PASTILLA 5,5 %		Prom. 5,5 %	
Lectura dada	225,00	Lectura dada	175,00	Lectura dada	168,00	1 905,28 libras	
Carga en lb	2 134,82	Carga en lb	1 662,35	Carga en lb	1 596,20		
Deformación	15,00	Deformación	15,00	Deformación	17,00		
Corrección	2 326,95	Corrección	1 728,84	Corrección	1 660,05		
1ra. PASTILLA 6 %		2da. PASTILLA 6 %		3ra. PASTILLA 6 %		Prom. 6 %	
Lectura dada	172,00	Lectura dada	188,00	Lectura dada	191,00	1 598,67 libras	
Carga en lb	1 525,00	Carga en lb	1 450,00	Carga en lb	1 425,00		
Deformación	18,00	Deformación	19,00	Deformación	15,00		
Corrección	1 662,25	Corrección	1 580,50	Corrección	1 553,25		

para el diseño con tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

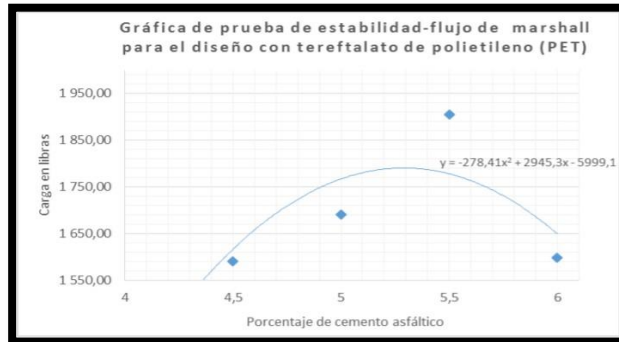


Figura N° 25: Gráfica de resultados de prueba estabilidad – flujo de Marshall para el diseño con tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

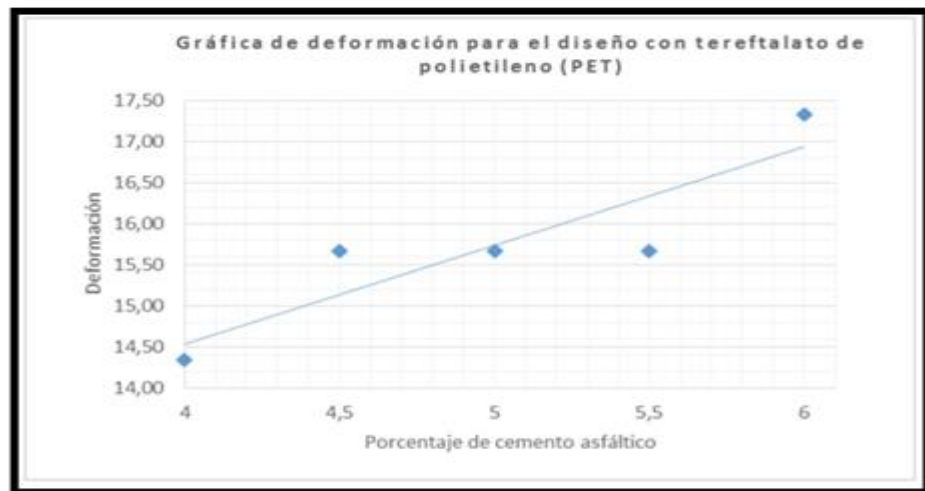


Figura N° 26: Gráfica de resultados de deformación Marshall para diseño con tereftalato de polietileno (PET)

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Comparación de densidad específica bulk para los dos diseños propuestos				
Porcentaje de bitumen (cemento asfáltico)	Diseño propuesto normal	Diseño con tereftalato de polietileno (PET)	Variación	
			Absoluta	Relativa
4	2,286	2,087	0,20	8,72
4,5	2,289	2,079	0,21	9,19
5	2,297	2,104	0,19	8,40
5,5	2,288	2,110	0,18	7,78
6	2,298	2,121	0,18	7,70

Figura N° 27: Comparación de densidad específica bruta (Bulk)

