UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ

SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2023

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

AUTORES:

AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ

SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ

TUTOR:

ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE, MSc.

LA LIBERTAD – ECUADOR

2023

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Jonny Raúl Villao Borbor, MSc.

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. Daniel Rosendo Campoverde, Mg.

DOCENTE TUTOR

f. _____

Ing. Lucrecia Cristina Moreno, Mg.

DOCENTE ESPECIALISTA

f. _____

Ing. Lucrecia Cristina Moreno, Mg.

DOCENTE UIC

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ y SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ**, declaramos bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO",** no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA, Carrera de INGENIERÍA CIVIL, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito de nuestra autoría.

Por medio de la presente declaración cedemos los derechos de autoría y propiedad intelectual, correspondientes a este trabajo, a la Universidad Estatal Península de Santa Elena, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Atentamente,

AUTORES

f. _

Amira Giselle Gavilanes Falconí

C.I. 0604536706

f. _

Sebastián David Maldonado Rodríguez

C.I. 2450104068

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing.Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Universidad Estatal Península de Santa Elena

En mi calidad de Tutor del presente trabajo **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO",** previo a la obtención del Título de **INGENIERO CIVIL** elaborado por la **Srta. AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ** y el **Sr. SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRIGUEZ**, egresados de la carrera de **INGENIERÍA CIVIL**, Facultad **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA** de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes.

Atentamente,

f. _____

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

C.I.: 0913176541

DOCENTE TUTOR

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA

Certificación de Gramatólogo

Lic. MARIANA MEDINA SUÁREZ
Magíster En Diseño Y Evaluación
De Modelos Educativos

La Libertad, noviembre 24 del 2023.

Certifica:

Que después de revisar el contenido del trabajo de titulación en opción al título de **INGENIERA CIVIL** de: **AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ & SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ,** cuyo tema es: **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO",** me permito declarar que el trabajo investigativo se encuentra idóneo y puede ser expuesto ante el jurado respectivo para la defensa del tema en mención.

Es todo cuanto puedo manifestar en honor a la verdad.

Lic. Mariana Medina Suárez. MSc.
Docente de Español: Literatura
Cel: 0986380800
e-mail: marianoem1@hotmail.com

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.
TUTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
Universidad Estatal Península de Santa Elena

En calidad de tutor del trabajo de investigación para titulación del tema **"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLIMERO EN EL CONCRETO ASFALTICO"** elaborado por los estudiantes, **AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONI** y **SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ,** con C.I.: 0604536706 y C.I.: 2450104068, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería, me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio COMPILATIO, luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con un 7% de la valoración permitida.

Adjunto reporte de similitud

Atentamente,

f._____
Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde, MSc.

DOCENTE TUTOR

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

TESIS MALDONADO GAVILANES

7% Textos sospechosos

- 7% Similitudes
- < 1% similitudes entre comillas
- < 1% Idioma no reconocido
- 0% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: TESIS MALDONADO GAVILANES.pdf
ID del documento: 8be06964ba92704dada0fd68dbba42918bbb9a59
Tamaño del documento original: 4,2 MB

Depositante: DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE
Fecha de depósito: 30/11/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 30/11/2023

Número de palabras: 27.267
Número de caracteres: 192.262

Ubicación de las similitudes en el documento:

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10035/1/UPSE-TIC-2023-0025.pdf 8 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (378 palabras)
2	Documento de otro usuario #e3bc07 El documento proviene de otro grupo 8 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (357 palabras)
3	repositorio.upse.edu.ec | Estudio de factibilidad técnica y económica de la instala... https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/8250/1/UPSE-TIP-2022-0016.pdf 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (153 palabras)
4	hdl.handle.net | Influencia de los desperdicios plásticos en las propiedades mecá... https://hdl.handle.net/20.500.14138/3686 4 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (160 palabras)
5	repositorio.upse.edu.ec https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/9071/1/UPSE-TIP-2023-0007.pdf 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (144 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	repository.ucc.edu.co https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/34572/1/2021_Mezclas_asfalticas_convencion...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (39 palabras)
2	www.obraspublicas.gob.ec | Pichincha es la primera provincia del Ecuador donde... https://www.obraspublicas.gob.ec/pichincha-es-la-primera-provincia-del-ecuador-donde-se-coloco-...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 palabras)
3	repository.ucatolica.edu.co https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/190880e5-ce0d-42ad-99bf-d7d828ac...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (40 palabras)
4	repositorio.ucv.edu.pe https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/20.500.12692/46154/1/Rodríguez_EER-SD.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
5	vinculacion.upse.edu.ec https://vinculacion.upse.edu.ec/images/PROYECTOS2021/2021-CIENCIAS_DE_LA_INGENIERA4.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (29 palabras)

Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

1 https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10819/Nota
2 https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/579c6b6e-04cf
3 https://pdfcoffee.com/astm-c-136-4-pdf-free.html
4 https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4847/T030_749
5 https://es.scribd.com/document/395493575/ASTM-C-127-Densidad-y

DEDICATORIA

El proyecto está dedicado, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi centro y mi guía, manteniéndome siempre con los pies sobre la tierra y asegurándome de no desviarme de mis objetivos.

A mis padres, Ricardo y Cristina, por ser mi apoyo constante y mi motor para seguir adelante a pesar de las dificultades. A mis hermanas, Zahira, Yacira y Tairah por ver en mí, un ejemplo de constancia y esfuerzo. Cada uno de ustedes, son mi mi motivo más grande para cumplir esta meta.

Dedico este trabajo con amor y gratitud a mis abuelitos Laura y Arnulfo, porque a pesar de ya no estar físicamente, siempre fueron mi fuente de inspiración. A través de sus enseñanzas, valores y amor incondicional, dejaron una huella imborrable en mi vida. Aunque no puedan estar presentes para presenciar este logro, su espíritu perdura en cada página de esta tesis, como una luz que guía mi camino.

A Sebastián por acompañarme en cada instante de este camino, en momentos buenos y malos, por ser mi apoyo y siempre creer en mí.

AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ

El presente proyecto de titulación va dedicado: En primer lugar, a Dios nuestro creador, por brindarme la sabiduría necesaria para trabajar en este proyecto y permitirme gozar del conocimiento suficiente para un buen desarrollo de este.

Quiero dedicarle también, este proyecto a mi familia, quienes han sido fuente inagotable de apoyo y motivación, a mis madres Mariana Lino y Betsy Maldonado, quienes han sido pilares fundamentales en mi vida, a mis hermanas Gabriela, Miryam, Giselle, Michelle, Fanny y Karla quienes ven en mi un gran potencial y su motivación.

A la memoria de mi hermano Efraín quien desde siempre creyó en mis sueños, me enseñó el valor del trabajo duro, el esfuerzo y la dedicación, su ausencia se siente en cada logro y así mismo se ve reflejado en este proyecto, estoy seguro de que desde el cielo está muy orgulloso de mi. Este trabajo es un tributo a su inspiración eterna.

A mis queridos compañeros de la carrera, quienes compartieron conmigo largas jornadas de estudio, risas, desafíos y logros, en especial a mi mayor apoyo, motivación y compañera a lo largo de este arduo pero gratificante camino académico, a mi querida Amira, este logro es nuestro y estoy orgulloso de tenerte a mi lado, más ahora mientras trabajamos en este proyecto. Para todos ellos, este trabajo es el resultado de nuestra colaboración y amistad durante estos años.

SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme sus dones, otorgándome sabiduría y entendimiento en cada momento. También agradezco a mi madre del cielo, María Auxiliadora, por iluminar siempre mi camino, por protegerme y por nunca soltarme de su mano.

Mi familia siempre ha sido mi pilar fundamental, por eso no puedo estar más agradecida por ser ellos quienes me han sostenido y apoyado cada día para que todos mis objetivos se cumplan. A lo largo de mi vida, han inculcado en mí la idea de que soy una mujer capaz de lograr todo lo que me propongo. Sin duda alguna, este logro no hubiera sido posible sin el invaluable respaldo de mis padres, Ricardo Gavilanes y Cristina Falconí, y mis hermanas, que, a pesar de la distancia, estuvieron constantemente motivándome para culminar mi carrera.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mis abuelitos, Laura y Arnulfo, quienes hasta el último momento que estuvieron conmigo, me apoyaron incondicionalmente y siempre creyeron en mis capacidades. También agradezco a mi abuelita Rosa por su constante respaldo y porque nunca me faltan sus palabras de aliento. No puedo dejar de mencionar a mis tíos paternos y maternos, quienes siempre me han motivado a ser una persona constante en la búsqueda de mis proyectos. Su apoyo ha sido fundamental en mi camino y estoy agradecida por tenerlos en mi vida.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Daniel Campoverde por su guía y orientación para el logro de esta investigación. Además, quiero agradecer a todos los que formaron parte del Consejo de Facultad, en especial al Ing. Juan Garcés y la Dra. Mallerlis Gutiérrez por siempre estar prestos a ayudarme al crecimiento personal y académico.

Realmente me siento una persona bendecida porque a lo largo de mi vida he encontrado amigos que han estado siempre en buenos y malos momentos, en noches

largas de estudio y también en días de alegría. Gracias a todos los compañeros, amigos y colegas con los que he tenido la oportunidad de compartir y han sido parte de este crecimiento personal y profesional.

Finalizando quiero expresar mi agradecimiento a dos personas importantes que han hecho mi camino en La Península mucho más llevadero; a Sebastián, mi compañero de tesis y amigo incondicional, por su apoyo, paciencia y cariño en todo lo que juntos nos hemos planteado. Y a Michelle Fajardo por ser mi amiga, roomie, confidente, y mi hermana de otra madre, por aconsejarme, guiarme y siempre estar para mí en días buenos y malos. Gracias por ser parte de todo mi éxito y alegrías.

AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ

Agradezco a Dios por darme la fuerza, sabiduría y mucha fe, lo que me permitió cumplir con mis objetivos y lograr mis metas con éxito.

Mi sincero agradecimiento a mi familia por su amor incondicional, paciencia y constante apoyo a lo largo de todo el tiempo en que me he dedicado a mis estudios universitarios. Sus sacrificios y aliento han sido mi mayor motivación.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi tutor de tesis el Ing. Daniel Campoverde Campoverde, por su experta orientación y paciencia a lo largo de todo este proceso de realización de este proyecto. También agradezco a todos los docentes con quienes tuve el agrado de ser su estudiante, por impartirnos sus conocimientos y experiencias.

A mis preciados amigos, quienes estuvieron conmigo durante los altibajos de este viaje académico, creando un ambiente de apoyo y colaboración, que enriqueció el conocimiento de todos y cada uno de nosotros, su amistad y ánimo fueron fundamentales para superar los desafíos.

SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ

TABLA DE CONTENIDO

Pag.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN ii

DECLARACIÓN DE AUTORÍA iii

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR iv

CERTIFICACIÓN DE GRAMATOLOGÍA..... v

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO vi

DEDICATORIA..... viii

AGRADECIMIENTOS x

TABLA DE CONTENIDO..... xiii

LISTA DE FIGURAS xvii

LISTA DE TABLAS xviii

RESUMEN..... xx

ABSTRACT xxi

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN..... 1

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN..... 2

1.2. ANTECEDENTES 4

1.3. HIPÓTESIS..... 8

1.3.1 Hipótesis General. 8

1.3.2. Hipótesis Específicas. 8

1.4. OBJETIVOS 8

1.4.1 Objetivo General. 8

1.4.2 Objetivos Específicos. 8

1.5. ALCANCE 9

1.6. VARIABLES..... 10

1.6.1 Variable Independiente. 10

1.6.2 Variables Dependientes. 10

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO 11

2.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO 11

2.1.1 Sub-rasante. 11

2.1.2 Sub-base. 12

2.1.3 Base. 13

2.1.4 Carpeta Asfáltica. 16

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS 16

2.2.1 Pavimentos Flexibles. 16

2.2.2 Pavimentos Rígidos. 17

2.2.3 Pavimento semi-rígido. 18

2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS 19

2.3.1 Mezclas Asfálticas en Frío. 19

2.3.2 Mezclas Asfálticas en Caliente. 19

2.3.3 Macadam Asfáltico 20

2.4 CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DEL AGREGADO 20

2.4.1 Agregado grueso. 20

2.4.2 Agregado fino. 21

2.4.3 Agregado mineral o filler. 21

2.5 GRADACIÓN DEL AGREGADO 21

2.6 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS 23

2.6.1 Propiedades Individuales. 23

2.6.2 Propiedades en conjunto. 23

2.7 ASFALTO 23

2.7.1 Propiedades Físicas. 24

2.7.2 Propiedades Químicas. 24

2.8 ASFALTOS MODIFICADOS 25

2.9 POLÍMEROS 26

2.9.1 Definición de polímeros. 26

2.9.2 Polietileno Tereftalato. 27

2.9.3 Características y propiedades generales del Polietileno Tereftalato 28

2.10 ENSAYOS DE LABORATORIO 28

2.10.1 Granulometría. 29

2.10.2 Abrasión. 29

2.10.3 Gravedad específica. 30

2.10.4 Marshall - Estabilidad y flujo. 31

2.10.5 Rice. 32

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO 34

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN 34

3.1.1. Tipo. 34

3.1.2. Nivel. 34

3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN 35

3.2.1 Método. 35

3.2.2 Enfoque. 35

3.2.3 Diseño. 35

3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO 36

3.3.1 Población. 36

3.3.2 Muestra. 36

3.3.3 Muestreo 36

3.4 METODOLOGÍA DEL OE. 1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA OBTENER UNA FÓRMULA DE TRABAJO ÓPTIMA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. 37

3.4.1 Propiedades de los agregados 38

3.4.2 Ensayo de granulometría. 38

3.4.3 Ensayo de gravedad específica agregado grueso. 40

3.4.4 Ensayo de gravedad específica agregado fino. 41

3.4.5 Ensayo Abrasión por medio de la máquina de los Ángeles. 43

3.4.6 Fórmula de trabajo para diseño de mezcla..... 46

3.4.7 Ensayo compactación Marshall. 46

3.4.8 Ensayo de gravedad específica. 49

3.4.9 Ensayo de estabilidad y flujo. 49

3.4.10 Ensayo de gravedad específica teórica máxima. 52

3.4.11 Obtención del porcentaje óptimo de asfalto. 54

3.5 METODOLOGÍA DEL OE. 2: COMPARAR EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON LA ADICIÓN Y/O SUSTITUCIÓN DE BETÚN CON POLIETILENO TEREFTALATO A TRAVÉS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA OBTENER LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE AGLUTINANTE MODIFICADO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADECUADA. 54

3.5.1 Modificación de la mezcla asfáltica con polímero. 54

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES..... 57

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 58

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA OBTENER UNA FÓRMULA DE TRABAJO ÓPTIMA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. 58

4.1.1 Ensayo de granulometría. 58

4.1.2 Ensayo de gravedad específica agregado grueso. 59

4.1.3 Ensayo de gravedad específica agregado fino. 60

4.1.4 Ensayo de abrasión de Los Ángeles. 61

4.1.5 Fórmula de trabajo mezcla asfáltica en caliente. 61

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2: COMPARAR EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON LA ADICIÓN Y/O SUSTITUCIÓN DE BETÚN CON POLIETILENO TEREFTALATO A TRAVÉS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA OBTENER LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE AGLUTINANTE MODIFICADO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADECUADA. 70

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS 73

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 78

5.1 CONCLUSIONES 78

5.2 RECOMENDACIONES 79

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80

ANEXOS 87

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Estructura de un pavimento flexible.....17
Figura 2 Estructura de un pavimento rígido.....18
Figura 3 Estructura de un pavimento semi - rígido.....18
Figura 4 Composición del asfalto 24
Figura 5 Procedimiento de polimeración.....27
Figura 6 Ubicación de la empresa CM Construcciones S.A.....37
Figura 7 Muestras de agregados finos y gruesos para tamizar 39
Figura 8 Material y equipo para ensayo de gravedad específica material grueso.41
Figura 9 Muestreo de arena y fino de cisco 42
Figura 10 Equipo y material para ensayo de abrasión de Los Ángeles 43
Figura 11 Equipo y material para ensayo de abrasión de Los Ángeles 44
Figura 12 Proceso de calentamiento del material bituminoso 47
Figura 13 Toma de pesos de las briquetas 49
Figura 14 Equipo para ensayo estabilidad y flujo.....50
Figura 15 Recolección de muestra y equipo para ensayo Rice.....53
Figura 16 Polímero a base de polietileno tereftalato.....55
Figura 17 Curva granulométrica 62
Figura 18 Curva VTM vs % Asfalto - Mezcla Convencional.....63
Figura 19 Curva Estabilidad vs % Asfalto – Mezcla convencional.....68
Figura 20 Curva Flujo vs % Asfalto – Mezcla convencional 68
Figura 21 Curva Vacíos de Agregado Mineral vs % Asfalto – Mezcla convencional 68
Figura 22 Curva Vacíos Llenos de Asfalto vs % Asfalto – Mezcla convencional 69
Figura 23 Estabilidad - Convencional vs Modificadas.....73
Figura 24 Flujo - Convencional vs Modificadas.....74
Figura 25 Vacíos de aire- Convencional vs Modificadas 74
Figura 26 VMA- Convencional vs Modificadas.....75
Figura 27 VFA- Convencional vs Modificadas.....76

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 *Clasificación de los 3 tipos de sub-bases granulares*……13
Tabla 2 *Límites granulométricos Base clase 1*.....14
Tabla 3 *Límites granulométricos Base clase 2*.....15
Tabla 4 *Límites granulométricos Base clase 3*.....15
Tabla 5 *Límites granulométricos Base clase 4*.....15
Tabla 6 *Requisitos granulométricos*.....22
Tabla 7 *Límites de estabilidad mediante ensayo Marshall*.....22
Tabla 8 *Propiedades del PET*.....28
Tabla 9 *Especificaciones de pasantes de los tamices*.....39
Tabla 10 *Cantidades mínimas para ensayo de gravedad específica*.....40
Tabla 11 *Cantidad de materiales a utilizar según la granulometría del material*44
Tabla 12 *Parámetros de diseño*.....51
Tabla 13 *Criterios Marshall para VMA*.....51
Tabla 14 *Tamaño mínimo de muestra a ensayar*.....52
Tabla 15 *Determinación de la cantidad de polímero*.....56
Tabla 16 *Porcentajes de polímero adicional a la mezcla*.....56
Tabla 17 *Cuadro de operacionalización de variables*.....57
Tabla 18 *Porcentajes de pasantes de cada tamiz por agregado*.....58
Tabla 19 *Gravedad específica piedra 3/4*.....59
Tabla 20 *Gravedad específica piedra 3/8*.....59
Tabla 21 *Gravedad específica de la arena*.....60
Tabla 22 *Gravedad específica del fino del cisco*.....60
Tabla 23 *Gravedad específica de la combinación de los materiales*.....61
Tabla 24 *Fórmula de trabajo final para mezcla asfáltica*.....62
Tabla 25 *Gravedades de mezclas asfálticas convencionales*.....64
Tabla 26 *Resultados obtenidos de ensayos de mezclas asfálticas convencionales*.....65
Tabla 27 *Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 5,5%*.....66
Tabla 28 *Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 6%*.....66

Tabla 29 *Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 6,5%* 66
Tabla 30 *Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 7%* 67
Tabla 31 *Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 7,5%* 67
Tabla 32 *Resultados mezcla asfáltica convencional bajo norma* 69
Tabla 33 *Gravedad Específica Teórica Máxima – Primera Alternativa* 71
Tabla 34 *Resultados obtenidos de mezcla asfáltica modificada - Primera Alternativa*.....71
Tabla 35 *Gravedad Específica Teórica Máxima - Segunda Alternativa* 72
Tabla 36 *Resultados obtenidos de mezcla asfáltica modificada - Segunda Alternativa*.....72

“EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO”

Autores: Amira Giselle Gavilanes Falconí y Sebastián David Maldonado Rodríguez

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar una mezcla asfáltica modificada con Polietileno Tereftalato (PET) mediante ensayos de laboratorio en briquetas convencionales y modificadas con distintos porcentajes de PET. Se exploraron dos alternativas: la primera completando el porcentaje óptimo de asfalto, y la segunda adicionándole el 2%, 4%, y 6% al porcentaje óptimo de asfalto. Aunque la mezcla cumplió con la normativa, se observaron notables reducciones en estabilidad y flujo en comparación con la mezcla convencional. Específicamente, la estabilidad de una briqueta convencional fue de 4430,25 lbs, mientras que las modificadas mostraron 2900,60 lbs y 2971 lbs en las alternativas 1 y 2, respectivamente. La disminución de estabilidad fue casi el doble a pesar de cumplir con los estándares. Es decir que la inclusión de PET como polímero en esta fórmula de trabajo podría no ser efectiva para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica, sugiriendo la necesidad de explorar alternativas y ajustar la formulación para optimizar su rendimiento.

Palabras Clave: Polietileno Tereftalato, PET, Estabilidad, Flujo, polímero, mezcla asfáltica

“EVALUATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALT MIXTURES INCLUDING POLYETHYLENE TEREPHTHALATE AS A POLYMER IN THE ASPHALT CONCRETE”

Authors: Amira Giselle Gavilanes Falconí y Sebastián David Maldonado Rodríguez

Tutor: Ing. Daniel Rosendo Campoverde Campoverde

ABSTRACT

The research aimed to evaluate an asphalt mixture modified with Polyethylene Terephthalate (PET) through laboratory tests on conventional and modified briquettes with different percentages of PET. Two alternatives were explored: the first completing the optimum asphalt percentage, and the second adding 2%, 4%, and 6% to the optimum asphalt percentage. Although the mixture complied with regulations, notable reductions in stability and flow were observed compared to the conventional mixture. Specifically, the stability of a conventional briquette was 4430.25 lbs, while the modified ones showed 2900.60 lbs and 2971 lbs in alternatives 1 and 2, respectively. The decrease in stability was almost double despite meeting standards. In summary, the inclusion of PET as a polymer in this dosage may not be effective in improving the mechanical properties of the asphalt mixture, suggesting the need to explore alternatives and adjust the formulation to optimize its performance.

Key Words: Polyethylene Terephthalate, PET, Stability, Flow, polymer, asphalt mixture

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Como punto de partida para este trabajo tomamos en cuenta que, actualmente la red vial nacional es utilizada para lograr un intercambio comercial y turístico, siendo estas las principales fuentes de economía de Ecuador, según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2014), aproximadamente el 36% de la red vial estatal está pavimentada y cerca del 52% está formada por caminos terciarios y vecinales, concentrados en su mayoría en la Sierra con condiciones sub-óptimas de transitabilidad.

Sin embargo, esto no ha sido suficiente ya que aún existen áreas con ciertos problemas que no se pueden solucionar, por ejemplo el mal control de calidad de los pavimentos durante la construcción, falta de mantenimiento de las vías existentes, mal diseño de las mezclas asfálticas utilizadas en los pavimentos, incorrecto uso de materiales por falta de análisis del suelo, mezclas asfálticas con porcentaje incorrecto de asfalto; esto provoca muchas veces que la comunicación se vea dificultada entre una ciudad y otra.

Por esta razón, es de suma importancia analizar los materiales de la subrasante, base y sub base de los pavimentos flexibles, los cuales deben cumplir con las normas para lograr la resistencia suficiente, considerando que existe la necesidad de investigar sobre nuevos y mejores materiales, que sean respetuosos con el medio ambiente, económicos, y que mejoren las propiedades mecánicas de la superficie de la carretera, garantizando así una alta capacidad de servicio y pueden ser carreteras seguras y fiables.

La finalidad de este trabajo es analizar la mezcla asfáltica convencional y una mezcla modificada con polímero (PET – Polietileno Tereftalato), evaluar las propiedades mecánicas de ambas, y lograr resultados favorables y aplicables en el Ecuador, para que en el país se apliquen nuevos métodos para una construcción amigable con el medio ambiente, como el diseño de un pavimento flexible con un

aditivo de plástico proveniente de botellas recicladas, material que muchas veces es desechado en grandes cantidades, alternativa ya implementada en otros países.
La innovación, el diseño, la investigación, la aplicación de nuevas tecnologías y la sensibilidad con el medio ambiente y la sociedad, son las bases de este proyecto, el cual pretende ofrecer una variante a un producto ya existente, dotándole un valor añadido, es por eso que de acuerdo con Monrroy y Pardo (2020) incrementar la investigación de materiales alternativos como el pavimento con agregado de plástico, es importante pues son materiales que traen beneficios económicos, ambientales y el mejoramiento de las características físicas y mecánicas de los pavimentos. En proyectos ya realizados, existen grandes avances como el uso de pavimentos a base de caucho reciclado de llantas, sin embargo, económicamente no es muy factible debido a que en ocasiones supera los costos de la construcción de un pavimento convencional.