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

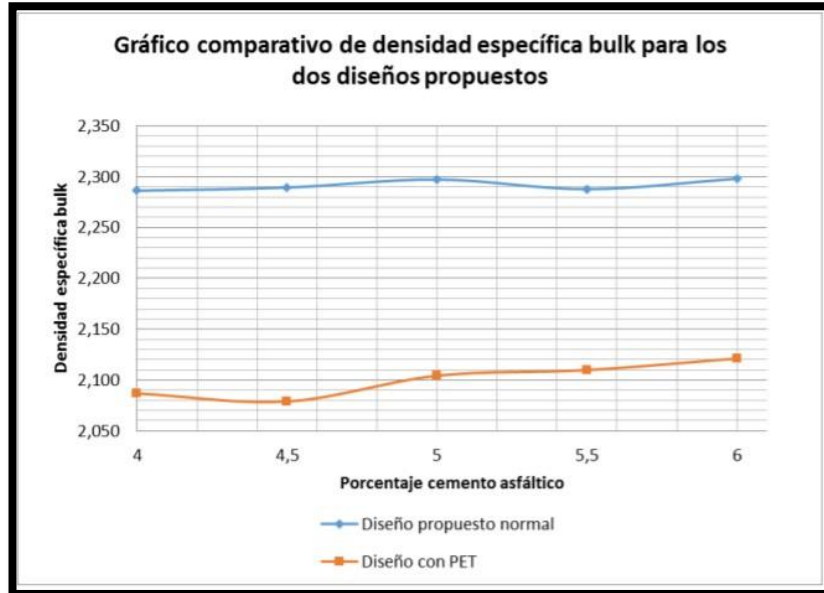


Figura N° 28: Gráfica comparativo de densidad específica bruta (Bulk)

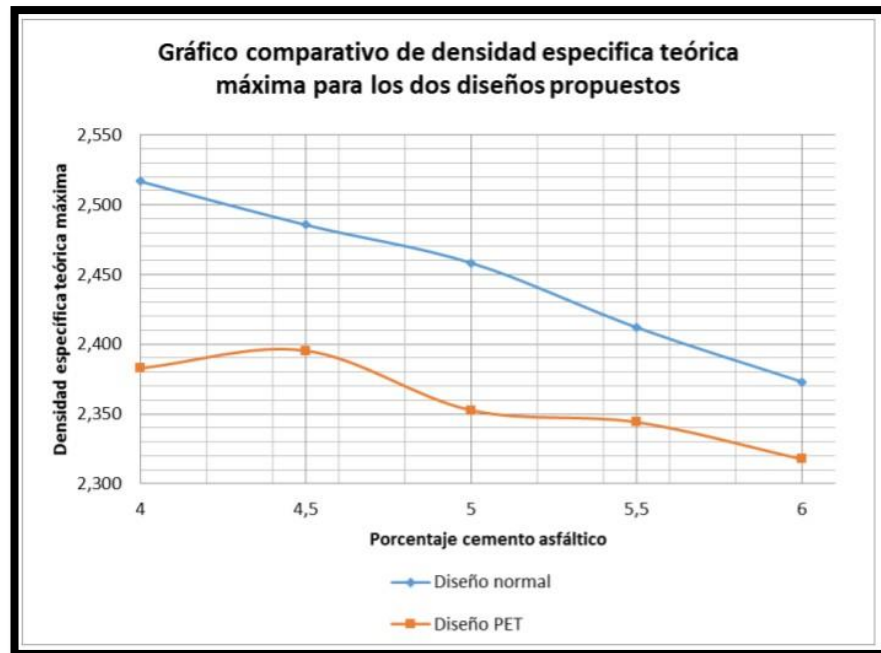
Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Porcentaje de bitumen (cemento asfáltico)	Diseño propuesto normal	Diseño con tereftalato de polietileno (PET)	Variación	
			Absoluta	Relativa
4	2,517	2,383	0,13	5,32
4,5	2,486	2,395	0,09	3,63
5	2,458	2,353	0,11	4,30
5,5	2,412	2,344	0,07	2,82
6	2,373	2,318	0,06	2,33

Figura N° 29: Cuadro comparativo de densidad específica teórica máxima

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Figura N° 30: Gráfica comparativo de densidad teórica máxima



Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Comparación porcentaje de vacíos-densidad de los dos diseños propuestos				
Porcentaje de bitumen (cemento asfáltico)	Diseño propuesto normal	Diseño con tereftalato de polietileno (PET)	Variación	
			Absoluta	Relativa
4	10,598	12,421	1,82	14,68
4,5	7,924	13,194	5,27	39,94
5	6,550	10,582	4,03	38,10
5,5	5,141	9,983	4,84	48,50
6	3,161	8,499	5,34	62,81

Figura N° 31: Cuadro comparativo de porcentaje de vacíos – densidad

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

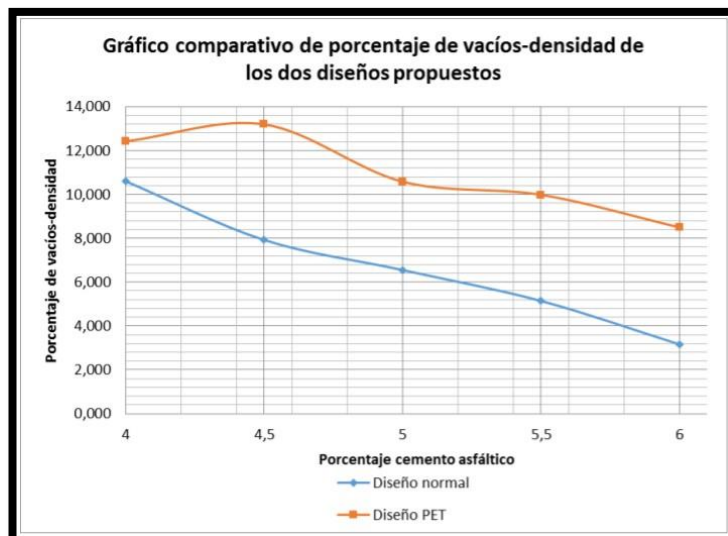


Figura N° 32: Gráfico comparativo de porcentaje de vacíos – densidad
Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Comparación deformación de Marshall de los dos diseños propuestos				
Porcentaje de bitumen (cemento asfáltico)	Diseño propuesto normal	Diseño con tereftalato de polietileno (PET)	Variación	
			Absoluta	Relativa
4	5,33	14,33	9,00	62,79
4,5	5,00	15,67	10,67	68,09
5	6,67	15,67	9,00	57,45
5,5	9,00	15,67	6,67	42,55
6	9,33	17,33	8,00	46,15

Figura N° 33: Cuadro comparativo de deformaciones Marshall
Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

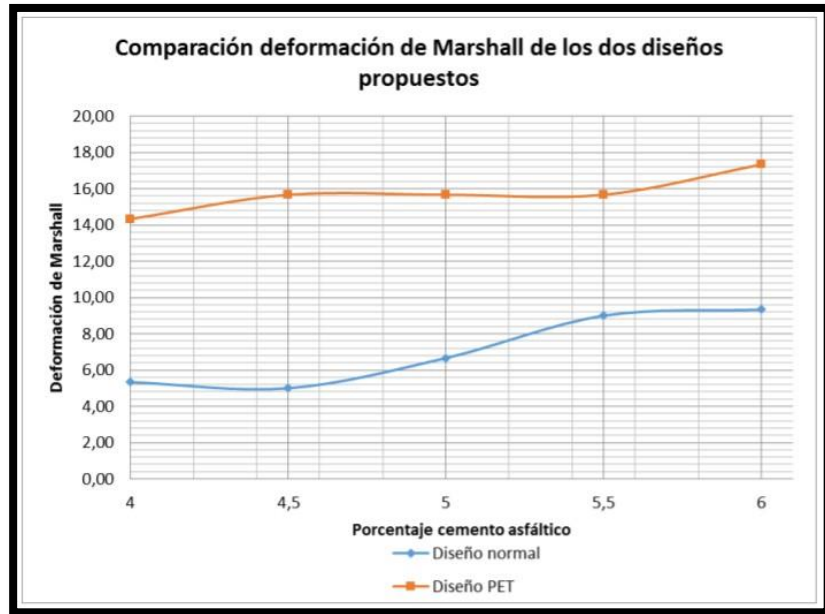


Figura N° 34: Gráfico comparativo de deformación Marshall
Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

Porcentaje de bitumen (cemento asfáltico)	Diseño propuesto normal	Diseño con tereftalato de polietileno (PET)	Variación	
			Absoluta	Relativa
4	2 231,25	1 353,08	878,17	39,36
4,5	2 748,33	1 590,66	1 157,67	42,12
5	2 682,01	1 690,99	991,02	36,95
5,5	2 142,75	1 905,28	237,47	11,08
6	1 918,19	1 598,67	319,52	16,66

Figura N° 35: Cuadro comparativo de estabilidad – flujo Marshall
Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