Las mezclas asfálticas son de gran importancia en el transporte de vehículos; la tecnología del asfalto modificado es una técnica muy difundida encaminada a mejorar las propiedades y características del pavimento tradicional y desarrollar modificaciones con una variedad de materiales que permitan mejorar propiedades como la cohesión y la adherencia, prolongar la vida útil del pavimento y reducir los costos por trabajos de mantenimiento, demostrando que el uso de cemento asfáltico modificado es una solución viable al problema de la mala calidad vial en el país, Forero (2015).

El uso de plástico post consumo en el mejoramiento de las carreteras, no solo demuestra el compromiso con el medio ambiente, sino que también puede prolongar la vida útil de la mezcla en general, alterando en cierto grado sus propiedades mecánicas permitiendo que la mezcla pueda ser más resistente y sostenible a lo largo de todo el tiempo que se esté usando esta alternativa de pavimento. Es bien sabido que ningún tipo de residuo debe terminar en el medio ambiente, ríos y océanos, por lo que surge la alternativa de darle un nuevo uso a este residuo plástico a base de Polietileno Tereftalato (un plástico comúnmente utilizado en envases de bebidas y textiles), dentro de una mezcla asfáltica propuesta. De esta manera, se fortalece la idea que surge en el país de generar soluciones sustentables a problemas de ingeniería, Dow Chemical (2021).

Como consecuencia de su exposición a factores como las altas temperaturas, elevado flujo vehicular y humedad, después de un tiempo de servicio los pavimentos presentan diferentes problemas como deformación, fatiga, piel de cocodrilo, desprendimiento de agregados, agrietamientos, hundimientos, abultamientos, entre otros, por lo que mediante la modificación del asfalto se busca mejorar las propiedades que definen el comportamiento de la mezcla asfáltica según el nivel de tránsito que la misma deberá soportar, para ello se plantea utilizar materiales alternativos que sean amigables con el medio ambiente y de esta forma aumentar su vida útil.

En el proceso de diseño y análisis de resultados, se lleva a cabo pruebas y ensayos tales como Marshall, Rice y Estabilidad y flujo utilizando diversas mezclas asfálticas en forma de briquetas. En estas, la composición se varía con distintos porcentajes y cantidades de polímero en el concreto asfáltico. En este contexto, el diseño de la mezcla implica la variación de porcentajes y cantidades del polímero en el concreto asfáltico, para así obtener resultados diversos y comparar la viabilidad de cada muestra.

El propósito de todo lo previamente expuesto es lograr el desarrollo de una alternativa de diseño de asfalto que, mediante la incorporación de un polímero, específicamente el polietileno tereftalato triturado, con el objetivo de extender la durabilidad de los pavimentos, realzar las propiedades de las mezclas asfálticas tradicionales y, posiblemente, considerar esta sugerencia en proyectos viales futuros, Rojas (2019).

1.1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Diariamente, las carreteras enfrentan desafíos como condiciones climáticas, cargas pesadas y radiación solar. Estos factores generan un deterioro evidenciado en grietas, baches y hundimientos debido a cambios químicos como volatilización, oxidación y polimerización. Estas alteraciones provocan un reordenamiento molecular en el asfalto, resultando en una mezcla endurecida y vulnerable a fisuras. Este proceso refleja la complejidad de mantener la integridad de las vías frente a diversas tensiones ambientales y de carga, impactando su durabilidad y seguridad.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOP), mencionan que la planificación e implementación de planes de mantenimiento vial, con el fin de rehabilitar las vías afectadas por la demanda de tráfico y exceso de cargas, representa un gasto económico millonario, lo que afecta a toda la economía del país, además del impacto que presenta el cambio climático, Pineda Vásquez (2022).

Al proponer una alternativa de asfalto que permita utilizar plásticos reciclados como polímero dentro de una mezcla asfáltica, modificando su composición y a su vez mejorando sus propiedades mecánicas, se busca mejorar su resistencia ante el evidente incremento del flujo vehicular en la provincia de Santa Elena y en el país, determinando de qué manera se comporta el cemento asfáltico y como varían sus características con la adición de polietileno tereftalato como polímero, cuando es sometido a procesos de compactación mediante el ensayo de Marshall.

Dado que las mezclas asfálticas en caliente presentan mayor uso en el país, se pretende obtener mejores características y desempeños de estas, pero esto no es posible debido a los indebidos procesos constructivos que existen dentro del campo laboral y afectaciones del entorno en donde se aplicará la capa asfáltica, lo cual directamente afecta el buen funcionamiento de la mezcla.

Actualmente los asfaltos convencionales que se utilizan para acometer las obras de infraestructura vial, presentan calidades y propiedades que son insuficientes o no alcanzan a satisfacer las necesidades y requerimientos de las demandas de tráfico vehicular, por lo cual se investigan alternativas de solución desde la modificación de los asfaltos incorporando materiales de distinta naturaleza, como caucho, fibras de vidrio y acero, hasta desperdicios plásticos, este último siendo objeto del presente trabajo, Forigua y Pedraza (2014).

Hoy en día las mezclas asfálticas que comúnmente se utilizan para trabajos de obra en proyectos viales, presentan falencias y daños, lo que las hace insuficientes y no llegan a satisfacer las necesidades propias del flujo vehicular, es por esto que, se llevan a cabo varias investigaciones donde modifiquen su composición con diversos materiales, hasta llegar a una mezcla y fórmula de trabajo óptima, que den

como resultado, una alternativa que sí sea de provecho para los usuarios. Es por esta razón que la problemática de la investigación se plantea acorde al cuestionamiento general basado en ¿Qué efecto tiene la incorporación de Polietileno Tereftalato como polímero dentro del concreto asfáltico?, y ¿Cómo varían sus propiedades mecánicas en comparación con una mezcla convencional?

1.2. ANTECEDENTES

De acuerdo con Álvarez (2020), todas las investigaciones deben incluir antecedentes para mostrar los resultados u observaciones de estudios previos teniendo en cuenta las variables en estudio, puesto que la obtención de estos permite elaborar el "estado de la cuestión". Con esta información se redacta lo siguiente:

El Polietileno Tereftalato (PET) es uno de los materiales plásticos más utilizados, especialmente en la fabricación de envases, su composición lo hace un material óptimo para la fabricación de botellas, frascos, piezas o incluso textiles. Las propiedades y ventajas del PET, le atribuyen las características adecuadas para convertirse en un material de interés en este proyecto, resistente y flexible, a la par de ligero, resistente al desgaste, y su principal atributo, es que es 100% reciclable.

Hasta la fecha, no se han realizado investigaciones a nivel nacional sobre la incorporación de Polietileno Tereftalato como polímero específicamente en el cemento asfáltico. Aunque hay estudios que evalúan mezclas asfálticas modificadas utilizando PET como agregado, como la investigación de Cornejo y Lamiña (2018) "Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, mediante la incorporación de material triturado de productos reciclados de Tereftalato de Polietileno (PET), utilizando los agregados de la mina del Río Pita en la ciudad de Quito, mediante la determinación del módulo de rigidez", este estudio compara propiedades mecánicas de mezclas asfálticas convencionales con las modificadas que incorporan PET triturado en un porcentaje que sustituye al agregado fino, manteniendo una granulometría similar. Los resultados indican que la adición del 5% del plástico mejora la estabilidad, cumpliendo con el requisito mínimo, pero aumenta el flujo, excediendo los límites establecidos. Sugieren explorar métodos alternativos de incorporación de PET, destacando la posibilidad de realizar la mezcla en

condiciones húmedas para integrar el polímero con el asfalto sin reemplazar un agregado.

Gracias a la colaboración interinstitucional ente el Ministerio de Transportes y Obras Públicas (MTOP) y el Ministerio del Ambiente (MAE), se logró con éxito la aplicación de 600 ml de mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado en la vía Pifo-Papallacta, marcando un hito en la historia del país en términos de innovación sostenible en la industria vial. Este logro fue posible gracias a la contribución de varias empresas, como Rubberaction, IMPTEK, y la compañía China Road and Bridge Corporation (CRBC), así como con pruebas de rendimiento en el Laboratorio de Carreteras de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, y la colaboración de técnicos nacionales y especialistas del Instituto Tecnológico de Monterrey, (MTOP, 2014).

Por otro lado, en el contexto internacional, la investigación de Tapia (2016) titulada "Utilización de fibras de Polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el Diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío", se centró en explorar tendencias internacionales en la construcción de pavimentos en frío utilizando fibras de polietileno, con el propósito de optimizar el pavimento y analizar su impacto en las mezclas asfálticas, siempre que cumplan con las normativas del Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Se compararon mezclas convencionales con asfalto en frío y mezclas con fibras de polietileno de diferentes tamaños nominales, con el objetivo de cumplir con los estándares de estabilidad y flujo para tráfico liviano, mediano y pesado. Los resultados demostraron que el Polietileno tipo 3, con un 6-8% de fibra, cumplía con las normas y destacó por un secado más rápido en comparación con la mezcla convencional especialmente en el caso de tráfico pesado.

De acuerdo con Monrroy y Pardo (2020), en su artículo "Factibilidad de desarrollar pavimentos con plástico reciclado" explican que es fundamental que los polímeros empleados en las mezclas asfálticas sean homogéneos y preferiblemente estén libres de agua. Luego de triturarlos, se mezclan a una temperatura de 170°C con el agregado fino y grueso, generando resultados que mejoran la capacidad de penetración en los espacios vacíos. Esto resulta en una fórmula de trabajo adecuada

para crear mezclas asfálticas alternativas, aptas para la construcción y mantenimiento de carreteras, siempre que cumplan con las normativas existentes. En la Guajira, Colombia, se implementó una carretera mejorada con una mezcla asfáltica que incluye residuos de plástico reciclado en un proyecto respaldado por Dow Chemical Co.(2021), que busca soluciones sostenibles mediante la reintegración de plásticos posconsumo en la cadena de suministro, contribuyendo así a la preservación del medio ambiente.

Varios estudios, incluyendo el de Monrroy y Pardo (2020), han confirmado la durabilidad de pavimentos modificados con plástico, evidenciando una reducción en el flujo que mejora las propiedades elásticas y la rigidez, aspectos cruciales para resistir deformaciones permanentes. la reducción en el flujo lo cual logra una mejora en las propiedades elásticas y de rigidez, aspectos importantes para lograr una resistencia ante las deformaciones permanentes. Según dichos autores, el pavimento con plástico puede extender la vida útil de un pavimento convencional en hasta 10 años adicionales, lo que aumenta la durabilidad de las carreteras. Además, citando a Amol S. Bale (2011), señala que esta alternativa ha sido exitosa en la construcción de carreteras en la India, donde el aumento del punto de fusión del betún, gracias al plástico, es especialmente beneficioso debido a las altas temperaturas locales que pueden alcanzar los 50°C.

El estudio internacional llevado a cabo por Espinoza (2019) en su investigación, "Utilización del plástico PET reciclado como agregado ligante para un diseño de mezcla asfáltica en caliente de bajo tránsito en la ciudad de Huanuco-2018", se enfoca en la utilización del plástico PET reciclado como ligante en una mezcla asfáltica en caliente para tráfico de bajo volumen en la ciudad de Huánuco en 2018. El objetivo principal es evaluar el desempeño de esta mezcla asfáltica y verificar si cumple con los estándares establecidos por la norma EG-2013 para tráfico ligero. Se realizaron pruebas de mezcla convencional y con PET, siguiendo el ensayo Marshall, para comprobar su estabilidad y fluidez según la normativa. Sin embargo, se concluyó que el asfalto modificado con PET presenta un comportamiento diferente al asfalto tradicional, lo que imposibilita el análisis mediante los parámetros normativos, ya que no se pueden llevar a cabo los ensayos RICE ASTM D2041 y Marshall debido a sus características rígidas.

En su investigación titulada “Diseño de carpeta asfáltica aplicando gránulos de plástico reciclado para mejorar la transitabilidad del Jr. San martín, distrito de Tabalosos-2018”, Ramírez y Tananta (2019) buscan mejorar el rendimiento de la carpeta asfáltica mediante la incorporación de plástico reciclado granulado y compararlo con la carpeta asfáltica tradicional. Realizaron pruebas específicas relacionadas con el asfalto en las calles de Tabalosos, tomando10 muestras en total con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, incluyendo aquellas que tenían incorporado plástico reciclado granulado. Los resultados revelaron un aumento en el flujo en comparación con la mezcla asfáltica tradicional, mayor elasticidad, estabilidad y reducción de vacíos, lo que prolonga la vida del pavimento y mejora su capacidad para resistir deformaciones permanentes.

Según la investigación de Salazar (2019) titulada “Evaluación de mezcla asfáltica con aplicación de plástico reciclado para los pavimentos flexibles en San Juan de Miraflores, Lima 2019”, se busca determinar el impacto de la inclusión de plástico reciclado en las mezclas asfálticas para pavimentos flexibles con el fin de promover la sostenibilidad. El estudio, de naturaleza no experimental y correlacional-causal, revela que incluso con un reemplazo de solo el 1 a 3% del agregado, la incorporación de plástico reciclado puede mejorar las propiedades de la mezcla convencional, cumpliendo con los estándares del ensayo Marshall E 504 del MTC. La dosis óptima se encuentra en este rango y puede variar según factores como el tamaño de los fragmentos de plástico y la calidad del cemento asfáltico.

La adición de plástico a las mezclas asfálticas reduce su peso y, por lo tanto, disminuye la carga sobre el suelo, lo que se traduce en ventajas geotécnicas. A nivel internacional, Arteaga (2018) menciona investigaciones sobre la estabilización de suelos con PET, como el estudio en Kanjirapally que evaluó el efecto de las fibras de plástico en arcilla limosa mediante ensayos de Proctor estándar y pruebas de compresión no confinadas. Los resultados indicaron un aumento en la densidad seca máxima del suelo y una mejora en la compactación debido a la adición de plástico, lo que demuestra su capacidad para estabilizar el suelo.

1.3. HIPÓTESIS

1.3.1 Hipótesis General.

La evaluación de las propiedades mecánicas a una mezcla asfáltica modificada con polietileno tereftalato permitirá identificar y demostrar si este polímero es óptimo para ser empleado como agregado al cemento asfáltico y verificar si supera a las propiedades de la mezcla convencional.

1.3.2. Hipótesis Específicas.

H.E1: La mezcla asfáltica modificada con PET fundido en el cemento asfáltico cumple con los valores establecidos por la norma MOP-001F-2002.

H.E2: La mezcla asfáltica modificada con PET fundido en el cemento asfáltico presenta una mejoría en las características mecánicas, a comparación con una mezcla convencional.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica mediante la incorporación de polietileno tereftalato como polímero en el concreto asfáltico para compararlo con los parámetros de diseño de una mezcla convencional.

1.4.2 Objetivos Específicos.

O.E1: Determinar las propiedades mecánicas de los agregados finos y gruesos por medio de ensayos de laboratorio para obtener una fórmula de trabajo óptima para el diseño de mezcla asfáltica en caliente.

O.E2: Comparar el diseño de mezcla asfáltica convencional con la mezcla asfáltica modificada con la adición y/o sustitución de betún con polietileno tereftalato a través de resultados obtenidos en ensayos de laboratorio, para obtener los porcentajes óptimos de aglutinante modificado para una mezcla asfáltica adecuada.

1.5. ALCANCE

La presente investigación se va a realizar con el fin de determinar las propiedades mecánica y establecer la diferencia de los parámetros entre una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con PET como polímero. Se ha demostrado que las mezclas asfálticas modificadas tienen mejores resultados en cuanto a durabilidad y resistencia con respecto a diversas mezclas convencionales, tanto así que las condiciones finales de esta mezcla se adecúan a condiciones específicas según se requiera en este proyecto. De esta forma se busca diseñar una alternativa de asfalto modificado con polietileno tereftalato, que dé solución a fallas en la calzada y a su vez ofrezca una solución ambiental al manejo de desperdicios plásticos.

La investigación, que abarcará aproximadamente tres meses desde agosto hasta noviembre de 2023, tiene como objetivo principal determinar una fórmula de trabajo para la creación de una mezcla asfáltica modificada. Durante este período, se recopilará datos bibliográficos, los cuales serán procesados para obtener resultados teóricos fundamentales para el estudio. Los ensayos necesarios para el desarrollo de la investigación se llevarán a cabo en las instlaciones del Laboratorio de Suelos de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. En este entorno, se dispondrá del equipo necesario para ejecutar los ensayos de manera efectiva, asegurando la precisión y confiabilidad de los resultados obtenidos, con el objeytivo final de determinar la fórmula de trabajo óptima para la mezcla asfáltica modificada.

Para la elaboración de briquetas, se empleará la fórmula de trabajo óptima determinada a través de ensayos de granulometría aplicados a diferentes agregados. Una vez establecidos el tipo de agregado y la cantidad óptima de asfalto, se procede a la modificación del asfalto mediante la adición del polímero, seguido por el

proceso de fundición. Posteriormente, cuando el ligante y el polímero han alcanzado un estado de homogeneidad, se lleva a cabo la compactación Marshall de acuerdo con las normativas establecidas.

Este procedimiento asegura la coherencia en la calidad de las briquetas, garantizando que cumplan com los estándares requeridos, es fundamental seguir rigurosamente las pautas de la normativa para asegurar la uniformidad y la eficacia del proceso de compactación, contribuyendo así a la obtención de resultados confiables y consistentes en la elaboración de las briquetas.

1.6. VARIABLES

1.6.1 Variable Independiente.

- ✓ Propiedades de agregados, cemento asfáltico, polietileno tereftalato

1.6.2 Variables Dependientes.

- ✓ Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas convencionales y modificadas

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el ámbito de la Ingeniería Civil, el pavimento constituye una estructura material dispuesta sobre el terreno natural con el propósito de proporcionar una superficie resistente y transitable. Su objetivo fundamental radica en resistir las cargas generadas por el tráfico, garantizando la movilidad y seguridad tanto para los vehículos como para los transeúntes. Además, contribuye significativamente el desarrollo económico al facilitar la conectividad y accesibilidad en diversas áreas Martínez (2023).

2.1. ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Se considera pavimento a la estructura cimentada conformada por varias capas, sobre las cuales actúan cargas repetidas que son provocadas por el paso vehicular sobre la superficie, y que a lo largo de su vida útil debe ser capaz de trasmitir las deformaciones provocadas por estas cargas hacia la subrasante Hidalgo (2007).

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas sobrepuestas de manera horizontal, las cuales son diseñadas y construidas técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras se ubican de manera estratificada, apoyadas sobre la subrasante de una vía a partir del movimiento de tierra en el proceso de exploración, capaz de resistir adecuadamente los esfuerzos trasmitidos por las cargas de tránsito que se transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura de pavimento. Paredes (2011).

2.1.1 Sub-rasante.

Es la última capa de las terracerías y se dice que es la cimentación del pavimento cuando se tienen materiales de buena calidad. Es la capa de terreno que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no

afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la sub-rasante, por lo que debe cumplir con los requisitos de resistencia, incomprensibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efecto de la humedad, Humpiri (2015).

2.1.2 Sub-base.

Se constituye de materiales granulares, los cuales se colocan normalmente sobre la sub rasante, para formar una capa de apoyo para la base de pavimento asfáltico, evitar que el agua de las terracería ascienda hacia las capas superiores, desalojar el agua que penetre por la parte superior por efecto de bombeo, evitar que se contamine el pavimento con el material de la terracerías y transmitir los esfuerzos hacia las capas inferiores de manera disipada, el espesor mínimo de esta capa es de 15 cm Arriaga (2015).

La función principal de la capa de sub-base en un pavimento es soportar las fuerzas generadas por las cargas de los vehículos, transmitiéndolas efectivamente a las capas inferiores. Una de sus ventajas clave es su capacidad para optimizar el uso de recursos al transformar un espesor específico de la capa base en un equivalente espesor de material de sub-base. Este proceso además de que previene la ascensión del agua desde las terracerías, también evita que el pavimento sea absorbido por el sustrato, minimizando así la posibilidad de deformaciones. Es decir que este enfoque no solo resulta un ahorro económico, sino que también ayuda a conservar la integridad y durabilidad del pavimento al prevenir problemas asociados con el agua y la compactación de la subrasante Gavilanes (2012).

Existen tres clases de sub-base:

- ✓ **Clase 1:** Elaboradas a partir de agregados como rocas o gravas, deben contar con una graduación uniforme que se encuentre dentro de los límites establecidos en la Tabla 1. Es requisito que, como mínimo, el 30% del material sea obtenido mediante el proceso de trituración.

- ✓ **Clase 2:** Está formada por agregados obtenidos mediante la trituración de yacimientos de piedras naturalmente fragmentadas. Debe presentar una gradación uniforme y cumplir con los límites especificados en Tabla 1.

- ✓ **Clase 3:** Están construidas con agregados naturales procesados y deben estar graduados de acuerdo con los límites señalados en la Tabla 1

Tabla 1

Clasificación de los 3 tipos de sub-bases granulares

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices		
	Clase 1	**Clase 2**	**Clase 3**
3" (76,2 mm)	-	-	100
2" (50,4 mm)	-	100	-
11/2" (38,1 mm)	100	70 - 100	-
N° 4 (4,75 mm)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
N° 40 (0,425 mm)	10 - 35	15 - 40	-
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Nota. Especificaciones MTOP

Es crucial seguir y elegir la categoría de sub-base establecida en las especificaciones, ya que cada una presenta distintas propiedades en cuánto a permeabilidad, resistencia y niveles de compactación.

2.1.3 Base.

Es una capa constituida por materiales pétreos seleccionados, se la construye por encima de la sub-base y eventualmente sobre la sub-rasante. Se encuentra limitada en su parte superior por la carpeta asfáltica. Su función es principalmente resistente. Sus principales funciones son, proporcionar un elemento resistente que permita transmitir cargas a las capar inferiores, disminuir costos de construcción, sirve de capa de transición entre la sub-base y la carpeta asfáltica, y cumplir con los trabajos de drenaje. Caiza (2011). Según el (MTOP, 2002) existen 4 clases de bases:

- ✓ **Clase 1:** bases formadas por agregados finos y gruesos, completamente triturados, graduados de manera uniforme y que cumplen con los límites granulométricos indicados para los tipos A y B según la Tabla 2.

- ✓ **Clase 2:** base constituida por fragmentos de grava triturada o roca, donde al menos el 50% del agregado grueso debe estar triturado, respetando los límites granulométricas Tabla 3.

- ✓ **Clase 3:** bases compuestas por fragmentos de roca o grava triturada, con al menos el 25% de la fracción de agregado grueso triturado y graduada uniformemente dentro de los límites granulométricos de la Tabla 4.

- ✓ **Clase 4:** Bases conformadas a partir de la fragmentación, trituración o cribado de piedras o gravas, graduadas según especificaciones granulométricas definidas en la Tabla 5.

Tabla 2

Límites granulométricos Base clase 1

TAMIZ	**Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada**	
	Tipo A	**Tipo B**
2" (50,8 mm)	100	-
11/2" (38,1 mm)	70 - 100	100
1" (25,4 mm)	55 – 85	70 – 100
3/4" (19,0 mm)	50 – 80	60 – 90
3/8" (9,5 mm)	35 – 60	45 – 75
N° 4 (4,76 mm)	25 – 50	30 – 60
N° 10 (2,00 mm)	20 – 40	20 – 50
N° 40 (0,425 mm)	10 - 25	10 – 25
N° 200 (0,075 mm)	2 - 12	2 - 12

Nota. Especificaciones MTOP. Tomado de (MTOP, 2002)

Tabla 3

Límites granulométricos Base clase 2

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
1” (25,4 mm)	100
3/4” (19,0 mm)	70 – 100
3/8” (9,5 mm)	50 – 80
N° 4 (4,76 mm)	35 – 65
N° 10 (2,00 mm)	25 – 50
N° 40 (0,425 mm)	15 - 30
N° 200 (0,075 mm)	3 - 15

Nota. Especificaciones MTOP. Tomado de (MTOP, 2002)

Tabla 4

Límites granulométricos Base clase 3

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
3/4” (19,0 mm)	100
N° 4 (4,76 mm)	45 – 80
N° 10 (2,00 mm)	30 – 60
N° 40 (0,425 mm)	20 – 35
N° 200 (0,075 mm)	3 - 15

Nota. Especificaciones MTOP. Tomado de (MTOP, 2002)

Tabla 5

Límites granulométricos Base clase 4

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada
2” (50,8 mm)	100
1” (25,4 mm)	60 – 90
N° 4 (4,76 mm)	20 – 50
N° 200 (0,075 mm)	0 - 15

Nota. Especificaciones MTOP. Tomado de (MTOP, 2002)

Si es requerido para satisfacer los requisitos de gradación, se puede agregar arena o material triturado a la grava, permitiendo su mezcla en la planta o en el sitio.

2.1.4 Carpeta Asfáltica.

La carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible que proporciona la capa de rodadura para los vehículos y es elaborada con materiales pétreos y cemento asfáltico. Los materiales pétreos con los que se diseñan las carpetas asfálticas son generalmente suelos inertes provenientes de depósitos naturales denominados canteras, los cuales, para su correcto uso deben someterse a un tratamiento de cibrado y triturado, Corral (1999).

Refiriéndose en esta cuestión, Narvaez et al (2009) sostiene que la capa de rodadura también llamada carpeta asfáltica, constituye la parte superior de la estructura de un pavimento flexible. Dependiendo el tipo de carretera a construir, se selecciona el material pétreo y el producto asfáltico. Las características que el material pétreo seleccionado debe tener son: (i) Un diámetro menor a una pulgada; (ii) Preferiblemente de forma cúbica, evitando formas de aguja o laja para prevenir roturas que alteren la granulometría y causen fallas en la carpeta; (iii) Tener una granulometría adecuada; (iv) Cumplir con los parámetros de los ensayos de desgaste los ángeles, densidad y durabilidad.

2.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

2.2.1 Pavimentos Flexibles.

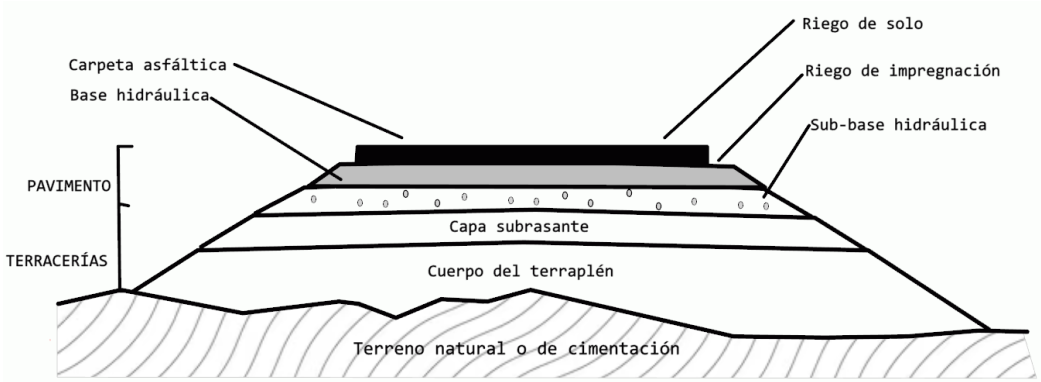
Los pavimentos flexibles son aquellos que se adaptan a deformaciones de la estructura de pavimentos, entre los más comunes encontramos las carpetas asfálticas, el doble tratamiento bituminoso y a la estabilización bituminosa, Orozco (2014). En el mismo contexto y de acuerdo con Zelada (2019), se denominan pavimentos flexibles a todos aquellos que están formados por una capa bituminosa apoyada sobre una o varias capas de gran flexibilidad (base y subbase) que transmiten esfuerzos al terreno de soporte o fundación mediante un mecanismo de disipación de tensiones, las cuales van disminuyendo con la profundidad.

Los pavimentos flexibles, se caracterizan por la capacidad de deflexión o flexión y se ajustan a las cargas aplicadas. Su estructura comprende múltiples capas,

distribuyendo y disminuyendo la carga hacia capas inferiores. Este tipo de pavimentos son diseñados para un número específico de repeticiones de carga, cuando fallan muestran fácilmente fisuras y grietas. Aunque en su construcción inicial resultan económicamente más eficientes, su vida útil es de 10 a 15 años, por lo que requieren mantenimiento constante, son ampliamente utilizados en áreas de tráfico intenso, como vías y estacionamientos. Paneso (2019).

Figura 1

Estructura de un pavimento flexible



Nota. Tomado de (Zelada Rojas, 2019)

2.2.2 Pavimentos Rígidos.

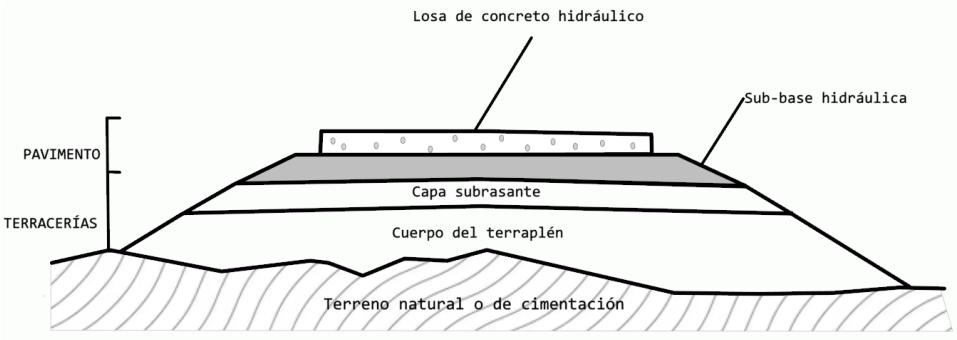
La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de hormigón hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, las cuales trabajan en conjunto con la que recibe directamente la carga. Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losa y juntas sin pasa juntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables Higuera (2015).

Aunque en teoría las losas de hormigón hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase o base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de 40 un pavimento rígido está constituida por la losa de

hormigón hidráulico y la subbase, que se construye sobre la capa subrasante Higuera (2015).

Figura 2

Estructura de un pavimento rígido



Nota. Tomada de (Zelada Rojas, 2019)

2.2.3 Pavimento semi-rígido.

Un pavimento semi-rígido está compuesto por pavimento flexible y pavimento rígido., este pavimento compuesto comprende una capa de base de concreto junto con una capa de rodadura a base de cemento asfáltico. La estabilidad de suelo por medio del cemento Portland permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente, con el fin de construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas Jorge Luis (2016).

Figura 3

Estructura de un pavimento semi - rígido

2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las mezclas asfálticas, conocidas como aglomerados, son el resultado de combinar agregados pétreos con un ligante hidrocarbonado. Estos compuestos, cubiertos por una película continua, se producen en centrales fijas o móviles, transportándose luego al sitio de construcción para su extendido y compactación. Las mezclas asfálticas están constituidas principalmente por un 90% de agregados pétreos gruesos y finos, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico, su objetivo es ofrecer una superficie de rodamiento eficiente, segura y económica. Esto facilita la circulación vehicular y transmite adecuadamente las cargas del tráfico a la explanada, asegurando su adecuado soporte. Navarro (2017).

De acuerdo con Rodríguez y Rodríguez (2004), los pavimentos flexibles se pueden clasificar por el tipo de mezcla bituminosa que lo compone, estas mezclas pueden ser:

2.3.1 Mezclas Asfálticas en Frío.

Es la combinación de agregados y un ligante bituminoso que pueden mezclarse, extenderse y compactarse a temperatura ambiente. En alguna ocasión el agregado puede llegar a calentarse ligeramente. Estas mezclas emplean en su fabricación ligantes bituminosos con menor viscosidad que Las mezclas en caliente, betunes fluidificados, alquitranes fluidos o emulsiones asfálticas. El mezclado se puede efectuar In Situ‖ o en plantas mezcladoras fijas Rodríguez y Rodríguez (2004).

2.3.2 Mezclas Asfálticas en Caliente.

Es una mezcla completa de agregados gruesos, finos y un ligante bituminoso. Estos materiales son combinados en una planta de mezclado, donde son calentados, proporcionados y mezclados para producir una mezcla homogénea Rodríguez y Rodríguez (2004).

Las mezclas asfálticas en caliente se caracterizan por estar diseñadas, fabricadas y colocadas de tal forma que se consigan las propiedades deseadas. Posee diversas propiedades como la estabilidad, durabilidad, impermeabilidad, trabajabilidad, flexibilidad, fatiga y resistencia al deslizamiento, las mismas que contribuyen a la calidad del pavimento. El objetivo fundamental del proceso de diseño es asegurar que la mezcla posea todas estas propiedades, además es crucial comprender la importancia, evaluación y la presentación de cada una de estas propiedades con relación al desempeño del pavimento Páez & Valarezo (2015).

2.3.3 Macadam Asfáltico.

Es el tipo más antiguo de los pavimentos para carreteras actualmente en uso. El Macadam Asfáltico, por penetración consiste en una base o una superficie de rodamiento de piedra triturada o escoria de un solo tamaño en la que los fragmentos están ligados con asfalto. Se emplea como capa superficial para caminos de tránsito medio a pesado, pero para caminos de tránsito pesado ha sido sustituido por el concreto asfáltico. Para su construcción puede ser utilizado cemento asfáltico y asfalto emulsionado o uno de los grados más pesados de los alquitranes para caminos Rodríguez y Rodríguez (2004).

2.4 CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DEL AGREGADO

2.4.1 Agregado grueso.

El agregado grueso, como ripio o grava, se refiere a la porción del material con características pétreas cuyo tamaño sea más de 5 mm. Este tipo de material puede ser de origen natural u obtenido en minas tras trituración de rocas. Para mezclas asfálticas, se prefiere realizar el estudio utilizando un agregado proveniente de plantas trituradoras para garantizar una uniformidad adecuada durante el proceso de mezclado, facilitando de esta manera la manipulación y aplicación. Jiménez (2016)

2.4.2 Agregado fino.

El agregado fino es el resultado de la trituración de rocas, canteras o de las orillas de los ríos, se define como un material de pequeñas partículas que pasa el tamiz N° 4 y es retenido en el tamiz N° 200. Jiménez (2016).

2.4.3 Agregado mineral o filler.

El filler es el material que pasa a través del tamiz N° 200. Su inclusión en la mezcla contribuye a la estabilidad y trabajabilidad. No obstante, si el porcentaje que pasa el tamiz 200 excede los límites, puede resultar en un distanciamiento desigual del agregado grueso, afectando la capacidad de compactación. Una de las principales funciones y beneficios de este material es la disminución de cantidad de vacíos que existe en la mezcla aumentado la estabilidad, de la misma forma ayuda a graduar la distribución de los diferentes agregados gruesos en la mezcla. Jiménez (2016).

2.5 GRADACIÓN DEL AGREGADO

La correcta gradación del agregado es crucial para la calidad de la mezcla asfáltica, especialmente considerando que más del 90% de la mezcla consiste en agregados. Estos deben tener propiedades adecuadas para conferir a la mezcla asfáltica características óptimas. Los agregados incluyen partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, entre otros. Es esencial que cumplan con los requisitos establecidos en la tabla 5 basada en las Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes del MTOP, siendo clasificados como "A", "B" o "C" según lo especificado, para conferir a la mezcla propiedades óptimas. Jiménez (2016).

El (MTOP, 2002) a partir de la Tabla 6 determina la siguiente clasificación de los agregados para mezcla en planta:

- ✓ **Agregado tipo A:** material donde todas las partículas que conforman el agregado grueso son obtenidas mediante trituración, por otro lado, el fino

puede ser arena natural, si es necesario se puede agregar relleno mineral para satisfacer las exigencias de graduación.

- ✓ **Agregado tipo B:** aquellos que al menos el 50% de las partículas del agregado grueso han sido obtenidas por trituración. El agregado fino y filler pueden ser provenientes de depósitos naturales.

- ✓ **Agregado tipo C:** material originario de depósitos naturales o trituración, siempre y cuando la estabilidad se haya verificado mediante ensayo Marshall y cumpla con las especificaciones de la Tabla 7.

Tabla 6

Requisitos granulométricos

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4”	**1/2”**	**3/8”**	**N°4**
1” (25,4 mm)	100	-	-	-
3/4” (19,0 mm)	90 - 100	100	-	-
1/2” (12,7mm)	-	90 - 100	100	-
3/8” (9,5 mm)	56 - 80	-	90 - 100	100
N° 4 (4,76 mm)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 -100
N° 8 (2,36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
N° 16 (1,18 mm)	-	-	-	40 - 80
N° 30 (0,60 mm)	-	-	-	25 - 65
N° 50 (0,30 mm)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
N° 100 (0,15 mm)	-	-	-	3 - 20
N° 200 (0,075 mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Nota. Especificaciones (MTOP, 2002)

Tabla 7

Límites de estabilidad mediante ensayo Marshall

Ensayos de acuerdo con el método Marshall	TRÁFICO					
	PESADO		**MEDIO**		**LIVIANO**	
	Mín	**Máx**	**Mín**	**Máx**	**Mín**	**Máx**
N° de golpes	75		50		35	
Estabilidad (lb)	1.800	-	1.200	-	750	-
Flujo (in/100)	8	16	8	18	8	20
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Nota. Especificaciones (MTOP, 2002)

2.6 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Las propiedades de los agregados según Espinoza (2019), se pueden categorizar de dos maneras, las propiedades individuales de cada agregado que se utilizarán para la mezcla asfáltica, y las propiedades que cumplen en conjunto una vez concretada la mezcla, a continuación, se detalla cada una:

2.6.1 Propiedades Individuales.

Los agregados por si solos tienen propiedades físicas macroscópicas tales como la dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Así mismo tienen propiedades químicas como solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.6.2 Propiedades en conjunto.

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como una sola estructura. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va a influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.7 ASFALTO

El asfalto es una sustancia betuminosa, un material compuesto principalmente de agregados del petróleo, constituido por asfáltenos, resinas y aceites, los cuales le proporcionan al asfalto características físicas óptimas para el diseño de pavimentos como la consistencia, ductilidad y aglutinación Silvestre (2017).

Es un material plástico que brinda flexibilidad controlable a las mezclas de agregados convencionales. Además, es muy resistente a la mayoría de los ácidos, álcalis y sales. Es un sólido o semisólido a temperatura ambiente, pero su

consistencia cambia rápidamente mediante la aplicación de calor, la acción de disolventes de diferente volatilidad o por emulsificación Olua y Salamanca (2021).

2.7.1 Propiedades Físicas.

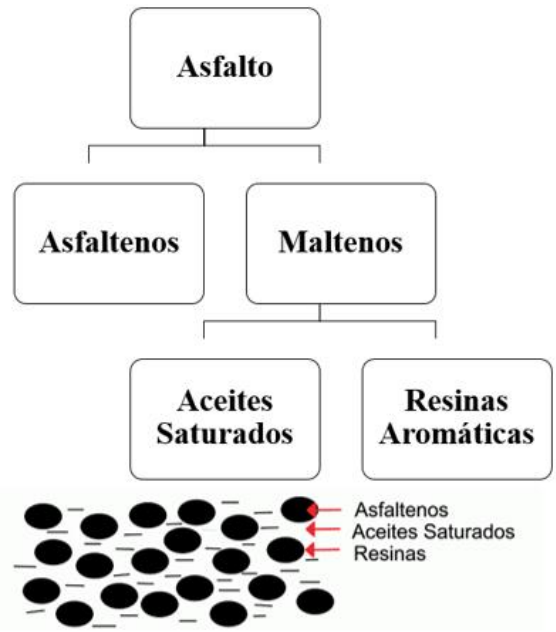
El asfalto es un material bituminoso semisólido a temperatura ambiente con propiedades aglutinantes, derivado de hidrocarburos naturales por destilación, contiene pequeñas cantidades de productos volátiles. Este es un material dúctil. Es decir, su comportamiento está directamente relacionado con la temperatura y la constante aplicación de cargas, con deformaciones elásticas (recuperables) y dúctiles (no recuperables) Olua y Salamanca (2021).

2.7.2 Propiedades Químicas.

Los hidrocarburos forman parte del asfalto, forman una solución líquida con un grupo de moléculas de hidrocarburos pesados (asfalto) dispersas en un medio aceitoso ligero (martene) formado por hidrocarburos saturados, resinas y compuestos aromáticos Olua y Salamanca (2021).

Figura 4

Composición del asfalto



Nota. Tomada de (Olua & Salamanca, 2021)

2.8 ASFALTOS MODIFICADOS

La alteración del asfalto constituye una técnica innovadora para optimizar la eficiencia de los asfaltos en la construcción de carreteras y caminos. Este método implica la introducción de polímeros en los asfaltos convencionales con el propósito de mejorar las propiedades mecánicas, en específico su resistencia a deformaciones causadas por el tráfico vehicular y condiciones climáticas. La modificación busca obtener ligantes con mayor viscosidad a altas temperaturas para de esta manera reducir deformaciones permanentes, incrementar la rigidez de las capas de rodadura y disminuir las fisuras a bajas temperaturas y por fatiga, mejorando la elasticidad del asfalto, y lograr un ligante con propiedades adhesivas superiores Wulf (2008).

El uso de asfaltos modificados con polímeros extiende la vida útil del pavimento de dos a tres veces, con un aumento de hasta el 25% en el costo de la mezcla asfáltica. Aunque los asfaltos convencionales muestran propiedades satisfactorias en distintas condiciones, el crecimiento del tráfico y las cargas requiere una optimización de inversiones. En casos específicos, las propiedades convencionales resultan insuficientes, como en deformaciones por tráfico canalizado a altas temperaturas. En consideración a las situaciones previamente expuestas, además de optar por nuevas tecnologías en la construcción y de los materiales, una solución eficaz y evidente fue fortalecer ciertas características de los asfaltos convencionales para lograr una mejora en los pavimentos. Esto dio paso a nuevos asfaltos denominados asfaltos modificados. Existen asfaltos modificados por: (i) Elastómeros; (ii) Plastómetros; (iii) Otros.

En otros países, además de los asfaltos modificados con polímeros emplean asfaltos especiales y multigrados o también llamados de alto índice. Los polímeros del tipo SBS son los más utilizados, posteriormente las preferencias son por los plastómeros del tipo EVA, sin embargo, los asfaltos especiales no son tan utilizados por lo cual no han alcanzado el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros, pero tienen buena perspectiva de crecimiento con el paso de los años, E-Asphalt, (s/f).

Existen dos métodos de incorporar un polímero o aditivo 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 Cosio y La Torre (2021).

2.9 POLÍMEROS

2.9.1 Definición de polímeros.

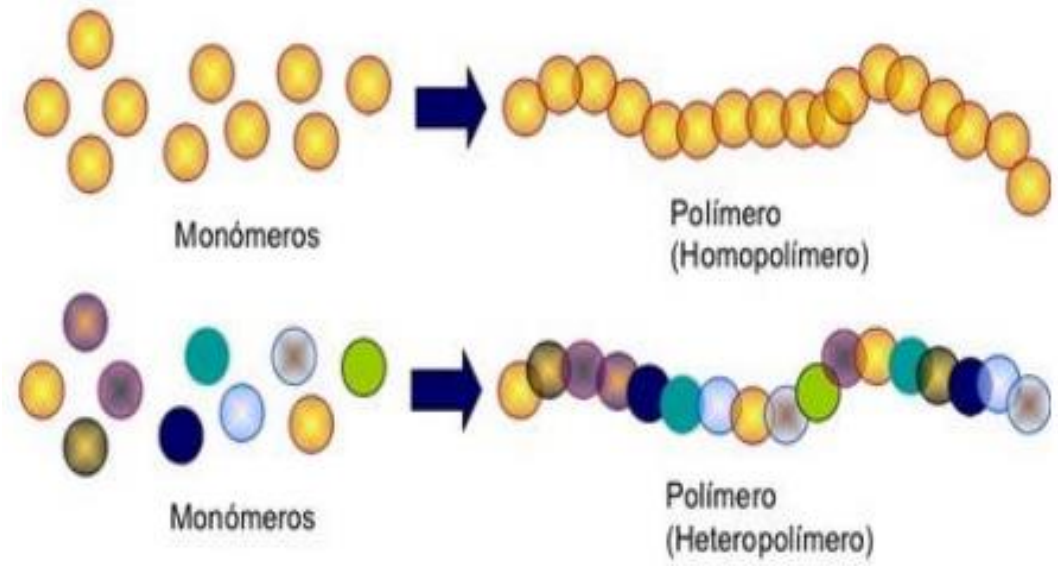
Los polímeros son sustancias de alto peso molecular que se forman a partir de la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos de moléculas simples). Estas forman moléculas mucho más grandes que toman diversas formas: cadenas con forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no se pueden ablandar al ser cometidas a calor, cadenas largas y sueltas Maxil y Salinas (2006).

De acuerdo con Castro (2021), se enfoca la atención en modificadores poliméricos que han obtenido resultados eficientes, los cuales se enlistan a continuación: (i) **Homopolímeros:** tiene una sola unidad estructural (monómero); (ii) **Copolímeros:** tiene más de una unidad estructural distintas (EVA, SBS); (iii) **Elastómeros:** tiene deformaciones casi plásticas con poca elasticidad, es decir que no vuelve a su longitud original.

El principal propósito al añadir polímeros en el betún es mejorar su reología, buscando: (i) Reducir la vulnerabilidad térmica, disminuyendo la fragilidad en climas fríos y aumentando la cohesión en climas de temperaturas más altas; (ii) Minimizar la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga; (iii) Reforzar la resistencia a deformaciones permanentes y roturas en una gama más extensa de temperaturas, tensiones y períodos de carga; (iv) Optimizar la adhesión a los agregados.

Figura 5

Procedimiento de polimeración



Nota. Las macromoléculas pueden estar formadas por un mismo o por distintos monómeros. Tomado de (Castro, 2021)

2.9.2 Polietileno Tereftalato.

El Polietileno Tereftalato (PET), originalmente patentado como un polímero para fibra en 1941, este hecho marcó el inicio de la producción comercial de fibra de poliéster en 1951. Desde entonces, la evolución tecnológica ha llevado al PET a alcanzar niveles destacados de calidad y diversificación en sus aplicaciones. A partir de 1976, se ha utilizado en la fabricación de envases especialmente para bebidas, inicialmente gruesos y rígidos, actualmente han evolucionado hacia versiones ligeras, transparentes y duraderas sin comprometer sus excelentes propiedades. Es un plástico de alta calidad y una gran ventaja es que es 100% reciclable Hachi & Rodríguez (2010).

Es un polímero plástico que se elabora a partir de un proceso de polimeración de ácido tereftálico y monoetilenglicol. Este material se fabrica en diferentes formas y puede transformarse mediante distintos procesos de extrusión, inyección e incluso por termoformado. En la actualidad, el material acrílico PET se convierte en uno de los termoplásticos más rígidos y resistentes del mercado, siendo la transparencia y la cristalinidad una de sus características más preciadas. Servei Estació (s/f)

2.9.3 Características y propiedades generales del Polietileno Tereftalato.

Según la visión de Envaselia S.L (s/f) se puede describir lo siguiente: (i) Resistente al desgaste y al plegado; (ii) Sirve como barrera contra el CO^2; (iii) Aceptable a oxígeno y humedad; (iv) Resistencia química alta; (v) Estabilidad térmica ante deformaciones; (vi) Transparente y cristalino, solo admite ciertos colorantes; (vii) Ligero; (viii) Reciclable al 100%.

Tabla 8

Propiedades del PET

PROPIEDADES FÍSICAS		**PROPIEDADES MECÁNICAS**	
Absorción de agua – Equilibrio (%)	mayor a 0,7	**Coeficiente de fricción**	0,2 – 0,4
Densidad (g/cm^3)	1,3 – 1,4	**Dureza – Rockwell**	M94 – 101
Índice refractivo	1,58 – 1,64	**Resistencia a la tracción (Mpa)**	190 – 160
Inflamabilidad	Autoextinguible	**Resistencia al impacto (Jm^{-1})**	13 - 35
Resistencia a los ultravioletas	Buena		

Nota. Tomada de Hachi & Rodríguez (2010)

2.10 ENSAYOS DE LABORATORIO

Tradicionalmente, los procedimientos para el control de la calidad (QC) y el aseguramiento de la calidad (QA) de la mezcla asfáltica que se fabrica en planta en Ecuador se limitan a la verificación de la composición de la mezcla y la comprobación de ciertos parámetros volumétricos y resistentes previstos en el diseño Marshall. Los parámetros volumétricos más comunes son: densidad, porcentajes de vacíos con aire en la mezcla, porcentajes de vacíos en el agregado mineral y porcentajes de vacíos rellenos de asfalto. Los parámetros resistentes, relacionados específicamente con la deformación plástica, son la estabilidad Marshall y el flujo. Vila y García (2014).