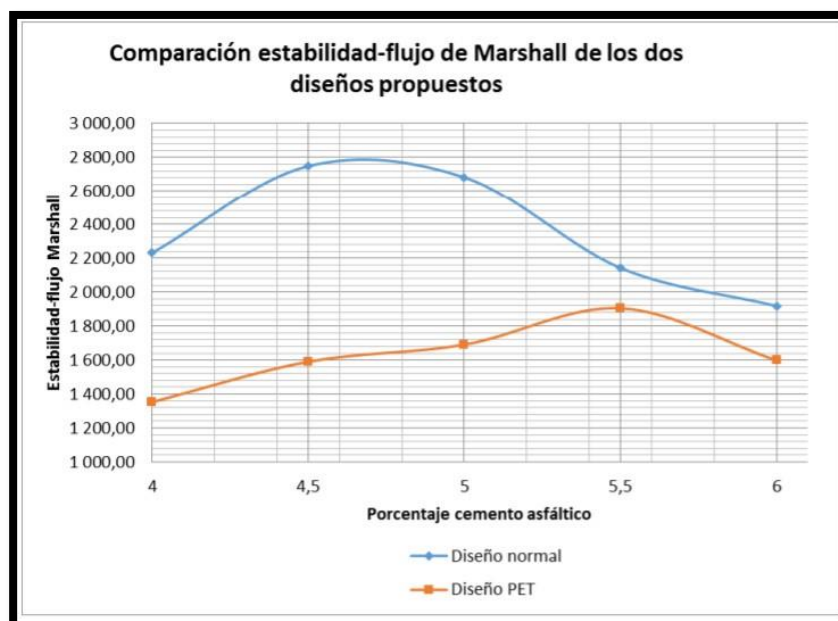


Figura N° 36: Gráfico comparativo de estabilidad – flujo de Marshall

Fuente: Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método Marshall

5.5 Contrastación de Hipótesis

5.5.1 Hipótesis Específica 1:

Hipótesis Alterna (Hi 1): Al determinar el porcentaje óptimo de plástico reciclado usado, se mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Hipótesis Nula (H01): Al determinar el porcentaje óptimo de plástico reciclado usado no se mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente.

Analizado las mezclas asfálticas que se presenta en el Cap. V de las tesis de Ecuadory Guatemala, se obtuvo mediante ensayos Marshall, se vió que la incorporación de plástico triturado PET por vía húmeda es compatible con las cantidades óptimas de ligante bituminoso y agregados pétreos, puesto que el plástico en estado líquido recubre el agregado y forma una película delgada alrededor de ella, como el másticoasfáltico. Por ende mejora los valores de estabilidad, siendo capaz de soportar mayores cargas y reduciendo los valores de deformación.

Por consiguiente. Hi 1 es válida.

5.5.2 Hipótesis Específica 2:

Hipótesis Alterna (Hi 2): Al determinar la cantidad de plástico reciclado se aumentala resistencia al flujo de la mezcla asfáltica en caliente.

Hipótesis Nula (H02): Al determinar la cantidad de plástico reciclado no se aumentala resistencia al flujo de la mezcla asfáltica en caliente.

Analizado las mezclas asfálticas que se presenta en el Cap. V de las tesis de Ecuadory Guatemala, se obtuvo mediante ensayos Marshall, se vió que la incorporación de plástico triturado PET por vía húmeda reduce los valores de deformación (Flujo), adiferencia de la mezcla asfáltica convencional, lo que nos indica que el asfalto modificado con plástico triturado PET tiene un desempeño óptimo.

Por consiguiente. Hi 2 es válida.

5.5.3 Hipótesis Específica 3:

Hipótesis Alterna (Hi 3): Al determinar la cantidad de plástico reciclado se optimizala densidad aparente y el porcentaje de vacíos en los agregados de la mezcla asfálticaen caliente.

Hipótesis Nula (H03): Al determinar la cantidad de plástico reciclado no se optimizala densidad aparente y el porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica en caliente.

De las mezclas asfálticas analizadas que se presentan en el Cap. V al determinar la cantidad de plástico reciclado se optimiza la densidad aparente y el porcentaje de vacíos en los agregados. Un aspecto relevante se debe al porcentaje de 5% escogidode la curva de vacíos al aire, que permite que el asfalto llene los vacíos sin generar exudación y agrietamiento.

Por consiguiente. Hi 3 es válida.

5.5.4 Hipótesis Específica 4:

Hipótesis Alterna (Hi 4): La mezcla asfáltica en caliente con plástico reciclado es más costosa que la mezcla convencional.

Hipótesis Nula (H04): La mezcla asfáltica en caliente con plástico reciclado no es más costosa que la mezcla convencional.