2.10.1 Granulometría.

El ensayo de granulometría evalúa la distribución de tamaño de las partículas en agregados finos y gruesos mediante el tamizado. Algunas especificaciones relacionadas con este método establecen los requisitos de gradación para ambas fracciones, esta norma incluye instrucciones para el análisis con tamices de dichos agregados. Los resultados de la granulometría pueden ofrecer información sobre la porosidad y disposición de las partículas. Sin embargo, para materiales más finos que la malla 75 µm que se refiere al material retenido en el tamiz N° 200, se aconseja emplear el método de lavado ASTM C 117, en cambio, para agregados de alta densidad, se recomienda consultas los métodos de ensayo ASTM C637. ASTM C-136 (s/f)

La granulometría del material pétreo que es destinado para la mezcla asfáltica de granulometría densa debe ajustarse a las características establecidas en la norma correspondiente. Posteriormente, tras realizar el análisis granulométrico, se debe crear una representación gráfica de los resultados, utilizando comúnmente el método de Semilogarítmica o la de Fuller. Es importante destacar que antes de elegir la granulometría, es crucial definir el tamaño nominal de la mezcla de materiales Delgado (2023).

2.10.2 Abrasión.

Este ensayo está estandarizado por la norma ASTM C-131, tiene como propósito analizar el desgaste del agregado grueso menor a 1 ½ pulgada (37,5 mm.). Implica en medir la degradación de los agregados resultantes de diversas acciones como abrasión, impacto y fricción de las esferas dentro de la máquina de Los Ángeles, La cantidad de esferas que se utilizan en este ensayo, depende según la gradación del material sometido a prueba. El ensayo de Abrasión desempeña un papel fundamental en la verificación de la calidad de los agregados, con más importancia si son usados en la producción de hormigón Facultad de Ciencias y Tecnología (UMSS) (s/f)

2.10.3 Gravedad específica.

Este ensayo busca calcular la gravedad específica y la absorción del agregado grueso. La gravedad específica, una magnitud sin dimensiones, varía según el método utilizado (SH, seca en horno, saturada y superficialmente seca). La densidad relativa seca en horno se determina después de secar la muestra, mientras que la densidad relativa y la absorción de SSD se obtienen al sumergir la muestra en agua durante un periodo específico. Estos procedimientos se rigen por el estándar ASTM-C128 y la norma AASHTO T85 para agregados fino y grueso, respectivamente.

Dentro del estudio de mezclas asfálticas podemos mencionar en concreto tres tipos de gravedades específicas, que son de mucha importancia dentro del diseño, estas gravedades se describen a continuación: (i) **Gravedad Específica Seca Bulk:** incluye todos los poros de agua absorbida de una muestra; (ii) **Gravedad Específica Aparente:** excluye el agua absorbida de los poros y espacios capilares, que se llenarían al ser saturada en agua la muestra; (iii) **Gravedad Específica Efectiva:** excluye el volumen de cemento asfáltico absorbido por los poros y espacios capilares de la muestra.

La densidad relativa o gravedad específica, se establece como la relación entre la densidad de las partículas del agregado y la densidad del agua, además la densidad relativa aparente se refiere al material sólido de las partículas constituyentes excluyendo el espacio poroso dentro de las partículas que es accesible al agua. Por otro lado, los valores del ensayo de absorción determinan la variación en la masa de un agregado causada por la absorción de agua en los espacios porosos dentro de las partículas que lo componen, se calcula comparando la condición seca, considerando que el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para satisfacer la mayor parte de su potencial de absorción.

El método de prueba inicia tomando una muestra de agregado la cual se sumerge en agua durante 24 h aproximadamente para llenar esencialmente los poros, posterior a ello, se retira del agua y es pesada. Seguido, se determina el volumen de la muestra por el método de desplazamiento del agua, hasta que

finalmente la muestra es secada al horno y se obtiene la masa. Usando los resultados de masa obtenida y las fórmulas en este ensayo, es posible calcular la densidad relativa o también llamada gravedad específica y la absorción. Cruz (s/f).

2.10.4 Marshall - Estabilidad y flujo.

El método Marshall se utiliza para el diseño de mezclas asfálticas en caliente a nivel mundial. Esta prueba está normalizada como ASTM D 1559. Este ensayo otorga importancia a las propiedades de densidad/vacíos del material asfáltico. El análisis garantiza que las proporciones de los agregados y el aglutinante se encuentren dentro de los rangos establecidos, asegurando así que la mezcla asfáltica en caliente sea duradera Flores (s/f) .

Una máquina de ensayo Marshall con un sistema eléctrico ha sido diseñada para aplicar cargas a las muestras mediante pesas de ensayo semicirculares. Esta máquina incluye un calibrador con un anillo para determinar la carga de ensayo, un marco de carga para realizar el ensayo de estabilidad y un medidor de flujo para medir la deformación bajo la carga máxima de ensayo. Asimismo, se dispone de un baño de agua con una profundidad mínima de 15 cm (6"), equipado con un termostato para mantener una temperatura constante de 60 ºC ± 1 ºC.

Después de determinar el Peso Específico Bulk de la mezcla compactada, se realizan los ensayos de estabilidad y fluencia siguiendo estos pasos:

a. Ajustar el cero del flujómetro montado en uno de los guiadores, introduciendo la mordaza de 4" debajo del pivote.

b. Sumergir la briqueta en un baño de agua a 60 ºC durante 30 minutos.
c. Limpiar y lubricar las guías para asegurar el deslizamiento correcto del anillo de prueba. La temperatura de la mordaza debe mantenerse entre 21 y 37,8 ºC.

d. Retirar la muestra del agua, colocarla en la mordaza y aplicar la carga de ensayo a una velocidad constante de 51 mm/min hasta que se produzca la

falla. La carga máxima representa la estabilidad Marshall, y la deformación vertical es el valor de flujo.

e. Durante el ensayo, sostener firmemente el medidor de flujo y retirarlo cuando la carga comience a disminuir, registrando el valor de flujo.

f. Calcular el promedio de los valores de estabilidad y flujo para todas las muestras con cada contenido de ligante.

Es importante tomar en cuenta que, las pruebas no deben extenderse más de 30 segundos desde la extracción del agua Cueva del Ingeniero Civil (s/f).

2.10.5 Rice.

La evaluación de las propiedades volumétricas de la mezcla es crucial para determinar su idoneidad para su uso. Un requisito esencial para obtener estos valores es la determinación de la densidad máxima teórica, lo que implica establecer controles de calidad durante la producción y colocación de la mezcla asfáltica. En el proceso de elaboración, se determina el peso de los agregados de acuerdo con la tabla especificada en la norma. La granulometría del material a ensayar tiene un tamaño máximo nominal de ¾". Desde un enfoque técnico, se recomienda tomar un valor cercano a 2000 gramos Estrella y Paucar (2021).

El procedimiento según Morocho (2014) para llevar a cabo el ensayo implica lo siguiente:

a. La calibración del recipiente volumétrico, usando un picnómetro para determinar el peso en el aire y establecer con precisión el peso del agua a temperatura ambiente.
b. Después, se realiza la separación manual de las partículas minerales, y la muestra se enfría a 25 °C, y se pesa el recipiente con la muestra para obtener el peso de mezcla suelta.

c. Se agrega la cantidad suficiente de agua para cubrir completamente la muestra a 25 °C, y se sella herméticamente el picnómetro al vacío.

d. Se introduce el picnómetro con la muestra y el agua en un dispositivo de agitación mecánica, donde el aire atrapado se elimina progresivamente mediante la aplicación controlada de vacío durante 15 minutos, ajustando la presión con la válvula correspondiente.

e. Después de eliminar el aire atrapado en la muestra, se procede de la siguiente manera, se calcula el peso en el aire al verter agua gradualmente en el picnómetro, se registra la temperatura del agua en el picnómetro con la ayuda de un termómetro, se llena completamente el picnómetro y se cubre con una placa de vidrio para evitar la entrada de aire debajo de ella, se eliminan posibles residuos de humedad del exterior del picnómetro y de la placa.

f. Por último, se determina el peso total del picnómetro + agua + material restando la masa del picnómetro + placa y su contenido lleno de agua.

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Tipo.

El tipo de investigación del proyecto es: aplicada, según Rojas y Ramírez (2023), el enfoque de esta investigación está dirigido a propósitos prácticos correctamente definidos, es decir, que los resultados buscan transformar y mejorar las propiedades de un mecanismo ya existente en algún sector.

El ser de tipo aplicada se refiere a que se puede utilizar conocimientos previamente adquiridos en la carrera de ingeniería civil, sobre todo en la rama de diseño de pavimentos, y buscar añadir un valor agregado a las mezclas convencionales mediante la aplicación de un polímero a partir de plástico reciclado, y así mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla.

3.1.2. Nivel.

El enfoque de investigación de este proyecto se centra en el aspecto descriptivo. Con este enfoque, se busca analizar el comportamiento de una briqueta de asfalto convencional para determinar sus propiedades mecánicas y definir diversos aspectos que permitirán verificar su conformidad con las normativas de diseño y su aptitud para su implementación efectiva.

Una vez que se han establecido las propiedades mecánicas de la mezcla convencional, se procede a determinar las propiedades de una mezcla que incorpora PET reciclado. Se describirá su comportamiento mediante ensayos similares, con el fin de evaluar si cumple con los parámetros de diseño requeridos para una propuesta de carpeta asfáltica y si es adecuada para su implementación en obras.

3.2 MÉTODO, ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Método.

El método del proyecto es comparativo, pues se busca mediante ensayos de laboratorio, comparar las diferentes propiedades mecánicas entre varios juegos de briquetas de asfalto usando mezclas convencionales diseñadas con diferentes porcentajes de cemento asfáltico, y otros juegos de briquetas diseñadas con los mismos porcentajes de cemento asfáltico, pero incorporándoles PET reciclado al aglutinante trabajando dos alternativas, una en donde se reduzca el betún y se compense con PET, y otra alternativa en donde no se reduzca betún y se adicione PET a la mezcla asfáltica.

3.2.2 Enfoque.

El enfoque de esta investigación es de carácter mixto, en donde se planteará resultados de manera cualitativa en cuanto a las características y propiedades presentes entre los juegos de briquetas convencionales y los juegos de briquetas modificadas con PET reciclado, y de manera cuantitativa presentar que tanto han cambiado las propiedades mecánicas de ambos diseños de carpetas asfálticas para de esta forma verificar si conviene modificar un diseño de mezcla o mantener la propuesta de las mezclas convencionales.

3.2.3 Diseño.

Se aplica el diseño de investigación experimental pues, en la provincia de Santa Elena no se acostumbra a trabajar con mezclas modificadas, y así tratar de ver la conveniencia de la aplicación de esta propuesta de manera eficaz y segura. Para de esta forma poder dar a conocer una nueva propuesta de diseño de pavimento flexible modificado dentro de la región, comenzando con la implementación de este método dentro de la provincia de Santa Elena.

3.3 POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1 Población.

Arias Gómez et al. (2016), mencionan que la población de estudio abarca casos particulares, que pueden ser individuos, animales, registros u otros, y sirve como punto de partida para seleccionar la muestra en una investigación. Al definirla, es crucial no limitarse únicamente a seres humanos, ya que también puede abarcar animales, objetos u organizaciones. Identificar con precisión la población es fundamental, dado que, al investigar una muestra de esta población, los resultados pueden aplicarse a toda la población. De esta manera, la población del presente estudio de investigación son las briquetas de mezcla asfáltica con adición de Polietileno Tereftalato como polímero.

3.3.2 Muestra.

López (2004) afirma que una muestra se refiere a una porción o segmento del conjunto total o población que será objeto de estudio. Existen métodos y técnicas para determinar el tamaño de la muestra, que incluyen fórmulas y lógica, entre otros. La muestra debe ser representativa de la población en cuestión.

Bajo este concepto, se llevaron a cabo 15 muestras, que consisten en briquetas hechas de mezcla asfáltica convencional y briquetas con distintos niveles de adición del polímero, en este caso, el Polietileno Tereftalato (PET). Estas muestras se emplearon para analizar las propiedades mecánicas tanto de las muestras convencionales y las que fueron modificadas con PET.

3.3.3 Muestreo.

Hernández y Carpio (2019) consideran que el muestreo es esencial en la investigación al permitir explorar una representación de una población sin grandes recursos. La elección del método de muestreo depende de si la población es infinita o grande y finita, o si hay limitaciones de tiempo y recursos. El muestreo se divide

en probabilístico para representatividad y no probabilístico para investigaciones cualitativas. Existen varios tipos de muestreo, cada uno con sus ventajas y desafíos, según el tipo de investigación y recursos disponibles. En esta investigación se destinó como muestreo 4 briquetas de mezcla asfáltica modificada con PET.

3.4 METODOLOGÍA DEL OE. 1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA OBTENER UNA FÓRMULA DE TRABAJO ÓPTIMA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

La finalidad de esta propuesta es comparar las propiedades de dos alternativas de mezclas asfálticas en caliente, a partir de una modificación a la composición del aglutinante con la adición de un polímero y posterior realizar la mezcla con agregados previamente estudiados para optimizar una fórmula de trabajo con la que realizaremos las briquetas de mezcla asfáltica. Para llevar a cabo esta investigación se solicitó 40 kg de muestras de 3 tipos de materiales a la Constructora Morocho, piedra 3/4, piedra cisco 3/8, y arena; posteriormente se realizaron los ensayos de granulometría (ASTM C136), gravedad específica grueso y fino (ASTM C127-128) y abrasión de Los Ángeles (ASTM C131).

Figura 6

Ubicación de la empresa CM Construcciones S.A.

Nota: Extraído de Google Maps.

3.4.1 Propiedades de los agregados.

Los agregados, tanto finos como gruesos, destinados a la elaboración de las briquetas de asfalto, ya sean convencionales o modificadas, son sometidos a ensayos en el laboratorio con el fin de verificar sus propiedades y resistencia. Este proceso se lleva a cabo de manera rigurosa, siguiendo las normas ASTM (Sociedad Estadounidense de Pruebas y Materiales en inglés), que proporcionan pautas y recomendaciones en cuanto a cantidades y especificaciones.

Una vez finalizados estos ensayos, se procede a tabular los valores obtenidos para cada material. Aunque las normas ASTM ofrecen especificaciones detalladas sobre cómo realizar los ensayos, la determinación de la idoneidad de los materiales se realiza mediante la guía MOP-001F-2002. Esta guía establece los valores límites que deben cumplir estos materiales para garantizar el correcto desempeño de la carpeta asfáltica, incluyendo las tolerancias que cada agregado debe respetar.

3.4.2 Ensayo de granulometría.

Utilizando los agregados provenientes de la planta de la Constructora Morocho S.A., se lleva a cabo un proceso de granulometría conforme a las normas ASTM. En este procedimiento, se separan aproximadamente 3000 gramos de material, tanto grueso como fino, y se someten a tamizado a través de las mallas especificadas por la normativa. Los residuos retenidos en cada malla se almacenan en taras y se procede a su pesaje. Los resultados obtenidos se registran en la Tabla 9 y se comparan con los parámetros establecidos por la norma MOP-001F-2002.

Tabla 9

Especificaciones de pasantes de los tamices

Designación de la mezcla y tamaño máximo nominal del agregado.						
Tamaño del tamiz		**1 in (25,0 mm)**	**3/4 in (12,5 mm)**	**1/2 in (12,5 mm)**	**3/8 in (9,5 mm)**	**No. 4 (4,75 mm)**
1 1/2"	37,5 (mm)	100	…	…	…	…
1"	26,5 (mm)	90 - 100	100	…	…	…
3/4"	19 (mm)	…	90 - 100	100	…	…
1/2"	12,5 (mm)	56 - 80	…	90-100	100	…
3/8"	9,5 (mm)	…	56-80	…	90-100	100
No. 4	4,75 (mm)	29 - 59	35-65	44-74	55-85	80-100
No. 8	2,36 (mm)	19 - 45	23-49	28-58	32-67	65-100
No. 16	1,18 (mm)	…	…	…	…	40-80
No. 30	0,6 mm	…	…	…	…	25-65
No. 50	0,3 mm	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40
No.100	0,15 mm	…	…	…	..	3-20
No.200	0,075 mm	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10
Betún, % en peso de la mezcla total						
Rango		3-9	4-10	4-11	5-12	6-12

Nota: Extraído de *manual de la institución asfáltica de mezclas asfálticas en caliente, Serie No.22, 2nd edición.*

Figura 7

Muestras de agregados finos y gruesos para tamizar

Nota. Ensayo realizado en el laboratorio de suelos UPSE

3.4.3 Ensayo de gravedad específica agregado grueso.

En la ejecución del ensayo de gravedad específica aplicado al material grueso, se seguirán las directrices establecidas por las normas ASTM C127 y AASHTO T85. Estas normativas proporcionan las cantidades recomendadas para cada tamaño nominal de material; en este caso, se trata de piedra ¾, con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm. Según la Tabla 10, se especifica una cantidad mínima de muestra para el agregado; sin embargo, por motivos de conservadurismo en los datos, se opta por trabajar con una cantidad aún mayor para obtener resultados más precisos.

Tabla 10

Cantidades mínimas para ensayo de gravedad específica

Tamaño nominal, mm(pulg)	Masa mínima de la muestra, gr.
12,5 (1/2)	2000
19,0 (3/4)	3000
25,0 (1)	4000
37,5 (1 1/2)	5000

Nota: Extraído de ASTM D75.

El agregado grueso extraído de la planta se somete a un proceso de tamizado mediante el tamiz N°4, conservando el material retenido. De este modo, se obtiene una muestra de 5200 gramos de agregado. Esta cantidad de material se lava manualmente hasta que el agua resultante esté completamente limpia y libre de impurezas. Posteriormente, el material lavado se coloca en un horno a una temperatura de 110°C ± 5°C durante 1 hora, seguido por un periodo de remojo de 24 horas.

Tras las 24 horas de remojo, el material se seca manualmente con la ayuda de una franela seca. De esta manera, se obtiene la muestra saturada superficialmente seca (S.S.S), cuyo peso se estima en aproximadamente 5000 gramos. Este valor se registra para su uso en cálculos posteriores, como se ilustra en la Figura 8.

Figura 8

Material y equipo para ensayo de gravedad específica material grueso

Nota. Ensayo realizado en el laboratorio de suelos UPSE

La muestra pesada se colocará dentro de la canastilla con malla N°4 adecuada para el ensayo, la misma que deberá ser sumergida en un balde de agua y suspendida desde la plataforma propia para el ensayo de gravedad específica, se registra el peso de la canastilla sumergida y se tabulará el valor, se coloca toda la muestra S.S.S dentro de la canastilla y se anotará el peso de la muestra S.S.S sumergida. Finalmente se retira en una tara grande y es colocada dentro del horno para obtener el peso de la muestra seca.

3.4.4 Ensayo de gravedad específica agregado fino.

Para llevar a cabo la determinación de la gravedad específica aparente y Bulk del agregado fino, se seguirán las normativas de diseño ASTM C128 y AASHTO T84. Se utilizará aproximadamente 1000 gramos de material para cada ensayo. La muestra se someterá a un proceso de secado en un horno a 110°C ± 5°C durante 1 hora, seguido de un período de remojo en una tara por 24 horas.

Una vez transcurridas las 24 horas de remojo, se retirará cuidadosamente el agua de la tara, asegurándose de minimizar el desperdicio de material. El material

retenido se dispersará uniformemente sobre una tabla de madera, ubicada en el exterior del laboratorio y expuesta a la luz solar, hasta garantizar que el material esté completamente seco.

Con el material completamente seco, se colocará en un cono con el radio mayor en la parte inferior y se compactará con un pisón metálico mediante 25 golpes. Estos golpes pueden distribuirse en hasta tres etapas por capas, para asegurar que el material esté listo para el ensayo de gravedad y absorción. Posteriormente, se retira el cono y el material caerá por gravedad; la diferencia de altura no debe superar los 5 mm con respecto a la altura del cono. En caso de que la diferencia de altura supere los 5 mm al retirar el cono, indicando que la muestra se ha secado más de lo permitido, se deberá añadir agua y repetir el proceso hasta que la muestra cumpla con la caída permitida, asegurando así que el material esté en condiciones óptimas para el ensayo.

Una vez verificado que la muestra está en condiciones adecuadas, se pesarán 500 gramos de material en condición saturada superficialmente seca, como se muestra en la Figura 9. La muestra se colocará en un matraz, se verterá agua hasta la marca presente, y se aplicarán golpes para eliminar posibles vacíos de aire atrapados en la muestra. Luego, se registrará el peso del matraz con la muestra y el agua para su tabulación en cálculos posteriores. Posteriormente, se retirará la muestra en una tara y se introducirá en el horno durante 24 horas a 100°C ± 5°C para obtener un material completamente seco.

Figura 9

Muestreo de arena y fino de cisco

Nota. Ensayo realizado en laboratorio de suelo UPSE

3.4.5 Ensayo Abrasión por medio de la máquina de los Ángeles.

Para realizar este ensayo, se seguirán las normativas ASTM C131-535 y AASHTO T96, que miden el porcentaje de desgaste que experimentaría un material bajo esfuerzo constante. En este proyecto, se ha realizado un estudio del desgaste de la piedra ¾ y del material grueso proveniente de Cisco, como se ilustra en la Figura 11. Este análisis es crucial, ya que los agregados estarán expuestos a esfuerzos continuos causados por el tráfico vehicular. Se empleará el equipo de abrasión, detallado en la Figura 10, que consta de un tambor giratorio, esferas de acero de aproximadamente 390 y 445 gramos, y con un diámetro de 46,8 mm. Basándose en el estudio granulométrico, se aplicarán los métodos de ensayo A, B, C y D para evaluar el desgaste del material.

Figura 10

Equipo y material para ensayo de abrasión de Los Ángeles

Nota: Tambor giratorio presente en el laboratorio de suelos UPSE

Figura 11

Equipo y material para ensayo de abrasión de Los Ángeles

El agregado con tamaño nominal ¾ retiene material al pasar por los tamices 1½ y 1 pulgada. Por lo tanto, se determina que el método A no es apropiado. Al tamizar por la malla de ¾ y retener en ½, se verifica que el método óptimo es el B, ya que también se observa que pasa por el tamiz de ½ y retiene en el ¼. Una vez identificado el método de trabajo, se procede a recolectar la cantidad de material necesaria, conforme a las pautas establecidas en la Tabla 11 de la norma ASTM C131.

Tabla 11

Cantidad de materiales a utilizar según la granulometría del material

DIAMETRO				**METODO**			
PASA TAMIZ		**RETENIDO EN TAMIZ**		**A**	**B**	**C**	**D**
N°	"mm"	N°	"mm"	Cantidad de material a emplear			
1 ½	37,50	**1**	25,00	1250±25			
1	25,00	**3/4**	19,00	1250±25			
3/4	19,00	**1/2**	12,50	1250±25	2500±10		
1/2	12,50	**3/8**	9,50	1250±25	2500±10		
3/8	9,50	**1/4**	6,25			2500±10	
1/4	6,25	**N°4**	4,76			2500±10	
N°4	4,76	**N°8**	2,38				5000±10
Total				5000±10	5000±10	5000±10	5000±10
Número de Esferas				12	11	8	6
Número de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación en "min"				15	15	15	15

Nota: Extraído de la norma ASTM C-131

Con el método de trabajo ya establecido y la cantidad de material adecuada recolectada tanto para la piedra ¾ como para el cisco, que según la norma es de 2500 gramos para cada material, se recomienda utilizar 3000 gramos. Esto se debe a que, previamente, la muestra debe someterse a un proceso de lavado y secado en horno, condiciones bajo las cuales el material pierde peso, y de esta manera se evitan posibles errores en los cálculos. Se pesan 3000 gramos de cada material y se procede con el lavado manual hasta que el agua esté completamente limpia. Una vez lavada, la muestra se lleva al horno durante 24 horas a una temperatura de 100°C ± 5°C hasta que esté completamente seca. Al retirarla del horno, se permite que repose hasta que se enfríe y luego se pesan los 2500 gramos exigidos por la norma para el ensayo.

Los 2500 gramos se introducen en el tambor giratorio junto con las esferas de acero. La cantidad de esferas introducidas al tambor se determinará según el método seleccionado para el trabajo. En este caso, para la piedra 3/4 se emplea el método B, por lo tanto, se introducirán 11 esferas. Para el material grueso del cisco, se utiliza el método C, y consecuentemente se introducen 8 esferas. En ambos casos, el tambor girará a 500 revoluciones durante 15 minutos.