Del análisis económico presentado en el Cap. V se evaluó los costos de producción entre una mezcla convencional y una modificada con plástico triturado PET por m³. Debido al proceso de producción, pero que a largo plazo aminora los costos en mantenimientos.

Por consiguiente. Hi 4 es válida.

CONCLUSIONES

1. De las tesis de Ecuador y Guatemala se determinó las propiedades de cada mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado PET como mejorador de las propiedades mecánicas a un material pétreo ligante bituminoso, tales como la estabilidad con 3300 lb versus 2450 lb que arrojó la mezcla asfáltica convencional.
2. Se determinó el porcentaje de plástico reciclado que mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en ambas tesis, resultando que la mezcla asfáltica coplástico triturado PET con 0.582% PET y 5.888% de asfalto es el porcentaje óptimo mediante los ensayos Marshall, siendo la relación 9% PET y 91% asfalto, teniendo así una nueva combinación y manteniendo el porcentaje de la mezcla total.
3. Se determinó de ambas tesis el porcentaje de plástico reciclado que reduce el flujo de la mezcla asfáltica, siendo la disminución de 17.50 a 12.92 pulg/100 con incorporación de plástico PET. Un aspecto relevante para la obtención de estos resultados se debe al porcentaje de 5% escogido de la curva de vacíos al aire permitiendo que el asfalto sea capaz de llenar los vacíos sin generar exudación y agrietamiento.
4. Se constató el porcentaje de plástico reciclado pet que optimiza la densidad bulk (aparente) y porcentaje de vacíos en el agregado mineral en ambas tesis, siendo el valor óptimo el siguiente: 9% en la combinación asfalto + PET lo que representa un 0.582% del total, este porcentaje nos arroja valores de 2.137 g/cm³ en la densidad y 18.10% de vacíos en el agregado mineral.
5. Se constató la diferencia económica en porcentaje entre una mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado PET y una mezcla convencional del análisis económico tomados de referencia las dos tesis mencionadas anteriormente. Que la mezcla convencional y una mezcla modificada por metro cúbico valen \$67.84 dólares versus \$72.63 dólares respectivamente, siendo esta última la más costosa, debido a su proceso de producción, pero a largo plazo resulta ser económica, porque se reduce los costos de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda diseñar y construir un equipo mecánico que sea capaz de transformar el plástico triturado PET en estado sólido a líquido, utilizando temperaturas de fusión, esto facilitaría el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica en caliente.
2. Se recomienda incentivar campañas de reciclaje en el cual se permita dividir el plástico PET según su densidad, esto facilitaría su aprovechamiento como mejorador de propiedades mecánicas en mezclas asfálticas, además de reducir su costo.
3. Se recomienda construir un tramo de prueba en una obra vial y analizar su comportamiento in situ, esto ayudaría a confirmar los resultados obtenidos en laboratorio.
4. Se recomienda incentivar nuevas investigaciones experimentales con distintos materiales plásticos obtenidos del reciclaje, ya que esto ayuda a reducir la contaminación ambiental y mejorar las propiedades mecánicas del asfalto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arriagada Gonzales P. & Allende Ponce S. (2013). *Polietileno de alta y baja densidad*. Facultad de Ciencias y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Química y Biotecnología, Universidad de Chile. Diciembre de 2013. Recuperado de <https://www.u-cursos.cl/usuario/...-blog/r/polietileno.pdf>
- Arteaga-Villamarín, J. F. (2018). *Análisis del comportamiento de la base – Cemento para pavimentos con adición de residuos PET reciclado*. (Trabajo de Grado). Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia.
- Bohórquez-Soler, E. A. & Quintero-Serrato, G. (2020). *Aporte estructural de mezcla asfáltica en caliente con inclusión de plástico PET por vía seca a estructuras de pavimento flexible para vías de bajo tráfico según especificaciones INVIAS*. (Trabajo de Grado.) Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Civil. Bogotá, Colombia
- Caicedo Campoverde, K. D. (2019-09). *5. Análisis comparativo del control de calidad en mezclas asfálticas en caliente de un diseño convencional y de un diseño adicionando tereftalato de polietileno* Tesis. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/50905>
- Camargo Chávez, H; Suarez Mesa, A (2010) Diagnostico de las nuevas tecnologías empleadas para el diseño de mezclas asfálticas densas en caliente MDC-2. Bogotá D.C. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10654/3654>
- Cauhape Casaux, M.; Borghi, M.; Angelone, S., & Martínez, F. (2013). Reutilización de Desechos y Residuos Plásticos Urbanos en la Construcción de Carreteras. Trabajo presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Laboratorio Vial IMAE. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario- 04 de abril.
- Castro Dantas T, Dantas Neto A, Paiva de Alencar M, Morais de Lima C, Bastos Félix G, (2007). Utilización de Residuo Industrial Polimérico en obtención de Asfalto Modificado. Universidad Federal de Rio de Grande de Norte, Brasil.
- Candia Gallegos Mario A. & Flintsch G Gerardo (2010). Calidad del Concreto Asfáltico: Nuevos Avances y Desafíos. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, 24060, USA. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/244381594/CALIDAD-DEL-CONCRETO->