Finalizados los 15 minutos, se retirará el material y las esferas del tambor giratorio. El material extraído se tamizará mediante la malla N°12, conservando todo el material retenido en este tamiz para pesarlo posteriormente. Este proceso ayudará a calcular la cantidad de material desgastado. La diferencia de peso se registrará y, posteriormente, se calculará el porcentaje de desgaste utilizando la siguiente fórmula.

$$\%desgate = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \cdot 100$$

Donde:

$P_{inicial}$= Peso del material antes del ensayo.

P_{final}= Peso del material después del ensayo.

%Desgaste= Porcentaje que sufrió el material.

Por norma cada material debe tener máximo 45% de desgaste, tomando en cuenta estos valores se puede deducir que el material es muy resistente y soporta las cargas. En caso de que el material tenga un desgaste mayor al 45% entonces se considera que el material no soporta las cargas y no es óptimo para la implementación en la mezcla.

3.4.6 Fórmula de trabajo para diseño de mezcla.

Respondiendo a las exigencias de las normas ASTM D3515 y MTOP, que rigen la incorporación de agregados en la mezcla y definen el tamaño máximo nominal, este proyecto se basa en la piedra de 3/4 de pulgada como referencia para dicho tamaño. Utilizando los datos derivados de los ensayos granulométricos y los porcentajes de pasantes en cada malla, se ajustan los porcentajes de agregados para alcanzar una curva granulométrica en conformidad con las normas, con la debida tolerancia. Este proceso asegura una fórmula de trabajo óptima para el diseño de briquetas, garantizando la calidad del proyecto y cumpliendo con las regulaciones establecidas.

Finalmente, se obtiene la fórmula de trabajo óptima para la mezcla y se verifica que la curva granulométrica esté dentro de los límites establecidos, considerando la tolerancia especificada por la norma MOP-001F-2002. A continuación, se procede al estudio de las briquetas de asfalto, las cuales están diseñadas principalmente para analizar la capa de rodadura de un pavimento flexible. Este diseño se realiza siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D6926, la cual proporciona indicaciones precisas sobre las cantidades y equipos que deben utilizarse durante el ensayo de compactación Marshall. Además, se llevará a cabo el ensayo de estabilidad y flujo, de acuerdo con las directrices de la normativa ASTM D6927.

3.4.7 Ensayo compactación Marshall.

Basándose en la fórmula de trabajo previamente obtenida, se determina que la elaboración de las briquetas de asfalto en caliente requerirá 750 gramos de cisco, 450 gramos de piedra ¾ y 300 gramos de arena. En este diseño, no es necesario

incorporar material mineral o filler, sumando un total de 1500 gramos de agregado para la mezcla. Para llevar a cabo los estudios de las briquetas de mezcla, se utilizarán 5 juegos de briquetas, cada uno compuesto por 3 briquetas, variando los porcentajes de asfalto utilizados: 5,5%, 6%, 6,5%, 7% y 7,5% con relación al peso de la briqueta.

Antes de iniciar el ensayo, es esencial adquirir diversos implementos, como cocineta eléctrica, ollas resistentes a altas temperaturas, un recipiente de aluminio, cucharas, mandil, guantes térmicos, termómetro, waype y gasolina. El proceso comienza calentando los agregados y mezclándolos hasta alcanzar una temperatura de 160°C, como se muestra en la Figura 12. Simultáneamente, en otra hornilla, se coloca una cuchara metálica para calentar y extraer una cantidad apropiada de cemento asfáltico, que se deposita en el recipiente de aluminio en otra hornilla. Dado que el cemento asfáltico es un aglutinante viscoso, requiere calor para adquirir una textura más líquida y manejable. Al llegar a 160°C, se pesa la cantidad de asfalto a utilizar para cada porcentaje en las briquetas y se incorpora al agregado.

Figura 12

Proceso de calentamiento del material bituminoso

Nota. El cemento asfáltico tipo AP3 es muy duro a temperatura ambiente, pero al contacto con el calor su viscosidad cambia

La mezcla resultante de asfalto y agregados se revuelve en la olla con movimientos envolventes, asegurándose de cubrir todos los agregados con el cemento asfáltico. Es crucial evitar dejar restos de asfalto sin absorber en cualquier parte de la olla, y la temperatura de la mezcla también debe mantenerse a 160°C, asegurándose de que la mezcla se realice con la hornilla encendida. Una vez alcanzada la temperatura indicada, se pesan 1200 gramos de la mezcla de agregados con asfalto en otra tara.

Se prepara el martillo de compactación junto con la base de madera, una base metálica, el molde metálico y el collarín. Antes de verter la mezcla, se coloca un círculo de papel recortado al tamaño interno del molde. Después de colocar el molde en la base de madera, se vierten los 1200 gramos de mezcla y se dan 25 golpes con una espátula pequeña en capas para dispersar uniformemente la mezcla y evitar vacíos excesivos en la briqueta. La mezcla restante se conserva aparte para el ensayo de Rice, y se coloca otro papel encima.

El martillo, una vez ensamblado en la base de madera, se coloca sobre el círculo de papel superior de la briqueta para comenzar la compactación. La cantidad de golpes por cara para compactar la briqueta se determina según las especificaciones en la norma MOP-001F-2002, dependiendo del tipo de tráfico a estudiar. En este caso, para un tráfico pesado, se realizan 75 golpes por cada cara, según la cantidad establecida en la tabla 11. Aunque esta parte del ensayo puede llevarse a cabo por una sola persona, es recomendable contar con un acompañante que sostenga el mango del martillo y lo fije a la base, mientras la otra persona se encarga de levantar y soltar el martillo realizando los 75 golpes por cada cara.

Una vez completada la compactación, se retira la briqueta de la base y se deja reposar. Este proceso se repite hasta completar los 5 juegos de briquetas. En caso de no contar con más moldes, el tiempo permisible para desmoldar una briqueta es de hora y media a dos horas. Al desmoldar, se deben retirar los restos de asfalto del molde para poder reutilizarlo en la fabricación de más briquetas.

3.4.8 Ensayo de gravedad específica.

Para determinar las gravedades específicas de las briquetas, se procede tomando los pesos de las muestras en el aire. Posteriormente, estas muestras se sumergen en un balde con agua durante 5 minutos. Luego, con la ayuda de una franela, se secan superficialmente, obteniendo así el peso de las muestras saturadas superficialmente secas (S.S.S). Después de registrar este peso, de manera similar a un ensayo de gravedad específica de agregado grueso, se calibra la balanza con la canastilla en la mesa metálica. Se sumerge la canastilla y se registra el peso, como se ilustra en la Figura 13. A continuación, se añaden una por una las briquetas, y se registra el peso sumergido de cada una de ellas.

Figura 13

Toma de pesos de las briquetas

Nota. Se toma el peso de la briqueta seca, S.S.S y sumergida

3.4.9 Ensayo de estabilidad y flujo.

En este ensayo, como se visualiza en la Figura 14, se empleará un baño de agua encendido, lleno con agua limpia, hasta que alcance una temperatura de 60°C. Una vez que la temperatura objetivo se haya alcanzado, se procederá a introducir las briquetas una por una en el baño. Es imperativo utilizar guantes de látex debido a la alta temperatura del agua. Las briquetas sumergidas deberán permanecer en el agua durante 30 minutos, y se debe verificar constantemente que la temperatura se

mantenga constante, sin aumentar ni disminuir. Durante este periodo de 30 minutos, también se deberá introducir la mordaza metálica en el horno.

Figura 14

Equipo para ensayo estabilidad y flujo

Después de transcurrido ese tiempo, se procederá a retirar la mordaza del horno. La briqueta se colocará en la parte inferior de la mordaza y, una vez debidamente posicionada, se coloca la parte superior de la mordaza. Luego, el conjunto se traslada a la máquina de carga, donde se llevará a cabo el ensayo. La máquina de carga proporcionará una lectura de carga en kilogramos, y sobre la mordaza se ubicará el dial que mostrará la lectura del flujo. Al activar la máquina, se aplicará carga sobre la briqueta hasta su ruptura. Se registrarán los datos de la carga ejercida, y se recomienda registrar la posición del dial para obtener lecturas posteriores al ensayo. En la Tabla 12 se detallan los parámetros según la MOP.

Tabla 12

Parámetros de diseño

TIPO DE TRAFICO	Muy pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	**Min.** **Max.**		**Min.**	**Max.**	**Min.**	**Max.**	**Min.**	**Max.**
No. Golpes/cara	75		75		50		50	
Estabilidad (lbs)	2200	----	1800	-----	1200	-----	1000	2400
Flujo (pulg/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% vacíos en la mezcla								
- Capa de rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa base	3	9	3	9	3	9	3	9
% vacíos agregados	Valores establecidos en la tabla 13							
Relac. Filler/betún	0,8	1,2	0,8	1,2				
% Estabilidad retenida luego de 7 días en agua temperatura ambiente								
- **Capa de rodadura**	70	---	70	-----				
- **Capa intermedia**	60	---	60	-----				
%Vacíos llenos de asfalto	65	75	65	75	65	78	70	80

Nota. Tomado de norma MOP-001F.2002

Tabla 13

Criterios Marshall para VMA

TMN, mm	VMA mínimo, %		
	Vacíos de aire de diseño, %		
	3,0	**4,0**	**5,0**
4,75	16	17	18
9,5	14	15	16
12,5	13	14	15
19,0	12	13	14

Nota. Tomado de norma MOP-001F-2002

3.4.10 Ensayo de gravedad específica teórica máxima.

En el ensayo de gravedad específica teórica máxima, o Rice, se seguirá la norma ASTM D2041. Esta norma establece el uso de muestras de mezclas sueltas, es decir, muestras que no han sido compactadas. La cantidad de material a utilizar está especificada en la misma norma y varía según el tamaño máximo nominal de la mezcla. Se pesará la cantidad de muestra suelta necesaria para llevar a cabo el ensayo, y las cantidades exactas se encuentran detalladas en la Tabla 14.

Tabla 14

Tamaño mínimo de muestra a ensayar

Tamaño máximo nominal del agregado en mm (pulg)	Muestra mínima (gr)
50,0 (2)	6000
37,5 (1/2)	4000
25,0 (1)	2500
19,0 (3/4)	2000
12,5 (1/2)	1500
9,5 (3/8)	1000
4,75 (N°4)	500

Nota. Tomado de norma ASTM D2041

El agregado seleccionado, con un tamaño máximo nominal de piedra 3/4, determina que la muestra a utilizar sea de 2000 gramos. Por esta razón, se empleará esta cantidad para cada porcentaje de asfalto en las briquetas. Dado que el peso total de las tres briquetas apenas alcanza los 900 gramos, se completará con material proveniente de la desmoronación de una briqueta previamente rota en el ensayo de estabilidad y flujo. Para este proceso, es necesario introducir la briqueta en el horno durante 30 minutos para ablandar el aglutinante, como se muestra en la Figura 15.

Figura 15

Recolección de muestra y equipo para ensayo Rice

Nota. Briqueta desmoronada para realizar ensayo con cantidad de muestra óptima

Utilizando el material proveniente de una briqueta desmoronada y el remanente de las mezclas, se encera una tara y se pesan 2000 gramos de material, registrando los datos para su posterior análisis. A continuación, se procede a pesar el picnómetro en la balanza, anotando el valor inicial. Posteriormente, se llena el picnómetro con agua y se calibra la balanza con el picnómetro lleno de agua. Después de la calibración, se retira la mitad del agua contenida en el picnómetro.

Una vez retirada una cantidad específica de agua, se introduce la muestra dentro del picnómetro. Utilizando guantes de látex, se desmorona la muestra un poco más y se coloca sobre un aparato de agitación. Se coloca la tapa con el caucho para asegurar un sello hermético, fijándola con el anillo metálico, y se inicia la agitación. Con la ayuda de una bomba de aire, se genera un vacío dentro del picnómetro, eliminando el aire retenido mediante una válvula en la bomba. Se ajusta la presión a 25 ± 1,5 mm de Hg y se mantiene esta condición durante 30 minutos.

Transcurrido este tiempo, se detiene la máquina de agitación, se apaga la bomba y se retira el picnómetro. Se llena con agua hasta el borde, se coloca sobre la balanza y se sitúa una franela alrededor para absorber el agua derramada al cerrar la tapa del picnómetro. Se registra el peso para realizar los cálculos posteriores. Finalmente, se desecha la muestra y se limpia el picnómetro para dar paso a las siguientes muestras.

3.4.11 Obtención del porcentaje óptimo de asfalto.

Después de tabular los datos obtenidos en el laboratorio en la hoja digital de cálculo, la cual proporcionará automáticamente resultados y generará las curvas necesarias para la interpretación del diseño Marshall, se procede a graficar la curva VTM vs Porcentaje de Asfalto. A partir del porcentaje de vacíos sugerido por la normativa, se traza una línea horizontal hasta la curva y se identifica la intersección, la cual indica un porcentaje específico de asfalto, siendo este el óptimo. Con el óptimo determinado, se dibuja una línea recta desde el porcentaje óptimo hasta la curva, y se establecen los resultados en las siguientes gráficas: Estabilidad vs Porcentaje de Asfalto, Flujo vs Porcentaje de Asfalto, VMA vs Porcentaje de Asfalto y VFA vs Porcentaje de Asfalto. Estos resultados se contrastan con las especificaciones requeridas para corroborar su conformidad.

3.5 METODOLOGÍA DEL OE. 2: COMPARAR EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON LA ADICIÓN Y/O SUSTITUCIÓN DE BETÚN CON POLIETILENO TEREFTALATO A TRAVÉS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA OBTENER LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE AGLUTINANTE MODIFICADO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADECUADA.

3.5.1 Modificación de la mezcla asfáltica con polímero.

Una vez obtenido el porcentaje óptimo de asfalto y confirmado que las demás especificaciones cumplen con la normativa, se procede al cálculo de la cantidad de plástico a utilizar en la mezcla, como se muestra en la Figura 16. La modificación se realizará directamente al aglutinante, es decir, el plástico triturado se introducirá al cemento asfáltico en caliente para lograr su fusión y obtener una composición prácticamente homogénea entre ambos componentes.

Es importante señalar que la temperatura desempeña un papel crucial durante el proceso de fusión del plástico. Dado que las mezclas en caliente trabajan con el asfalto a una temperatura de 160°C, y considerando que el polietileno tereftalato (PET) alcanza su punto de fusión total al 100% a 260°C, se determina una temperatura adecuada de 190°C para asegurar la fusión correcta del polímero en el asfalto. Aunque el asfalto continúa estando caliente, la temperatura seleccionada permite que el PET se derrita lo suficiente para incorporarlo adecuadamente a la mezcla de agregados.

Figura 16

Polímero a base de polietileno tereftalato

Nota. Se trituró manualmente por asuntos académicos al utilizar pocas cantidades

Para determinar la cantidad de plástico para cada juego de briquetas, se establecieron porcentajes iniciales para la elaboración de la mezcla. Estos porcentajes se calculan a partir del porcentaje óptimo obtenido previamente y del peso de la muestra. La metodología consistirá en reducir la cantidad de betún de la mezcla y compensar esta reducción con la incorporación en 2%, 4%, y 6% de plástico triturado con respecto al peso en gramos del asfalto óptimo utilizado a partir de la muestra de agregados mezclados. Las cantidades específicas de plástico se encuentran detalladas en la Tabla 15.

Tabla 15

Determinación de la cantidad de polímero

Asfalto óptimo	6,85%	102,75gr	
Plástico (%)	**Plástico (gr)**	**Asfalto (%)**	**Asfalto (gr)**
2%	2,06	6,83	100,69
4%	4,11	6,81	98,64
6%	6,17	6,79	96,58

Nota. Cálculos obtenidos en laboratorio de suelos

Una vez determinadas las cantidades de polímero y aglutinante, se procede en una hornilla colocando una bandeja de aluminio con muestra de asfalto, esperando a que esta se derrita. Al alcanzar aproximadamente 150°C, se retira del fuego. En otra bandeja de aluminio, se pesa la cantidad en gramos de asfalto correspondiente a cada porcentaje de plástico. Esta nueva bandeja se coloca en otra hornilla para continuar calentándose. Inmediatamente se le incorpora la cantidad de plástico correspondiente al primer juego de briquetas. A 190°C, el plástico y el asfalto llegan a un equilibrio de texturas. A partir de este punto, la metodología a seguir es la misma que la de una mezcla en caliente convencional.

En la segunda alternativa para incorporar el PET a la mezcla asfáltica en calidad de polímero al cemento asfáltico, se optó por trabajar con los mismos porcentajes de plástico para adicionar al betún, sin necesidad de reducir la cantidad de este último. De esta manera, se incrementará el porcentaje de aglutinante en la mezcla, como se detalla en la Tabla 16, donde se establecen las cantidades específicas de plástico a incorporar en la mezcla.

Tabla 16

Porcentajes de polímero adicional a la mezcla

Asfalto óptimo	6,85%	102,75gr
Plástico (%)	**Plástico (gr)**	**Asfalto (%)**
2%	2,06	6,87
4%	4,11	6,89
6%	6,17	6,91

Nota. Cálculos obtenidos en laboratorio de suelos

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 17

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de Medición
Estudio de las mezclas asfálticas	Es el diseño y la combinación de agregados finos, gruesos y un ligante bituminoso, con el propósito de tener un rendimiento óptimo.	Ensayos de laboratorio a los agregados	✓ Granulometría ✓ Gravedad Específica ✓ Abrasión de Los Ángeles	✓ Optimización de la fórmula de trabajo ✓ Resistencia de los agregados	De razón
Evaluación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas	Son aquellas propiedades que afectan a su resistencia mecánica y a su capacidad cuando se les aplica una fuerza.	Ensayos de laboratorio a las briquetas de asfalto convencionales y modificadas	✓ Compactación Marshall ✓ Gravedad específica de la mezcla ✓ Estabilidad y flujo ✓ Ensayo Rice	✓ Porcentaje óptimo de asfalto ✓ Saturación de la mezcla ✓ Porcentaje de vacíos ✓ Estabilidad y flujo	De razón

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.1: DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS POR MEDIO DE ENSAYOS DE LABORATORIO PARA OBTENER UNA FÓRMULA DE TRABAJO ÓPTIMA PARA EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

4.1.1 Ensayo de granulometría.

Se llevó a cabo el ensayo de granulometría (ASTM C136) para cada uno de los agregados utilizados en la mezcla. Los datos resultantes de la tamización de la piedra 3/4, cisco 3/8 y arena fueron registrados en una hoja de cálculo. Posteriormente, se elaboró la curva granulométrica de la combinación de agregados, de acuerdo con la propuesta establecida por la norma MOP-001F-2002. De esta manera, se realizará un análisis para determinar si los agregados cumplen con los tamaños óptimos. Los porcentajes del material que pasa a través del tamiz se detallan en la Tabla 16 para facilitar la evaluación de la distribución granulométrica.

Tabla 18

Porcentajes de pasantes de cada tamiz por agregado

AGREGADO		% PASANTE DEL TAMIN No.									
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
1	PIEDRA 3/4	100	100	51,23	12,73	0,37	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
2	ARENA	100	100	100	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48
3	CISCO	100	100	100	96,12	65,57	44,32	30,49	21,80	13,57	8,20	4,11

4.1.2 Ensayo de gravedad específica agregado grueso.

A continuación, se presentan los datos obtenidos para el agregado grueso de la piedra 3/4 y el cisco 3/8, como se detallan en la Tabla 19 y Tabla 20, respectivamente. Los datos recopilados en el laboratorio se tabularon para determinar los siguientes parámetros: Gravedad Específica neta del Agregado (Gsb), Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca Bulk (Gsssb), Gravedad Específica Seca Aparente (Gsa) y porcentaje de Absorción (% Abs). Las ecuaciones correspondientes se encuentran detalladas en el Anexo de la página 96.

Tabla 19

Gravedad específica piedra 3/4

MUESTRA A ENSAYAR	CANTIDAD	UNIDAD
W para el ensayo	5000	gr
W seco	4988	gr
W de canastilla sumergida	1068	gr
W superficialmente seco	5000	gr
W canastilla sum. + material	4279	gr
Peso de la masa sumergida	3211	gr
Gsb	2,788	gr/cm^3
Gsssb	2,795	gr/cm^3
Gsa	2,807	gr/cm^3
% Absorción	0,24	%

Tabla 20

Gravedad específica piedra 3/8

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
W para el ensayo	5000	gr
W seco	4825	gr
W de canastilla sumergida	1068	gr
W superficialmente seco	5000	gr
W canastilla sum. + material	3992	gr
Peso de la masa sumergida	2924	gr
Gsb	2,324	gr/cm^3
Gsssb	2,408	gr/cm^3
Gsa	2,538	gr/cm^3
% Absorción	3,63	%

4.1.3 Ensayo de gravedad específica agregado fino.

La gravedad específica de los agregados finos fue evaluada en la arena y en el material fino proveniente del cisco, tal como se detalla en la Tabla 21 y Tabla 22, respectivamente. En el caso del material fino, se basaron en el pasante de la granulometría, que es del 44%. Es decir, el resultado de la gravedad específica se calculó considerando el 44%, el cual, sumado al de material grueso, constituye el 100% de la gravedad del material cisco 3/8. Se determinaron los mismos parámetros que para la gravedad específica del agregado grueso. Las ecuaciones correspondientes se encuentran detalladas en los Anexos en las páginas 92 – 96.

Tabla 21

Gravedad específica de la arena

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
W seco al horno	489	gr
W matraz con agua	659,6	gr
W matraz con agua + agregado	966,1	gr
W S.S.S	500	gr
Gsb	2,527	gr/cm^3
Gsssb	3,41	gr/cm^3
Gsa	2,679	gr/cm^3
% Absorción	2,25	%

Tabla 22

Gravedad específica del fino del cisco

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
W seco al horno	489	gr
W matraz con agua	663,9	gr
W matraz con agua + agregado	969,8	gr
W S.S.S	500	gr
Gsb	2,519	gr/cm^3
Gsssb	2,58	gr/cm^3
Gsa	2,671	gr/cm^3
% Absorción	2,25	%

Finalizado el estudio de las gravedades de cada agregado, se procede a calcular la gravedad específica de la mezcla asfáltica. Para ello, se utilizará la fórmula destinada a la gravedad específica de la combinación de agregados, cuyos resultados se detallan en la Tabla 23. Es importante tener en cuenta la composición de la piedra cisco, que consiste en un 56% de material grueso retenido en la malla N° 8 y un 44% de material fino que es el material que pasa esta malla. La suma total de esta composición constituye el 100% de la gravedad específica neta (Gsb) del cisco.

Tabla 23

Gravedad específica de la combinación de los materiales

AGREGADO	%	Gs
Piedra 3/4	30	2,788
Piedra cisco	50	2,410
Arena gruesa	20	2,527
Total de la mezcla	100	
Gsb		2,537

4.1.4 Ensayo de abrasión de Los Ángeles.

Luego de que el tambor giratorio haya completado las 500 revoluciones en 15 minutos, se destapa el equipo para retirar y tamizar la piedra triturada con las esferas, posterior al tamizado por la malla 1/2 de pulgada, se pesa el material retenido y con este valor se calcula el desgaste, el resultado obtenido para la piedra 3/4 fue del 8,88 % y para la piedra cisco 3/8 fue del 24 %.

4.1.5 Fórmula de trabajo mezcla asfáltica en caliente.

Una vez completados los ensayos para evaluar los agregados destinados a la mezcla, se procede a tabular los valores correspondientes a su granulometría y tamaño máximo nominal. Al combinar la granulometría de los tres agregados, se genera una curva granulométrica, como se representa en la Figura 17, estableciendo valores límites y tolerancias de acuerdo con las indicaciones presentes en la Tabla 24, conforme a la normativa MOP-001F-2002.

Tabla 24

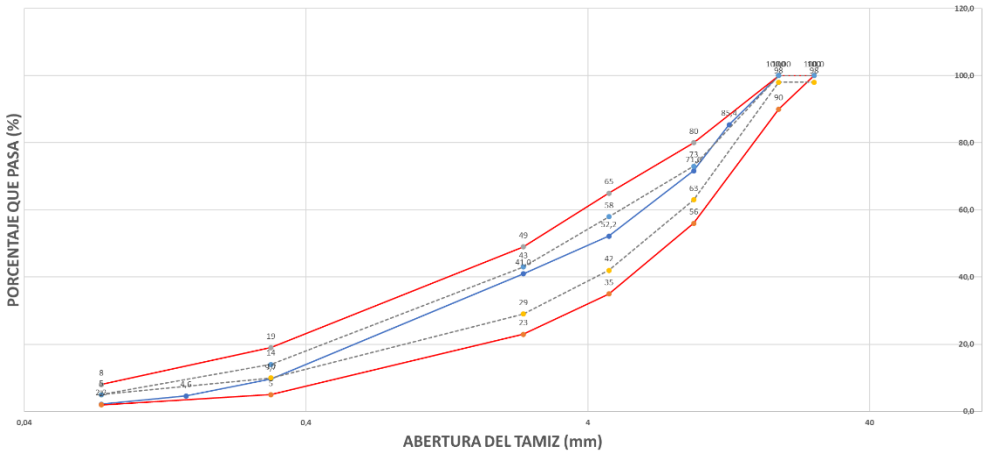
Fórmula de trabajo final para mezcla asfáltica

AGREGADO	% DE AGREGADO	% PASANTE DEL TAMIZ No.									
		1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.200
PIEDRA 3/4	30,00	30	30	15,37	3,82	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01
ARENA	20,00	20	20	20	19,72	19,34	18,81	18,00	15,98	2,90	0,10
CISCO	50,00	50	50	50	48,06	32,78	22,16	15,25	10,90	6,79	2,05
MEZCLA DE AGREGADOS		100	100	85,4	71,6	52,2	41,0	33,3	26,9	9,7	2,2

Nota. Resultados obtenidos a partir de granulometría

Figura 17

Curva granulométrica



Nota. La línea azul corresponde a granulometría de los agregados, la línea roja corresponde a los límites granulométricos

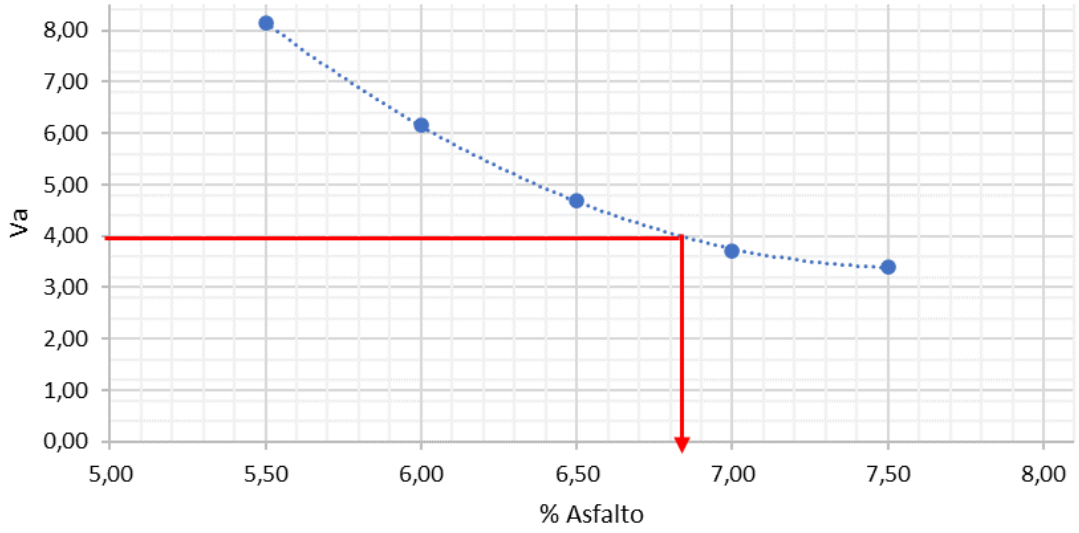
Para analizar los resultados de las briquetas asfálticas, es necesario llevar a cabo estudios individuales de cada briqueta y tabular los resultados en una hoja de cálculo para realizar un análisis conjunto. Más allá de evaluar el comportamiento de una briqueta en particular, como se indica en la Tabla 25 y Tabla 26, el estudio se centra en analizar cómo se comporta el conjunto de briquetas con un determinado porcentaje de aglutinante. Aunque los ensayos de gravedad específica, estabilidad y flujo se realizaron briqueta por briqueta, los resultados fueron tabulados y, mediante fórmulas, se obtuvieron resultados globales.

El análisis del porcentaje óptimo de asfalto se llevó a cabo a partir de los resultados de las gravedades específicas y el porcentaje de vacíos de aire en las briquetas,

utilizando la gráfica VTM vs Porcentaje de Asfalto. En la Figura 18, se determinó que la cantidad óptima de asfalto a utilizar sería del 6,85% en una mezcla convencional. Con este resultado, se procede a determinar los demás parámetros de diseño.

Figura 18

Curva VTM vs % Asfalto - Mezcla Convencional



Nota. Con el porcentaje de vacíos se determina la cantidad óptima de asfalto

Tabla 25

Gravedades de mezclas asfálticas convencionales

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb	Gse	ENSAYO
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA	(Ai/SSS-Ag)		RICE
a	b	c	d	e	Gmb	Gse	Gmm
1		1.200,0	1.205,2	687,3	2,317		
2		1.211,2	1.215,0	681,2	2,269		
3		1.200,8	1.205,1	682,9	2,300		
Promedio	**5,5**				**2,30**	2,731	2,50
1		1.202,6	1.207,1	689,0	2,321		
2		1.191,0	1.193,8	683,0	2,332		
3		1.197,3	1.199,5	693,8	2,368		
Promedio	**6,0**				**2,34**	2,750	2,49
1		1.215,9	1.218,6	706,2	2,373		
2		1.202,3	1.207,4	690,1	2,324		
3		1.197,2	1.202,0	699,0	2,380		
Promedio	**6,5**				**2,36**	2,751	2,48
1		1.193,4	1.194,3	692,0	2,376		
2		1.215,2	1.215,7	699,9	2,356		
3		1.199,8	1.200,1	696,8	2,384		
Promedio	**7,0**				**2,37**	2,751	2,46
1		1.198,4	1.198,9	699,4	2,399		
2		1.201,6	1.201,7	700,2	2,396		
3		1.199,1	1.199,2	675,5	2,290		
Promedio	**7,5**				**2,36**	2,761	2,44

Tabla 26

Resultados obtenidos de ensayos de mezclas asfálticas convencionales

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	% en volúmenes			%Pba	Pbe	VMA	VFA	ESTABILIDAD - LB		FLUJO 0.01"
		agregado	Vacios de Aire	Asfalto					MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	Vsb	Va	Vbe					r	s	t
1									3472,2	3333,4	10
2									3688,3	3540,8	9
3									3905,4	3749,2	8
Promedio	**5,5**	85,501	8,149	6,350	2,850	2,807	14,499	43,797		**3437,1**	**9**
1									4026,7	4026,7	9
2									3944,0	3944,0	8
3									3794,1	3794,1	8
Promedio	**6,0**	86,714	6,160	7,125	3,097	3,089	13,286	53,631		**3985,4**	**8,5**
1									4241,7	4241,7	8
2									4521,6	4521,6	8
3									4103,9	4268,0	9
Promedio	**6,5**	86,951	4,693	8,356	3,109	3,593	13,049	64,034		**4381,6**	**8,5**
1									6183,9	6183,9	9
2									2718,3	2718,3	8
3									2954,2	3072,3	10
Promedio	**7,0**	86,737	3,707	9,556	3,121	4,098	13,263	72,048		**4451,1**	**9,3**
1									3472,2	3472,2	9
2									3086,4	3086,4	10
3									3234,1	3363,5	11
Promedio	**7,5**	86,114	3,409	10,476	3,243	4,501	13,886	75,446		**3279,3**	**9,8**

Se determinó la tendencia que tenían las muestras con respecto a su cantidad de asfalto en cuanto al ensayo de Gravedad Específica Teórica Máxima partiendo desde la muestra con 5,5% de asfalto hasta la muestra con 7,5% de asfalto, como se presenta en la Tabla 27 hasta la Tabla 31, el valor obtenido de Rice iba en descenso.

Tabla 27

Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 5,5%

MUESTRA	**5,5%**
W recip. (gr)	157
W recip. + muestra (gr)	1209
W muestra (gr)	1052
W picnómetro + agua (gr)	7423
W muestra + picn. + agua (gr)	8054
Gmm	2,50

Nota. Resultados obtenidos en laboratorio de suelos UPSE

Tabla 28

Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 6%

MUESTRA	**6%**
W recip. (gr)	144
W recip. + muestra (gr)	2144
W muestra (gr)	2000
W picnómetro + agua (gr)	7423
W muestra + picn. + agua (gr)	8621
Gmm	2,49

Nota. Resultados obtenidos en laboratorio de suelos UPSE

Tabla 29

Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 6,5%

MUESTRA	**6,5%**
W recip. (gr)	153
W recip. + muestra (gr)	2153
W muestra (gr)	2000
W picnómetro + agua (gr)	7423
W muestra + picn. + agua (gr)	8615
Gmm	2,48

Nota. Resultados obtenidos en laboratorio de suelos UPSE

Tabla 30

Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 7%

MUESTRA	7%
W recip. (gr)	242
W recip. + muestra (gr)	2242
W muestra (gr)	2000
W picnómetro + agua (gr)	7423
W muestra + picn. + agua (gr)	8609
Gmm	2,46

Nota. Resultados obtenidos en laboratorio de suelos UPSE

Tabla 31

Gravedad Específica Teórica Máxima muestra 7,5%

MUESTRA	7,5%
W recip. (gr)	242
W recip. + muestra (gr)	2242
W muestra (gr)	2000
W picnómetro + agua (gr)	7423
W muestra + picn. + agua (gr)	8605
Gmm	2,44

Nota. Resultados obtenidos en laboratorio de suelos UPSE

Basándose en el análisis de los vacíos y el asfalto óptimo, se establecieron los demás parámetros en las curvas presentadas en la Figura 19, 20, 21 y 22. Con estos resultados, se llevó a cabo una comparación con las especificaciones proporcionadas por la norma MOP-001F-2002, asegurándose de que las briquetas se encuentren dentro de los límites especificados, según lo indicado en la Tabla 32, y de que el valor óptimo sea el adecuado para el diseño.

Figura 19

Curva Estabilidad vs % Asfalto – Mezcla convencional

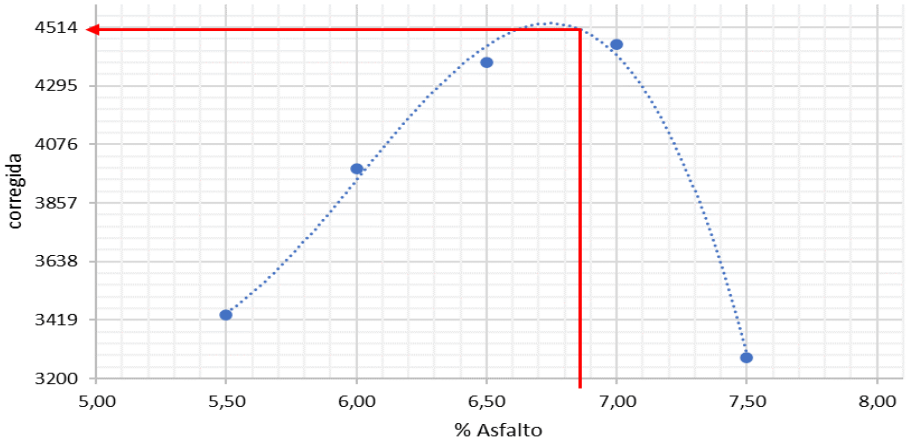


Figura 20

Curva Flujo vs % Asfalto – Mezcla convencional

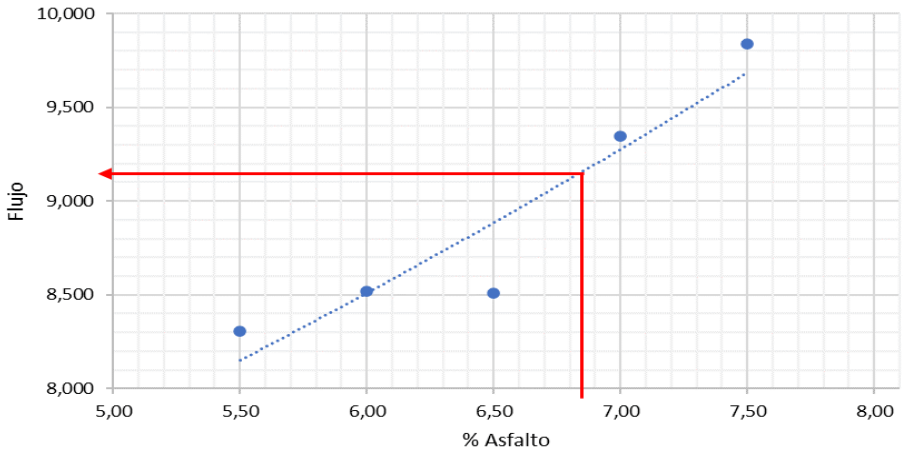


Figura 21

Curva Vacíos de Agregado Mineral vs % Asfalto – Mezcla convencional

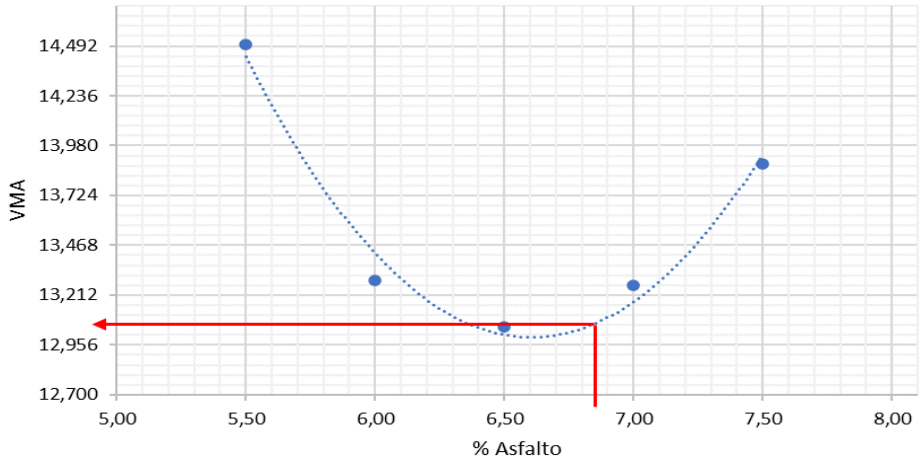


Figura 22

Curva Vacíos Llenos de Asfalto vs % Asfalto – Mezcla convencional

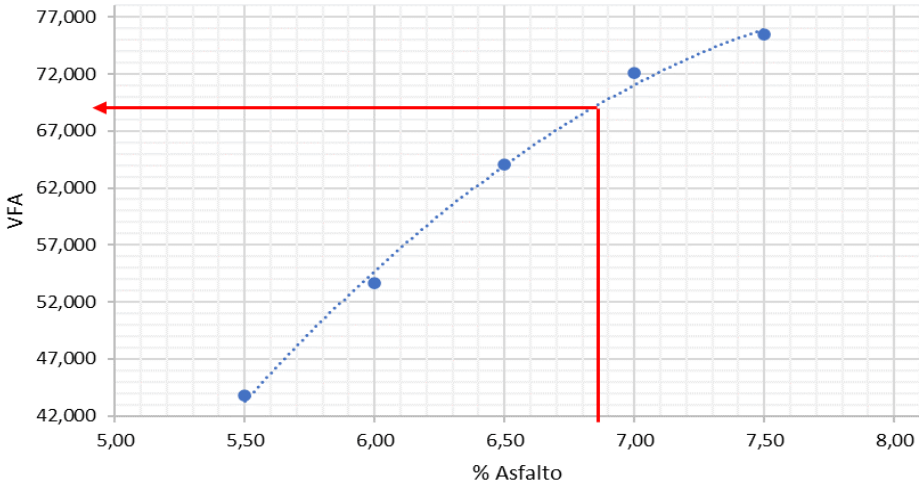


Tabla 32

Resultados mezcla asfáltica convencional bajo norma

RESULTADOS	VERIFICACION	
ESTABILIDAD	4430	CUMPLE
FLUJO	9,09	CUMPLE
%VACIOS	4	CUMPLE
%VMA	13,20	CUMPLE
%VFA	69,6	CUMPLE

Nota. Verificación de resultados obtenidos por los diagramas

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS O.E.2: COMPARAR EL DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL CON LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON LA ADICIÓN Y/O SUSTITUCIÓN DE BETÚN CON POLIETILENO TEREFTALATO A TRAVÉS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN ENSAYOS DE LABORATORIO, PARA OBTENER LOS PORCENTAJES ÓPTIMOS DE AGLUTINANTE MODIFICADO PARA UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADECUADA.

Para las briquetas modificadas, se siguió la misma metodología de estudio que para una mezcla convencional, partiendo desde el porcentaje óptimo de asfalto que fue de 6,85%, se evaluaron dos alternativas de incorporación de PET al cemento asfáltico, los resultados experimentaron notables cambios. En la primera alternativa se reduce el porcentaje de asfalto y se compensa con la adición de plástico en 2%, 4% y 6 % manteniendo el porcentaje óptimo de aglutinante. Por otro lado, la segunda alternativa mantiene el porcentaje de aglutinante y a este valor se adiciona el plástico en los porcentajes antes mencionados. Con esto, se pretende comparar los resultados de la mezcla convencional y las modificaciones en las dos alternativas, para establecer si existe una mejoría o no.

La evaluación de la mezcla asfáltica modificada arrojó resultados que permiten evaluar con precisión el impacto de las modificaciones en la resistencia y durabilidad de la mezcla. En la primera alternativa, la tendencia observada en las briquetas con respecto a la gravedad específica teórica máxima (Gmm) resultó ser la misma que la obtenida en la mezcla convencional, como indica la Tabla 33, pero con la diferencia que el valor del Ensayo Rice disminuye en pequeñas cantidades, ya que el porcentaje de aglutinante sigue siendo 6,85%.

Tabla 33

Gravedad Específica Teórica Máxima – Primera Alternativa

MUESTRA	2% PET	4% PET	6% PET
W recip. (gr)	132	245	245
W recip. + muestra (gr)	2132	2245	2245
W muestra (gr)	2000	2000	2000
W picnómetro + agua (gr)	7384	7383	7383
W muestra + picn. + agua (gr)	8571	8567	8563
Gmm	2,460	2,451	2,439

A continuación, en la Tabla 34, se detalla los valores establecidos para cada parámetro de diseño, en cuánto a densidad se visualiza que en las tres variantes sigue la misma tendencia, de 2,36 ± 2 gr/cm^3.

Tabla 34

Resultados obtenidos de mezcla asfáltica modificada - Primera Alternativa

%Asf	% PET	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad
6,85	2%	2,36	3,977	13,260	70,007	9,32	2234,91
6,85	4%	2,36	3,914	13,522	71,055	7,06	2954,27
6,85	6%	2,34	3,875	13,909	72,142	6,64	2783,31

Según la normativa para tráfico pesado, se establecen límites para el porcentaje de vacíos de aire, los cuales deben situarse entre el 3% y el 5%. Siguiendo este criterio, las tres modificaciones cumplen con este parámetro, siendo la mezcla que incorpora un 2% de PET la que obtiene el valor más alto con un porcentaje de vacíos de aire (Va) de 3,977%.

Prosiguiendo con el análisis, se observa que el porcentaje de vacíos de agregado mineral (VMA) cumple en todas las modificaciones con PET, ya que, según el tamaño máximo nominal, la normativa establece un mínimo del 13%. Asimismo, en cuanto a los vacíos llenos de asfalto (VFA), la normativa indica que los valores deben comprender un rango de 65% a 75%, requisito que también se cumplió.

Por otro lado, el valor del flujo debe situarse entre el 8% y el 14%. La modificación que cumple con este parámetro es la mezcla que incorpora un 2% de PET, ya que arroja un valor de 9,32. Sin embargo, en lo que respecta a la estabilidad, se observa

que con los tres porcentajes de PET se cumple según la normativa aplicable, pues la estabilidad mínima es 2200 lbs y las tres muestras superan los valores, indicando que en esta alternativa la mejor estabilidad se obtuvo con el 4% de PET. Este análisis resalta la importancia de ajustar las proporciones de PET para cumplir con los estándares establecidos y garantizar un rendimiento óptimo de la mezcla asfáltica modificada, especialmente en lo que respecta a la resistencia y durabilidad bajo condiciones de tráfico pesado.

Con la segunda alternativa de modificación, los resultados obtenidos en el ensayo Rice mostraron resultados similares a la primera alternativa de modificación, estos resultados presentes en la Tabla 35 se asemejan a la mezcla convencional, siguiendo la tendencia de al incrementar el contenido de aglutinante a la mezcla, el valor de Gmm se reduce.

Tabla 35

Gravedad Específica Teórica Máxima - Segunda Alternativa

MUESTRA	2% PET	4% PET	6% PET
W recip. (gr)	190	200	200
W recip. + muestra (gr)	1690	1700	1700
W muestra (gr)	1500	1500	1500
W picnómetro + agua (gr)	7384	7384	7384
W muestra + picn. + agua (gr)	8274	8272	8270
Gmm	2,459	2,451	2,443

Nuestra evaluación detallada de la mezcla asfáltica modificada de la segunda alternativa revela valores intrigantes, señalando áreas de mejora y otras similares a la alternativa anterior. Las densidades de las tres variantes continúan siendo similares con valores demostrados en la Tabla 36, pero en comparación con la primera alternativa, mejoró la densidad.

Tabla 36

Resultados obtenidos de mezcla asfáltica modificada - Segunda Alternativa

%Asf	% PET	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad
6,85	2%	2,37	3,668	13,035	71,863	7,60	2685,20
6,85	4%	2,37	3,421	13,116	73,916	8,92	3246,27
6,85	6%	2,36	3,384	13,384	74,716	9,04	2471,36

Siguiendo los parámetros establecidos en la Tabla 12 para la alternativa previa, se constata que las modificaciones con un 2%, 4% y 6% de PET, el porcentaje de vacíos de aire cumple al obtener un valor superior a 3%, encontrándose dentro de los límites normativos. Al mismo tiempo, con estos porcentajes de PET, se observa que cumple el valor de Vacíos de Agregado Mineral (VMA) y de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).

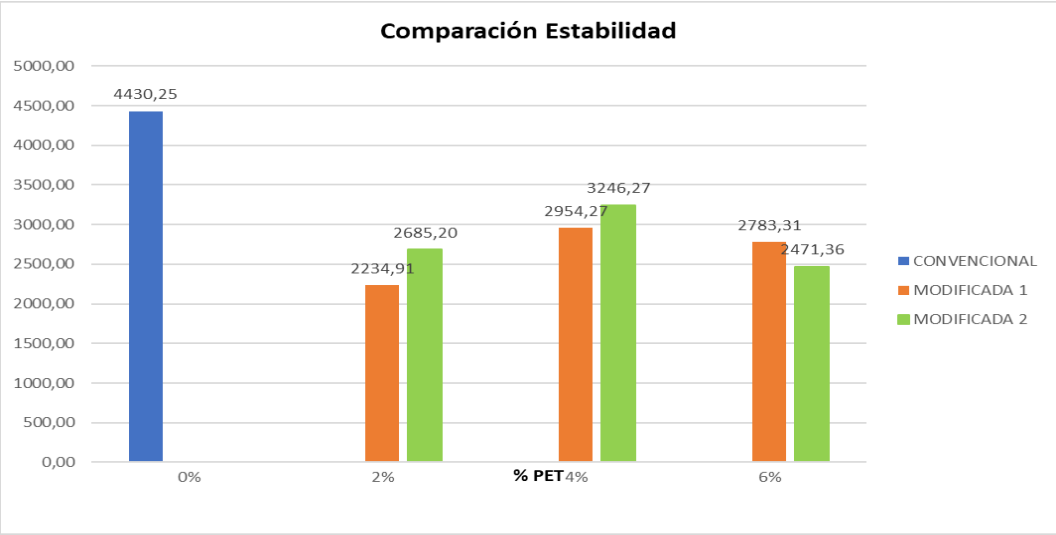
Se demuestra que el flujo, si cumple en las mezclas que incorporan 4 y 6% de PET, con valores de 8,92 y 9,04 respectivamente. La estabilidad cumple en las 3 modificaciones al igual que en la alternativa anterior y la estabilidad fue mayor en la mezcla que tiene 4% de PET.

4.3 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se observa en la Figura 23, los resultados obtenidos para criterios de diseño tanto para una mezcla asfáltica convencional como modificada, la estabilidad obtenida por una briqueta convencional fue de 4430,25 lbs mientras que las briquetas modificadas en la primera alternativa presentaron estabilidades entre 2234 y 2954 lbs, y en la segunda alternativa estabilidades entre 2471 y 3246 lbs, en ambas los valores de mayor estabilidad se obtuvieran en la mezcla modificada con 4% de PET.