ASFALTICO-NUEVOS-AVANCES-Y-DESAFIOS-CANDIA-
FLINTSCH-pdf

- Cincire Romero V (2013), Beneficios de los Cementos Asfálticos PG con Polímero. Gerente de Proyectos en Sem Materials México. Recuperado de [http://www.portal-comercial-smm.com/pdf/BENEFICIOS %20cementos %20asfalticos.pdf](http://www.portal-comercial-smm.com/pdf/BENEFICIOS%20cementos%20asfalticos.pdf)
- Corbacho (2019).” *Análisis de la estabilidad Marshall y la deformación permanente mediante el ensayo de rueda cargada de Hamburgo de una mezcla asfáltica modificada en caliente con fibras de Tereftalato de Polietileno reciclado en la ciudad del Cusco – 2018* “(tesis de pregrado) Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
- Daguerre Lisandro, (2014), Métodos de ensayo para predecir el ahuellamiento a escalade laboratorio, presentado en Pre – XVII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 8° Expovial Argentina, 3 al 6 de noviembre 2014, Buenos Aires, Argentina. Recuperado - [Metodos-ensayos-ahuellamiento.pdf](#)
- Del Val Melus Miguel A. (1985). Estudio de laboratorio para la caracterización como material de firmes de carreteras de los plásticos procedentes del tratamiento de residuos sólidos urbanos. Tesis doctoral. Madrid, España. Recuperado de http://oa.upm.es/522/1/MIGUEL_ANGEL_DEL_VAL-MELUZ.pdf.
- Escalante Zegarra J, (2011), Evaluación del comportamiento de ligantes asfálticos y mezclas asfálticas convencional y modificado con polímeros SBS tomando en consideración las especificaciones Superpave, presentado en el Congreso Ibero-Latinoamericano del asfalto, 20 – 25 noviembre 2011, Rio de Janeiro, Brasil.
- Elías (2017). “*Análisis de la incorporación del PET y PEAD en la flexibilidad y resistencia a la deformación en un pavimento ecológico*” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo.
- Espitia & Ramos (2017). “*Variación de la capacidad de soporte en una base granular por inclusión de Tereftalato de Polietileno (PET) como material de agregado (rango 0%,50% y 100% - tamices N° 4, 3/8”,1/2”,3/4” y 1”*) (tesis pregrado) Universidad Piloto de Colombia
- Espinoza (2019). “*Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de*

Huánuco – 2018 “(tesis de pregrado) Universidad Nacional “Hermilio Valdizan “de Huánuco.

Fidel Muñoz, P, (2009), Procesamiento y propiedades de algunas poliolefinas, Departamento de Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Recuperado de

<http://www.ehu.es/reviberpol/pdf/publicados/fidel.pdf>

Figueroa Infante, A.; Fonseca Santanilla, E.; & Reyes Lizcano, F. (2009). Caracterización Físicoquímica de Asfalto Modificados con Material Reciclado. Ingeniería y Universidad, Vol. 13, núm. 1, Enero – Junio, pp. 45-

70. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/inun/v13n1/v13n1a03.pdf>

Flores (2020).” *Influencia de los residuos plásticos reciclados al añadirlos a una mezcla asfáltica modificada en caliente, Trujillo*” (tesis pregrado) Universidad Cesar Vallejo.

Gamboa Ojeda, J. (2011) Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificados vs mezcla tradicional. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de <http://apuntesdeinvestigacion.upbbga.edu.co>.