Figura 23

Estabilidad - Convencional vs Modificadas



El flujo en la mezcla convencional fue de 9,09 pulgadas, por otro lado, como se detalla en la Figura 24, en las modificadas se obtuvieron los siguientes valores, en la primera alternativa solo la muestra con 2% de PET cumple con un valor de 9,32 pulgadas y en la segunda alternativa valores de 8,92 y 9,04 pulgadas en las mezclas con porcentajes de 4 y 6% respectivamente.

Figura 24

Flujo - Convencional vs Modificadas

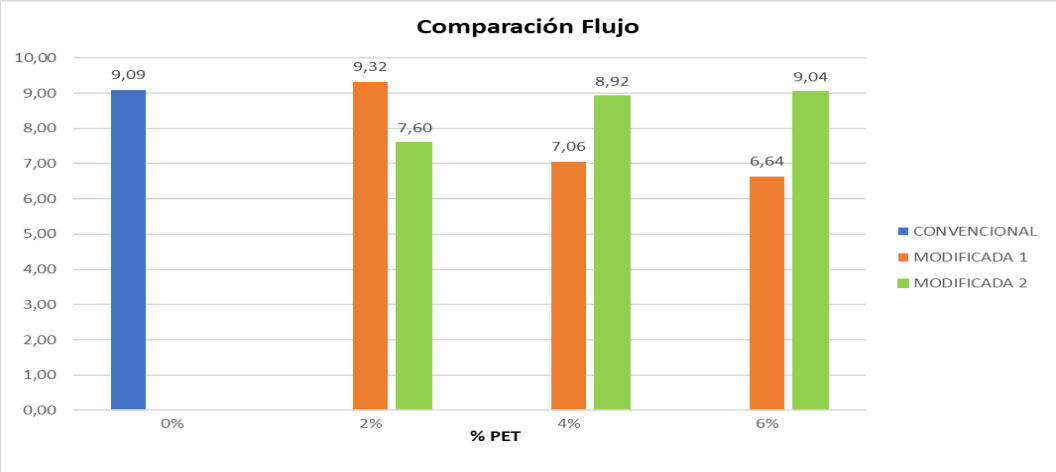
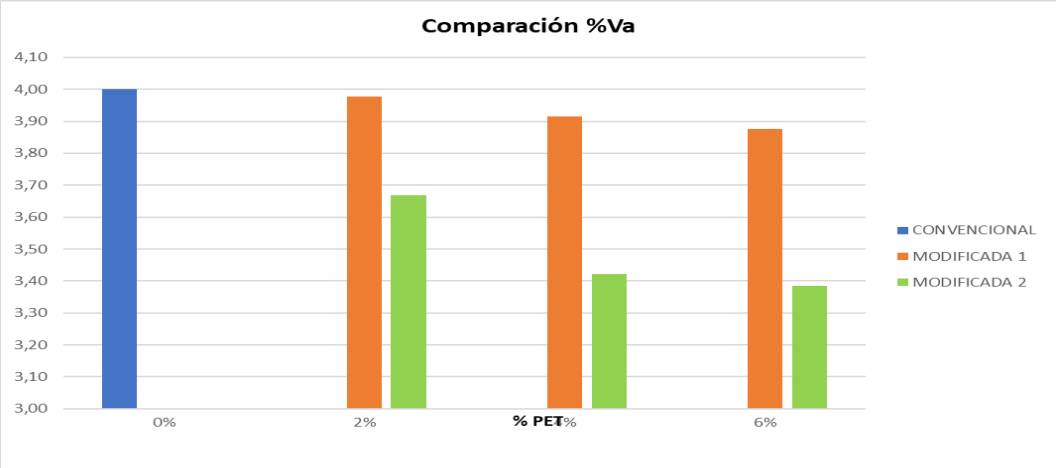


Figura 25

Vacíos de aire- Convencional vs Modificadas



Con respecto al porcentaje de Vacíos de aire, en la primera alternativa todas las modificaciones cumplieron con la especificación, pero con 2% de PET se obtuvo el valor más alto y en la segunda alternativa, el 2% de PET también obtuvo el valor mayor como se muestra en la Figura 25. En los Vacíos de Agregado Mineral

(VMA) tanto en la mezcla convencional como en las mezclas modificadas se obtuvieron valores por encima del 13%, esto quiere decir que están dentro de la norma. En cuanto al porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA) en la mezcla convencional el resultado fue 69,64% y en las mezclas modificadas, en la primera alternativa se determinó un valor de 72,14% con 6% de PET, y en la segunda alternativa, se obtuvo un valor de 74,72% en la mezcla modificada con 6% de PET, es decir que las seis modificaciones cumplen con los valores de 65 – 75, todos estos valores se indican en las Figuras 26 y 27.

Estos valores se incrementan debido a que el plástico derretido a 190° C, cubren cierto porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), impidiendo que el agregado grueso absorba el cemento asfáltico a su máxima capacidad, permitiendo que el porcentaje de asfalto efectivo que rodea el agregado sea mayor y de esta manera se reduzca el porcentaje de vacíos de aire presentes entre varias partículas de agregado saturadas.

Figura 26

VMA- Convencional vs Modificadas

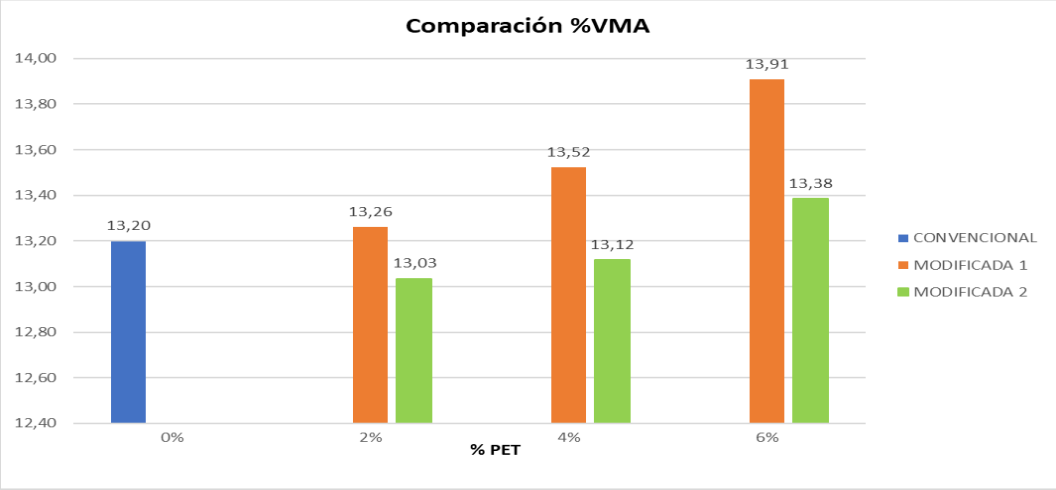
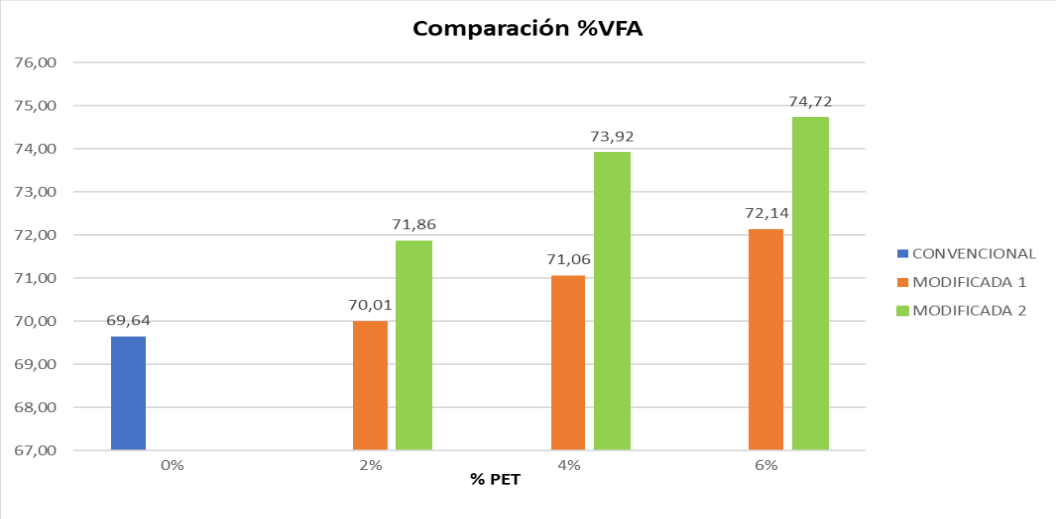


Figura 27

VFA- Convencional vs Modificadas



De acuerdo con O.E.1, se identificaron las características mecánicas de los materiales finos y gruesos para el diseño de una mezcla asfáltica convencional y modificada, con el fin de lograr una fórmula de trabajo óptima que cumpla con las especificaciones de la normativa. También se llevaron a cabo la realización de briquetas de mezcla en caliente donde gracias a las cuevas de porcentaje de asfalto vs Bulk, %Va, %VMA, %VFA, Flujo y Estabilidad, se obtuvo el asfalto óptimo para la mezcla y los parámetros de diseño propuestos por el MTOP.

En conformidad con la O.E.2, se llevó a cabo el diseño de una mezcla asfáltica modificada con Polietileno Tereftalato, fundamentándose en las mismas especificaciones que rigen para una mezcla convencional. El objetivo era cumplir con todos los requisitos del MTOP. Se lograron resultados favorables en cuanto a estabilidad en las seis mezclas comprendidas en las dos alternativas de modificación y el flujo se logró cumplir solo en tres mezclas, presentándose la mayoría en la segunda alternativa.

Los resultados obtenidos por Monrroy y Pardo (2020), indican que su estudio experimentó una disminución en el flujo, lo que implica una reducción en las fallas y deformaciones provocadas por cargas constantes. Al citar un proyecto realizado en India, señalan que el plástico reciclado aumenta el punto de fusión del asfalto. Nuestros resultados muestran que, al comparar la mezcla asfáltica convencional con

las mezclas asfálticas modificadas, el flujo aumentó en la primera alternativa con 2% de PET, en cambio, las estabilidades disminuyeron, aunque ambos parámetros se encuentren dentro de las normas establecidas. La incorporación del PET no mejora las características de la mezcla. A pesar de lo anteriormente expuesto, se confirmó el aumento del punto de fusión, ya que antes de la adición del PET, el asfalto toleraba temperaturas de hasta 175°C y al agregar el PET se fundió a una temperatura de 190°C sin cambio alguno en las características del asfalto.

En el trabajo llevado a cabo por Cornejo y Lamiña (2018) señalan que al añadir un 5% de plástico como sustituto del agregado fino de granulometría similar, se mejora la estabilidad de la mezcla, cumpliendo con el límite mínimo. Sin embargo, el flujo experimenta un aumento que supera los límites establecidos por la normativa. Por ello, sugieren explorar otras opciones para la incorporación del PET en el diseño de mezcla asfáltica. Su propuesta consistió en incorporarlo como polímero al cemento asfáltico, una idea que implementamos en nuestra investigación. No obstante, nuestros resultados no superaron los valores en comparación con la mezcla convencional. A pesar de ello, se mantiene en conformidad con los límites establecidos por la normativa.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Los agregados suministrados por la planta de la empresa C.M CONSTRUCCIONES S.A. satisfacen los estándares de calidad y resistencia establecidos por la norma MOP-001F-2002, permitiendo la formulación de una mezcla eficaz para los ensayos de briquetas de asfalto. Este logro se alcanza sin la necesidad de incorporar agregado mineral (filler) al diseño.

En definitiva, los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica modificada con polietileno tereftalato (PET) indican que, aunque la mezcla cumple con la normativa establecida MOP-001F-2002, presenta reducciones significativas en estabilidad y flujo en comparación con la mezcla convencional. La estabilidad de las briquetas modificadas disminuyó casi a la mitad, mientras que el flujo también experimentó una ligera reducción. Además de cumplir con los porcentajes de vacíos de aire en las dos alternativas de modificación, los vacíos llenos de asfalto (VFA) también cumplen con la normativa e incluso incrementan estos valores. Los valores obtenidos en Vacíos en el Agregado Mineral (VMA) fueron favorables manteniéndose al margen, aunque presentaron pequeñas variaciones.

Comparando con estudios anteriores, la reducción en el flujo y la estabilidad contradice las observaciones de otros trabajos que han explorado la incorporación de plásticos en mezclas asfálticas. Aunque se confirmó un aumento en el punto de fusión del asfalto con la adición del PET, este beneficio no se tradujo en mejoras significativas en la totalidad de las propiedades mecánicas de la mezcla.

5.2 RECOMENDACIONES

- ✓ Considerando que los agregados suministrados por la planta de la empresa C.M CONSTRUCCIONES S.A. cumplen con los estándares de calidad y resistencia, se sugiere continuar aprovechando esta fuente de suministro. A pesar de ello, es aconsejable realizar evaluaciones periódicas para garantizar su consistencia y calidad a lo largo del tiempo. Además, no descartamos la posibilidad de explorar otras canteras que puedan proporcionar material, con el objetivo de comparar los resultados obtenidos.

- ✓ Dado que los porcentajes de VFA y VMA no aumentaron significativamente con los límites mínimos de diseño según la norma, se recomienda realizar estudios específicos con una incorporación de PET en porcentajes mayores establecidos en esta investigación. Se aconseja establecer un programa de monitoreo continuo de los resultados de los ensayos, tanto de las mezclas convencionales como de aquellas modificadas con PET. Esto permitirá identificar cualquier cambio en el desempeño de las mezclas y tomar medidas correctivas de manera oportuna.

- ✓ Si bien la introducción del PET como polímero al aglutinante no generó mejoras sustanciales en flujo y estabilidad, dada la complejidad de la interacción entre los componentes de las mezclas asfálticas, se sugiere continuar la investigación para comprender mejor el impacto del PET y explorar posibles ajustes en el diseño que permitan maximizar los beneficios de este polímero sin comprometer otros aspectos de la mezcla. Esto podría incluir ajustes en la fórmula de trabajo como considerar el PET como agregado adicional sin sustituir uno existente.

- ✓ Se recomienda realizar estudios únicamente al cemento asfáltico, analizar sus propiedades mecánicas y su comportamiento al ser modificado con la incorporación del PET en diferentes porcentajes, de esta forma se verifica si mejora o no sus características y así mismo si pudiera ayudar al comportamiento de una mezcla asfáltica en caliente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez Risco, A. (2020). *Antecedentes de Investigación*. 8. https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/10819/Nota%20Acad%c3%a9mica%203%20%2818.04.2021%29%20-%20Antecedentes%20de%20Investigaci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arias Gómez, J., Villasís Keever, M. Á., & Miranda Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. En *Revista Alergia México* (Vol. 63). www.nietoeditores.com.mx

Arriaga Garibay, J. F. (2015). *Diseño del pavimento para la carretera Acapulco - San Marcos*. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15281/DISE%C3%91O%20DEL%20PAVIMENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Arteaga Villamarín, J. (2018). *Análisis Del Comportamiento De La Base – Cemento Para Pavimentos Con Adición De Residuos Pet Reciclado* [Trabajo de Investigación, Universidad Católica de Colombia]. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/579c6b6e-04cf-43f1-b94f-0ac55106c03e/content

ASTM C-136. (s/f). *Método de ensayo para determinar el análisis granulométrico de áridos finos y gruesos*. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://pdfcoffee.com/astm-c-136-4-pdf-free.html

Caiza, A. (2011). *Análisis De La Capa De Rodadura De La Vía Lligo –Tahuaicha– San Jorge Del Cantón Patate Y Su Relacion En La Calidad De Vida De Sus Habitantes Del Sector*. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1591/1/Tesis%20598%20-%20Caiza%20Chica%c3%adza%20Angel%20Roberto.pdf

Cornejo, D., & Lamiña, J. (2018). *Caracterización de mezclas asfálticas en caliente, mediante la incorporación de material triturado de productos reciclado de Tereftalato de Polietileno (PET), utilizando los agregados*

de la mina del Río Pita en la ciudad de Quito, mediante la determinación del módulo de rigidez.

COSIO VERA, K. L., & LA TORRE DIAZ, J. A. (2021). *Mezcla asfáltica en caliente modificada con plástico reciclado para la determinación de sus propiedades mecánicas*. https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14138/4847/T030_74928503_T%20%20%20LA%20TORRE%20DIAZ%20JIM%20ANDRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cruz, C. (s/f). *ASTM C-127 Densidad y Absorción Del Agregado Grueso | PDF | Densidad | Masa*. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://es.scribd.com/document/395493575/ASTM-C-127-Densidad-y-Absorcion-Del-Agregado-Grueso

Cueva del Ingeniero Civil. (s/f). *Ensayo Marshall*. Ensayo Marshall. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://www.cuevadelcivil.com/2015/04/ensayo-marshall.html

Delgado, H. (2023). *Procedimiento para selección de la estructura granulométrica de la mezcla asfáltica*. file:///C:/Users/Windows%2010/Downloads/pt750.pdf

Dow Chemical. (2021). *La Guajira estrena la segunda carretera de América Latina desarrollada con plástico reciclado*. https://co.dow.com/es-co/news/press-release/carretera-la-guajira-con-tecnologia-dow-elvaloy.html#:~:text=y%20ELVALOY%C2%AE-,La%20Guajira%20estrena%20la%20segunda%20carretera%20desarrollada%20en%20Am%C3%A9rica,pl%C3%A1stico%20reciclado%20y%20ELVALOY%C2%AE&text=Bogot%C3%A1%202%20de%20septiembre%20de%202021.

E-Asphalt. (s/f). *Asfaltos Modificados*. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de http://www.e-asfalto.com/modificados/modificados.htm

Envaselia S.L. (s/f). *Tereftalato de polietileno: ¿Qué es?, Usos y Propiedades*. Recuperado el 16 de noviembre de 2023, de https://www.envaselia.com/blog/tereftalato-de-polietileno-id12.htm

ESPINOZA JAPA, S. L. (2019). *Utilizacion Del Plastico Pet Reciclado Como Agregado Ligante Para Un Diseño De Mezcla Asfaltica En Caliente De Bajo Transito En La Ciudad De Huanuco-2018.*

https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/4726/TIC00177E88.PDF?sequence=1&isAllowed=y

Estrella, E., & Paucar, C. (2021). *Evaluación de porcentajes de aditivos en mezclas asfálticas tibias, utilizando los aditivos Súrfax TB - 1 y ZYCOTHERM con materiales provenientes de las minas Mulaló y Osorio, propietario Ingeniero Marco Naranjo*. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/19660/8%20-%20TESIS%20E.%20ESTRELLA%20-%20C.%20PAUCAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Facultad de Ciencias y Tecnología (UMSS). (s/f). *Ensayos - Ensayo de abrasión de los ángeles - FCYT*. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de http://www.fcyt.umss.edu.bo/investigacion/geotecnia/ensayos/angeles.php

Flores, H. (s/f). *Ensayo de Marshall*. Recuperado el 17 de noviembre de 2023, de https://www.academia.edu/9826713/ENSAYO_DE_MARSHALL

Forero Bernal, J. A., García Medina, J. P., & Martínez Torres, M. J. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100 modificado por vía húmeda con adición de corcho*. https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/4421/Propiedades_f%c3%adsicas_reol%c3%b3gicas_mec%c3%a1nicas_cementoasfaltico.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Forigua Orjuela, J. E., & Pedraza Díaz, E. (2014). *Diseño de mezclas asfálticas modificadas mediante la adición de desperdicios plásticos*. https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c22d15c-b4d1-4abe-acb5-cdecb02f493b/content

Gavilanes, N. (2012). *Diseño de la estructura del pavimento con reforzamiento de geosintéticos aplicado a un tramo de la carretera Zumbahua - La Maná*. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6427/9.20.001877.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Hachi, J., & Rodríguez, J. D. (2010). *Evaluación del comportamiento de materiales estabilizados con el Sistema Consolid* [Universidad Politécnica Salesiana]. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2450/20/UPS-GT000106.pdf

Hernández, C. E., & Carpio, N. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *ALERTA Revista Científica del Instituto Nacional de Salud*, *2*(1), 75–79. https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535

Hidalgo Andrade, F. (2007). *Definición Moderna De Los Parámetros Para El Diseño De Pavimentos*. https://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/1578/T-ESPE-014822.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Higuera Bonilla, V. (2015). *El Estado De Las Vías De Pavimento Rígido Y Su Incidencia En La Circulación Del Tráfico Pesado De La Planta Holcim Latacunga Del Cantón Latacunga Provincia De Cotopaxi*. https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/10005

Humpiri Pineda, K. (2015). *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región de Puno* [Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. https://core.ac.uk/download/pdf/249337494.pdf

Jiménez, C. (2016). *Análisis comparativo de la estabilidad y la deformación del pavimento asfáltico con fibras celulosas y pavimento asfáltico tradicional* [Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25151/1/Tesis%201104%20-%20Jim%C3%A9nez%20Rojano%20Cristian%20Elias.pdf

Jorge Luis. (2016). *Pavimentos semirrigidos - Issuu*. https://issuu.com/jorgeluis341/docs/pavimentos_semirrigido.pptx

López, P. L. (2004). *Población, muestra y muestreo*. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-02762004000100012

Macedonia Corral. (1999). *Mezclas Asfálticas* (p. 12).

Martinez, L. (2023). *¿Qué es un Pavimento? - Ingeniería Civil - El Ingeniero*. https://noticiaselingeniero.com/que-es-un-pavimento-ingenieria-civil/

Maxil Coyopotl, R., & Salinas Hernández, M. A. (2006). *Ventajas y Desventajas del Uso de Polimeros en el Asfalto*. 13. http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/

Monrroy Murcia, G. E., & Pardo Pinzón, R. S. (2020). *Factibilidad de desarrollar pavimentos con plástico reciclado*. https://acofipapers.org/index.php/eiei/article/view/853/857

Morocho, D. (2014). *Aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas producidas en diferentes plantas de la Región Sierra*. http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1420/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-87.pdf

MTOP. (2002). *Especificaciones generales especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes*. 252–255. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/01/MPR_Chimborazo_Cumanda_Especificaciones-Tecnicas-MOP-001-F-2002.pdf

MTOP. (2014). *Ministerio de Transporte y Obras Públicas*. https://www.obraspublicas.gob.ec/pichincha-es-la-primeraprovincia-del-ecuador-donde-se-coloco-mezcla-asfaltica-modificada-concaucho-reciclado/%20Olua,%20M.,%20&%20Salamanca,%20E.%20(2021

Narvaez, J., Sánchez, A., & Zacarias, I. (2009). *Instituto Politécnico Nacional Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura Unidad Profesional Adolfo López Mateos*. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/2978/CARPETASASFALTICAS.pdf?sequence=1

Navarro, J. M. (2017). *Propuesta de diseño de mezclas asfálticas con adiciones de PET*. https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5519/Navarro%20Jim%C3%A9nez%2C%20Jos%C3%A9%20Martin.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Olua, M., & Salamanca, E. (2021). Análisis Técnico y Económico de Pavimentos con Incorporación de Asfaltos Modificados con Grano de Caucho Reciclado. En *Ingeniería de Pavimentos* (Vol. 3, Número 2). https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4bdc4818-6ec6-4e1e-a5b9-2964ec6eca43/content

Orozco Quinga, A. M. (2014). *La vía Capillahuaycu –Quitocucho -Intersección cruz de Quero y su influencia en el bienestar de los pobladores de la parroquia Bolívar, Cantón Pelileo, Provincia Tungurahua·*. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7576/1/Tesis%20798%20-%20Orozco%20Quinga%20Adolfo%20Misael.pdf

Páez, A., & Valarezo, A. (2015). *Diseño de mezclas asfálticas en caliente con adición de caucho pulverizado por vía húmeda* [PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL ECUADOR]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/8489/Antonio%20Paez

%2c%20Alberto%20Valarezo.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=87&zoom=100,109,329

Paneso, G. (2019). *Diseño estructural de pavimento flexible de la vía Virgilio Ratti, Atahualpa de la ciudad de Bahía de Caráquez*.