Gómez Espinosa, Linda (2019). *Verificación del diseño preliminar de una mezcla asfáltica modificada mediante la adición de 1% de fibra de Pet, cumpliendo con la normatividad del invias y la asociación española de normalización (une)*(Tesis de pregrado) Recuperado de: <http://repository.ucc.edu.co/handle/ucc/12256>

Gutiérrez Bolívar, O.; & Jiménez, R. (2014). Experiencia en mezclas asfálticas con residuos plásticos. Maudes febrero. Recuperado de <https://www.giteco.unican.es/proyectos/POLYMIX/Documentation/2014-02-12-Ponencia02.pdf>

Huamán Guerrero, N. (2011), *La Deformación Permanente en las Mezclas Asfálticas y el Consecuente Deterioro de los Pavimentos en el Perú* (Tesis inédita de maestría), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Recuperado http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/819/1/huaman_gn.pdf

- Huertas & Cazar (2014) “*Diseño de un pavimento flexible adicionando Tereftalato de Polietileno como material constitutivo junto con ligante asfáltico AC-20*” (tesis pregrado) Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador
- Instituto del Asfalto, (1982), *Manual de Principios de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente*, MS – 22, Lexington, Estados Unidos; Asphalt Institute.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, Anuario de Estadísticas Ambientales, Capítulo 5: Residuos Sólidos (2015), Lima – Perú. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/.../libro.pdf.
- López & Nonato (2020). “Propiedades mecánicas del asfalto en caliente adicionándoles Polietileno de Tereftalato (PET) en porcentajes de 0.75%, 1% y 1.25%, Nuevo Chimbote, Ancash-2020” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo.
- Loria Salazar L, Aguilar Moya J, Corrales Azofeifa J, Fernández Gómez W, Reyes Lizcano F, (2014). Métodos Avanzados de Análisis de Ciencia de los Materiales y Nanomateriales Utilizados en la Modificación de Asfaltos. Recuperado de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/bitstream/handle/50625112500/725/M%C3%A9todos%20avanzados%20de%20an%C3%A1lisis%20en%20la%20modificaci%C3%B3n%20de%20asfaltos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Luque Ariza H. y Rincón Solano A, (2011), *Evaluación de las Propiedades Físicas de un Cemento Asfáltico 60/70 Modificado con Residuos de la Fabricación de Productos con Polietileno de Baja Densidad* (tesis inédita de grado profesional), Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Maila Paucar Manuel Elías & Ávila Aníbal (2013). *Comportamiento de una Mezcla Modificada con Polímero Etileno Vinil Acetato (EVA)*. (Trabajo de graduación), Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/742>
- Mejía Loera, D. (2015). *Influencia del polvo de neumático en la tensión indirecta y energía de fractura de las mezclas asfálticas tibias*. (Tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.../Tesis.pdf>

- Minaya (2017).” *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de Lima – 2017*” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Manual de Ensayo de edición mayo de 2016, Lima, Perú.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Glosario de Términos de Uso Frecuente en Proyectos de Infraestructura Vial,*), aprobado mediante RD. N° 18-2013-MTC/14. Lima, Perú.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013.* Lima, Perú.
- Monturiol (2019). “*Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas modificadas con PET*” (tesis para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil) Universidad de Costa Rica
- Navarro Dupre Nicole Michelle (2013), *Confeción y seguimiento de tramo de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho nacional de neumáticos fuera de uso (NFU) mediante vía seca,* (Tesis de grado profesional), Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Recuperado de
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7450/tesis520.pdf>
 ; sequence=1.
- Ortiz Marroquín, Brayan Josúe (2017) *Mezclas asfálticas en caliente adicionando tereftalato de polietileno como agregado por el método de Marshall.* Licenciatura thesis, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pilatuña & Rodríguez (2020). “*Incorporación de plástico reciclado mediante vía húmeda en una mezcla asfáltica en caliente utilizando agregados pétreos del Cantón Guamote*” (tesis pregrado) Universidad Nacional de Chimborazo.
- Pinto Coelho, Ricardo Motta. (2009) *Tipología, Producción, Consumo y Reciclaje de Plásticos.* Capítulo 3.
- Puente (2020).” *Análisis técnico - económico de mezclas asfálticas con tereftalato de Polietileno reciclado para la construcción de carreteras asfaltadas*” (tesis de pregrado) Universidad Peruana Los Andes

- Prieto & Velandia (2017). *“Estudio técnico de factibilidad para el Reparcho de vías de tráfico liviano usando plástico reciclado PET y asfalto en la comuna N°7, barrio La Serranía de la ciudad de Villavicencio, Meta”* (Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en gerencia de proyectos) Corporación Universitaria Minuto de Dios. Colombia
- Proyecto Polymix, (2015), Residuos poliméricos en mezclas asfálticas: aumento de la sostenibilidad en las infraestructuras. Universidad de Cantabria, Madrid, España. Recuperado de <https://www.unican.es/proyectos/POLYMI/Eventos.html>
- Reyes Lizcano Fredy Alberto, Ana Sofía Figueroa, (2008) Uso de los Desechos Plásticos en Mezclas Asfálticas. Pontificia Universidad Javeriana Bogotá D.C, Colombia: Recuperado de <https://www.amazon.com/USO-DESECHOS-PLASTICOS-MEZCLAS-ASFALTICAS/dp/958716136X>
- Reyes Lizcano F, Madrid Ahumada M, Salas Callejas S, (2007). Mezclas Asfálticas Modificadas con un Elastómero (Caucho) y un Plastómero (Tiras de bolsas de leche con asfalto 80-100). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/277171116_Mezclas_asfálticas_modificadas_con_un_elastomero_caucho_y_un_plastomero_tiras_de_bolsas_de_leche_con_asfalto_80-100.
- Rondón Quintana H, Reyes Lizcano F, Figueroa Infante A, Rodríguez Rincón E.(2007). Estado de conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia. Universidad de La Salle, Universidad Javeriana Universidad Católica, Colombia. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/279750172_Mezclas_asfálticas_modificadas_en_Colombia
- Rondón Quintana, H* & Reyes Lizcano, F**. (2009) Influencia de las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá sobre el comportamiento mecánicos de una mezcla asfáltica, * Universidad Católica de Colombia, ** Pontificia

Universidad Javeriana. Colombia. Recuperado de

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-50732009000200006.

Silvina Agatiello M. (2009). Bolsas plásticas. Una mirada crítica al uso y abuso de algunos plásticos en nuestra vida diaria. Recuperado de <http://docplayer.es/12161777-Las-bolsas-plasticas-una-mirada-critica-al-uso-y-abuso-de-algunos-plasticos-en-nuestra-vida-diaria-curso-explora.html>

Silvia Angelone, Fernando Martínez, Enrique Santamaria, Emiliano Gavilán & Marina Cauhape Casaux (2006), Deformación Permanente de Mezclas Asfálticas (Reporte Técnico RT-ID-06/02), Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina.

Tunque (2020).” Modificación de la resistencia y la deformación de una mezcla asfáltica con Polietilentereftalato en la ciudad de Huancayo” (tesis de pregrado) Universidad Peruana Los Andes.

Turmero Pablo, (2012), Materiales Plásticos. Recuperados de <http://www.monografias.com/trabajos104/materiales-plasticos-moleculas/materiales-plasticos-moleculas.shtml>

Universidad Federal de Paraíba, (2014). Materiales Alternativos para la Pavimentación. Centro de Tecnología Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Laboratorio de Geotecnia y Pavimentación, Paraíba, Brazil.

Uribe (2020).” *Aplicación del Polietileno (PET) en pavimento flexible para determinar el comportamiento físico – mecánico en la Av. Los Geranios, Huaral 2020*” (tesis de pregrado) Universidad Cesar Vallejo.

Villanueva (2019). “*Resistencia al Corte de un suelo arcilloso, adicionando el 3% de Polietileno Tereftalato (PET) a nivel de subrasante en el C.P Rataquenua – Huaraz – Ancash*” (tesis de pregrado) Universidad San Pedro

Universidad de Huelva, (2014). Reutilización de residuos

ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable			
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Metodología
¿Cómo mejora la adición de plástico reciclado las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente con respecto a una mezcla asfáltica en caliente convencional?	Determinar las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente modificado con plásticos reciclados, para la determinación de sus propiedades mecánicas	Al adicionar el plástico reciclado pet a la mezcla asfáltica en caliente se determina y mejora las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente.	Mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado		Óptimo contenido de C.A. Densidad Soporte de carga	Tipo de Investigación: Descriptiva. Nivel de Investigación: Cuantitativo. Población: Datos climatológicos del Perú. Muestra: Datos climatológicos de las regiones La Libertad, Lambayeque y Piura en los últimos 20 años.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	
a) ¿Cómo la aplicación de plástico reciclado mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica en caliente?	a) Determinar el porcentaje de plástico reciclado que mejora la estabilidad.	a) Al determinar el porcentaje óptimo de plástico reciclado usado se mejora la estabilidad de la mezcla asfáltica	Propiedades mecánicas del asfalto		Durabilidad Trabajabilidad Resistencia a la fatiga Resistencia al deslizamiento	

en caliente.

b) ¿De qué manera la adición

b) Determinar el porcentaje de

b) Al determinar el porcentaje de