Paredes Rodríguez, R. E. (2011). *La capa de rodadura y su influencia en la circulación vehicular de la Av. Tamiahurco en la zona norte del cantón Tena provincia de Napo*. https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/1067

Pineda Vásquez, M. A. (2022). *Caracterización de los asfaltos modificados con alófano ecuatoriano*. http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/27083/1/FIQ-SA-PINEDA%20MISHELL.pdf

Ramírez, P., & Tananta, W. (2019). *Diseño de carpeta asfáltica aplicando gránulos de plástico reciclado para mejorar la transitabilidad del Jr. San Martín, distrito de Tabalosos-2018* [Diseño de infraestructura vial, UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO]. https://hdl.handle.net/20.500.12692/31276

Rodríguez Mineros, C. E., & Rodríguez Molina, J. A. (2004). *Evaluación y rehabilitación de pavimentos flexibles por el método del reciclaje*. https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2234/1/Evaluaci%C3%B3n_y_rehabilitaci%C3%B3n_de_pavimentos_flexibles_por_el_m%C3%A9todo_del_reciclaje.pdf

Rojas Avendaño, N. E. (2019). *Diseño de pavimento modificado con la adición de plástico reciclado para ciclovías*. http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/32429/3/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf

Rojas Chele, E. Y., & Ramírez Alejandro, A. L. (2023). *Análisis estructural entre: pavimento flexible convencional, geomalla biaxial y material granular estabilizado con asfalto, para mejorar comportamiento mecánico, en parroquia Manglaralto, cantón y provincia de Santa Elena*. https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/10035/1/UPSE-TIC-2023-0025.pdf

Salazar Zela, W. G. (2019). *Evaluación de mezcla asfáltica con aplicación de plástico reciclado para los pavimentos flexibles en San Juan de Miraflores, Lima 2019*.

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/50498/Salazar_ZWG-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Servei Estació. (s/f). *¿Qué es el PET? Características, usos y aplicaciones*. Recuperado el 28 de octubre de 2023, de https://serveiestacio.com/blog/que-es-el-pet/#

Silvestre Velasquez, D. F. (2017). *Comparación técnica y económica entre las mezclas asfálticas tradicionales y reforzadas con plástico reciclado en la ciudad de lima-2017*. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/1506/Silvestre_VDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tapia Ballena, C. J. (2016). *Utilización de fibras de Polietileno de botellas de plástico para su aplicación en el diseño de mezclas asfálticas ecológicas en frío*. https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/2256/TESIS%20-%20DISE%c3%91O%20DE%20UNA%20MEZCLA%20ASF%c3%81LTICA%20EN%20FRIO%20CON%20POLIETILENO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tungurahua, D., & Castro, J. (2021). *Incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mezclados en planta para vías en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33539/1/Tesis%20I.%20C.%201521%20-%20Castro%20Faz%20Jonathan%20Stallin.pdf

Vila Romaní, R., & García Caputi, G. P. (2014). *Pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador. Una necesidad imperiosa.* file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-PruebasAdicionalesALasMezclasAsfalticasEnElEcuador-5599800.pdf

Wulf, F. (2008). *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*. http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf

Zelada Rojas, L. A. (2019). *Diseño de 1 km. de pavimento, carretera Juliaca-Puno (Km 44+000-Km. 45+000)*. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/13836/ZELADA_ROJAS_LUIS_DISE%c3%91O_PAVIMENTO_JULIACA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

ANEXO I.

ENSAYOS DE LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE AGREGADOS Y MEZCLAS ASFÁLTICAS

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

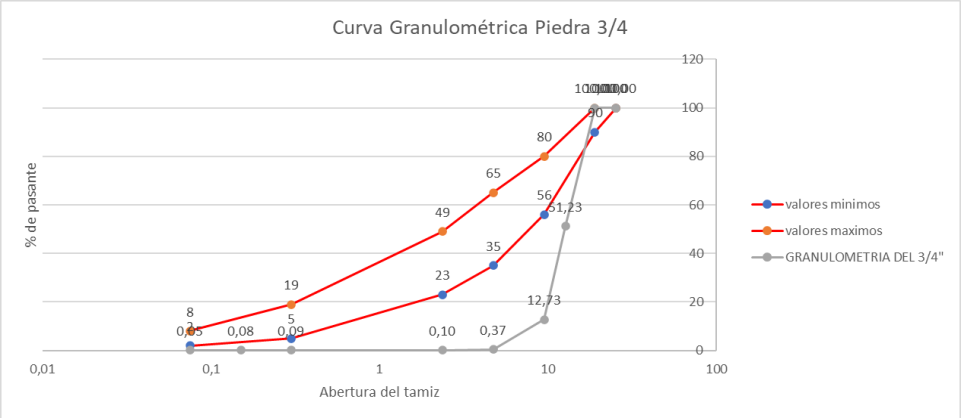
TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

INFORME DE RESULTADOS ENSAYO GRANULOMETRÍA

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Agregado Grueso "Piedra 3/4"

TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA	% RET. ACUM.
1"	0	0	100	0,00
3/4"	0	0	100	0,00
1/2"	3411	48,77	51,23	48,77
3/8"	2693	38,50	12,73	87,27
No 4	865	12,37	0,37	99,63
No 8	19	0,27	0,10	99,90
No 16	0	0,00	0,10	99,90
No 30	0,01	0,00	0,09	99,91
No 50	0,31	0,00	0,09	99,91
No 100	0,69	0,01	0,08	99,92
No 200	2,2	0,03	0,05	99,95
FONDO	3,44	0,05	0,00	100,00
TOTAL	6994,65	100		



Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

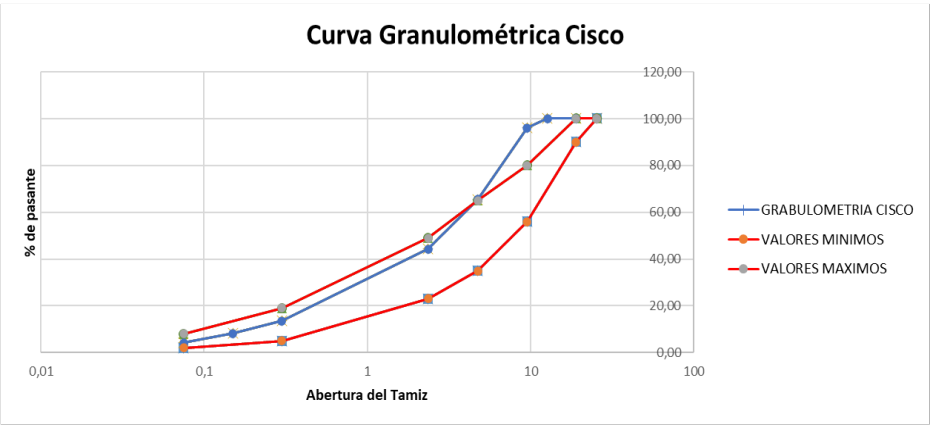
TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

INFORME DE RESULTADOS ENSAYO GRANULOMETRÍA

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Agregado "Cisco"

TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA	% RET. ACUM.
1"	0	0	100	0,00
3/4"	0	0	100	0,00
1/2"	0	0,00	100,00	0,00
3/8"	271	3,88	96,12	3,88
No 4	2137	30,56	65,57	34,43
No 8	1486	21,25	44,32	55,68
No 16	967	13,83	30,49	69,51
No 30	608	8,69	21,80	78,20
No 50	575	8,22	13,57	86,43
No 100	376	5,38	8,20	91,80
No 200	286	4,09	4,11	95,89
FONDO	287,31	4,11	0,00	100,00
TOTAL	6993,31	100		



Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

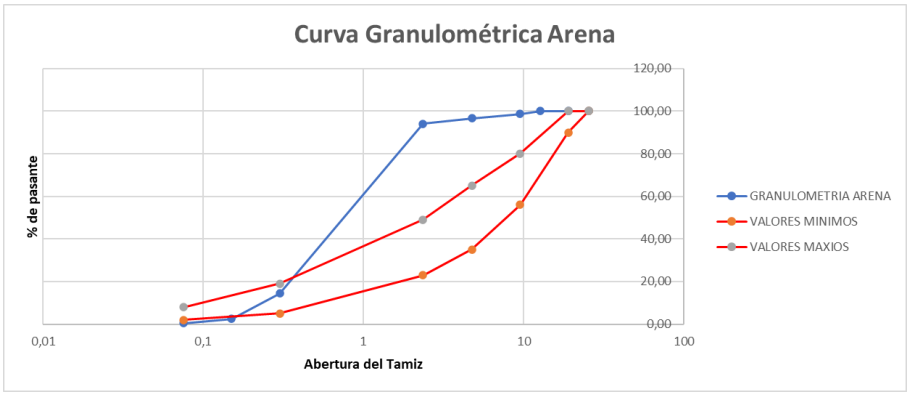
TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

INFORME DE RESULTADOS ENSAYO GRANULOMETRÍA

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Agregado Fino "Arena"

TAMIZ	W PARCIAL	% RETENIDO	% QUE PASA	% RET. ACUM.
1"	0	0	100	0,00
3/4"	0	0	100	0,00
1/2"	0	0,00	100,00	0,00
3/8"	27,77	1,40	98,60	1,40
No 4	38,18	1,92	96,69	3,31
No 8	52,03	2,62	94,07	5,93
No 16	80,51	4,05	90,02	9,98
No 30	201,06	10,11	79,92	20,08
No 50	1302	65,44	14,48	85,52
No 100	238,13	11,97	2,51	97,49
No 200	40,3	2,03	0,48	99,52
FONDO	9,6	0,48	0,00	100,00
TOTAL	1989,58	100		



Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

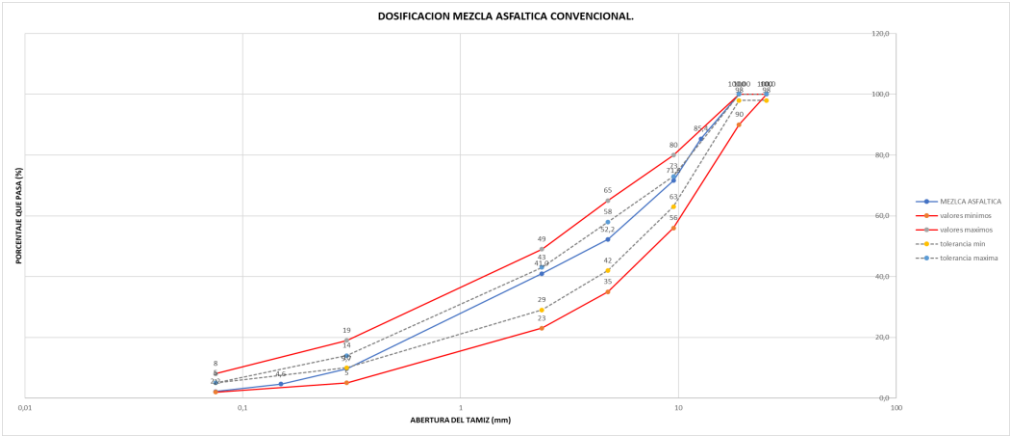
INFORME DE RESULTADOS ENSAYO GRANULOMETRÍA

Tamaño Máximo Nominal 3/4" (19 mm)

Dosificación de agregados para mezclas asfálticas convencionales y modificadas

	AGREGADO	% PASANTES 1" 25,4 mm	3/4" 19 mm	1/2" 12,7 mm	3/8" 9,5 mm	No.4 4,75 mm	No.8 2,36 mm	No.16 1,18 mm	No.30 0,6 mm	No.50 0,3 mm	No.100 0,15 mm	No.200 0,075 mm	Gsb	% Absorción
1	MATERIAL 3/4	100	100	51,23	12,73	0,37	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,05		
2	MATERIAL ARENA	100	100	100	98,60	96,69	94,07	90,02	79,92	14,48	2,51	0,48		
3	MATERIAL CISCO	100	100	100	96,12	65,57	44,32	30,49	21,80	13,57	8,20	4,11		

	% AGREGADOS	DOSIFICACIÓN											gr	1500
1	30	30	30	15,37	3,82	0,11	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	450	
2	20	20	20	20	19,72	19,34	18,81	18,00	15,98	2,90	0,50	0,10	300	
3	50	50	50	50	48,06	32,78	22,16	15,25	10,90	6,79	4,10	2,05	750	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	100	100	100 - 90		56 - 80	35 - 65	23 - 49			5 - 19		2 - 8		
	Mezcla	100	100	85,4	71,6	52,2	41,0	33,3	26,9	9,7	4,6	2,2		
	[illegible]													
	3/4	✓	✓		✓	✓	✓			✓		✓	TMN	
	1/2					✓	✓			✓		✓		
	3/8			✕	✕	✕	✓			✓		✓		
	N°4				✕	✕	✕			✓	✓	✓		



Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gs AGREGADO GRUESO (Piedra 3/4)		
W A ENSAYAR	5000	gr
W SECO	4988	gr
W DE CANASTILLA SUMERGIDA	1068	gr
W SUPERFICIALMENTE SECO	5000	gr
W CANAST. SUM+MATERIAL	4279	gr
PESO DE LA MASA SUMERG.	3211	gr
Gsb	2,788	gr/cm^3
A	4988	gr
B	5000	gr
C	3211	gr

Gsb= Gravedad Específica neta del Agregado
Gsssb= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca (S.S.S. Bulk)
Gsa= Gravedad Específica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción
A= Peso en Aire Agregado Secado al horno
B= Peso en Aire Agregado S.S.S
C= Peso Agregado S.S.S. Sumergido en Agua

Ecuaciones	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,788	gr/cm^3
$Gsssb = \frac{B}{B - C}$	2,795	gr/cm^3
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,807	gr/cm^3
$\%Abs = \frac{B - A}{A} x\ 100$	0,241	%

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gs AGREGADO GRUESO (Piedra Cisco)		
W A ENSAYAR	5000	gr
W SECO	4825	gr
W DE CANASTILLA SUMERGIDA	1068	gr
W SUPERFICIALMENTE SECO	5000	gr
W CANAST. SUM+MATERIAL	3992	gr
PESO DE LA MASA SUMERG.	2924	gr
Gsb	2,324	gr/cm^3
A	4825	gr
B	5000	gr
C	2924	gr

Gsb= Gravedad Específica neta del Agregado
Gsssb= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca (S.S.S. Bulk)
Gsa= Gravedad Específica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción
A= Peso en Aire Agregado Secado al horno
B= Peso en Aire Agregado S.S.S
C= Peso Agregado S.S.S. Sumergido en Agua

Ecuaciones	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B - C}$	2,324	gr/cm^3
$Gsssb = \frac{B}{B - C}$	2,408	gr/cm^3
$Gsa = \frac{A}{A - C}$	2,538	gr/cm^3
$\%Abs = \frac{B - A}{A} x\ 100$	3,627	%

Gsb Real	56% Gsb	1,302	gr/cm^3

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gs AGREGADO FINO (Piedra Cisco)		
A	489	gr
B	663,9	gr
C	969,8	gr
D	500	gr

Gsb= Gravedad Específica neta del Agregado
Gsssb= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca (S.S.S. Bulk)
Gsa= Gravedad Específica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción
A= Peso en Aire Agregado Secado al horno
B= Peso del matraz con agua
C= Peso del Matraz con Agregado y Agua hasta la marca
D= Peso del material superficialmente seco

Ecuaciones	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$	2,519	gr/cm^3
$Gsssb = \frac{D}{B + D - C}$	2,576	gr/cm^3
$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$	2,671	gr/cm^3
$\%Abs = \frac{D - A}{A} x\ 100$	2,25	%

Gsb Real	44% Gsb	1,109	gr/cm^3

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Gs AGREGADO FINO (Arena)		
A	489	gr
B	659,6	gr
C	966,1	gr
D	500	gr

Gsb= Gravedad Específica neta del Agregado
Gsssb= Gravedad Específica Saturada Superficialmente Seca (S.S.S. Bulk)
Gsa= Gravedad Específica Seca aparente
% Abs= Porcentaje de Absorción
A= Peso en Aire Agregado Secado al horno
B= Peso del matraz con agua
C= Peso del Matraz con Agregado y Agua hasta la marca
D= Peso del material superficialmente seco

Ecuaciones	Resultados	
$Gsb = \frac{A}{B + D - C}$	2,527	gr/cm^3
$Gsssb = \frac{D}{B + D - C}$	3,409	gr/cm^3
$Gsa = \frac{A}{B + A - C}$	2,679	gr/cm^3
$\%Abs = \frac{D - A}{A} x\ 100$	2,25	%

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

GRAVEDAD ESPECÍFICA COMBINACIÓN DE AGREGADOS

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + \ldots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \ldots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Gsb= Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados
P_1, P_2, P_n= Porcentajes individuales por Peso del Agregado
G_1, G_2, G_n= Gravedad Específica Bulk Individual del Agregado

Agregado	Porcentaje	Gs
Piedra 3/4	30%	2,788
Piedra Cisco	50%	2,410
Arena	20%	2,527
Total Mezcla	100%	

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO RICE PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

DIÁMETRO				MÉTODO			
Pasa Tamiz		Retenido en Tamiz		A	B	C	D
N°	"mm"	N°	"mm"	Cantidad de Material a Emplear			
1,5	37,5	1	25	1250±25			
1	25	3/4	19	1250±25			
3/4	19	1/2	12,5	1250±10	2500±10		
1/2	12,5	3/8	9,5	1250±10	2500±10		
3/8	9,5	1/4	6,25			2500±10	
1/4	6,25	N°4	4,76			2500±10	
N°4	4,76	N°8	2,38				5000±10
Total				**5000±10**	**5000±10**	**5000±10**	**5000±10**
N° de Esferas				12	11	8	6
N° de Revoluciones				500	500	500	500
Tiempo de Rotación "min"				15	15	15	15

$$\%\ Desg. = \frac{W\ inicial - W final}{W\ inicial}\ x\ 100$$

Material	Piedra 3/4
Método	B
W inicial	5001
W final	4557
% Desgaste	8,88

Material	Cisco 3/8
Método	C
W inicial	5001
W final	3781
% Desgaste	24,4

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO RICE PARA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Gmm= Gravedad Específica Teórica máxima
A= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica
B= Peso del Picnómetro lleno de Agua
C= Peso del Picnómetro lleno de agua y Mezcla Asfáltica

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

% Asfalto	5,5
W recip	157
W recip+muestra	1209
Wmuestra	1052
Wpicnom+agua	7423
Wmuestra+recip+agua	8054
Gmm	2,50

% Asfalto	6
W recip	144
W recip+muestra	2144
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7423
Wmuestra+recip+agua	8621
Gmm	2,49

% Asfalto	6,5
W recip	153
W recip+muestra	2153
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7423
Wmuestra+recip+agua	8615
Gmm	2,48

% Asfalto	7
W recip	242
W recip+muestra	2242
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7423
Wmuestra+recip+agua	8609
Gmm	2,46

% Asfalto	7,5
W recip	242
W recip+muestra	2242
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7423
Wmuestra+recip+agua	8605
Gmm	2,44

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO RICE PARA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADAS

Gmm= Gravedad Específica Teórica máxima
A= Peso en aire de la Mezcla Asfáltica
B= Peso del Picnómetro lleno de Agua
C= Peso del Picnómetro lleno de agua y Mezcla Asfáltica

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

Alternativa 1 de Modificación

% Asfalto	**6,85**
W recip	132
W recip+muestra	2132
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7384
Wmuestra+recip+agua	8589
Gmm	2,52

2% PET

% Asfalto	**6,85**
W recip	245
W recip+muestra	2245
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7381
Wmuestra+recip+agua	8605
Gmm	2,58

4% PET

% Asfalto	**6,85**
W recip	245
W recip+muestra	2245
Wmuestra	2000
Wpicnom+agua	7381
Wmuestra+recip+agua	8612
Gmm	2,60

6% PET

Alternativa 1 de Modificación

% Asfalto	**6,87**
W recip	190
W recip+muestra	1690
Wmuestra	1500
Wpicnom+agua	7384
Wmuestra+recip+agua	8308
Gmm	2,60

2% PET

% Asfalto	**6,89**
W recip	200
W recip+muestra	1700
Wmuestra	1500
Wpicnom+agua	7384
Wmuestra+recip+agua	8298
Gmm	2,56

4% PET

% Asfalto	**6,91**
W recip	200
W recip+muestra	1700
Wmuestra	1500
Wpicnom+agua	7384
Wmuestra+recip+agua	8289
Gmm	2,52

6% PET

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Gsb	2,537
Gb	1,015

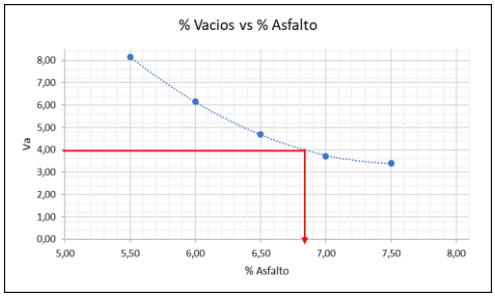
MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb	Gse	ENSAYO	% en volúmenes			%Pba	Pbe	VMA	VFA	ESTABILIDAD	FLUJO
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA	(Ai/SSS-Ag)		RICE	agregado	Vacios de Aire	Asfalto					Libras	0,01"
					Gmb	Gse	Gmm	Vsb	Va	Vbe						
1		1200	1205,2	687,3	2,317										3472,2	9,76
2		1211,2	1215	681,2	2,269										3688,3	8,60
3		1200,8	1205,1	682,9	2,300										3905,4	8,48
Promedio	5,5				2,295	2,731	2,499	85,501	8,149	6,350	2,850	2,807	14,499	43,797	3580,3	8,95
1		1202,6	1207,1	689	2,321										4026,7	9,44
2		1191	1193,8	683	2,332										3944,0	8,36
3		1197,3	1199,5	693,8	2,368										3794,1	7,76
Promedio	6				2,340	2,750	2,494	86,714	6,160	7,125	3,097	3,089	13,286	53,631	3985,4	8,52
1		1215,9	1218,6	706,2	2,373										4241,7	8,36
2		1202,3	1207,4	690,1	2,324										4521,6	7,84
3		1197,2	1202	699	2,380										4103,9	9,32
Promedio	6,5				2,359	2,751	2,475	86,951	4,693	8,356	3,109	3,593	13,049	64,034	4381,6	8,51
1		1193,4	1194,3	692	2,376										6183,9	9,40
2		1215,2	1215,7	699,9	2,356										2718,3	8,48
3		1199,8	1200,1	696,8	2,384										2954,2	10,16
Promedio	7				2,366	2,751	2,457	86,737	3,707	9,556	3,121	4,098	13,263	72,048	4451,1	9,35
1		1198,4	1198,9	699,4	2,399										3472,2	8,64
2		1201,6	1201,7	700,2	2,396										3086,4	10,32
3		1199,1	1199,2	675,5	2,290										3234,1	10,56
Promedio	7,5				2,362	2,761	2,445	86,114	3,409	10,476	3,243	4,501	13,886	75,446	3279,3	9,84

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

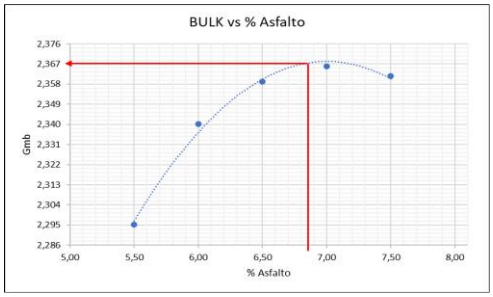
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

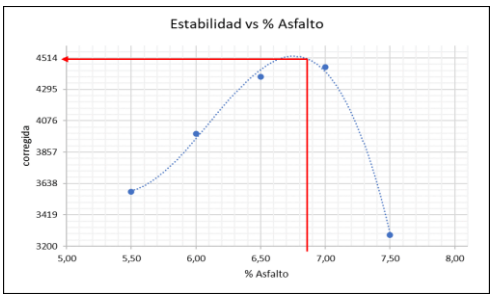
DETERMINACIÓN PARÁMETROS DE DISEÑO MTOP - MEZCLA CONVENCIONAL



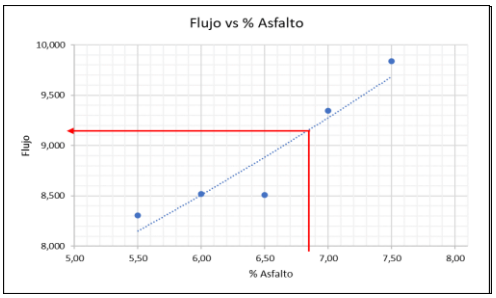
% Óptimo de Asfalto	6,85%



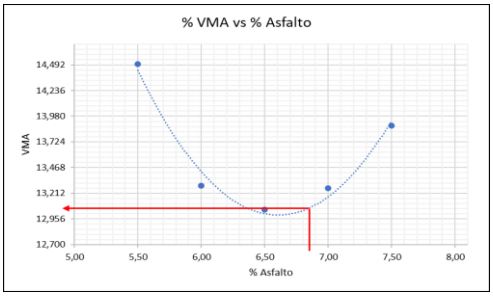
Gmb	2,364



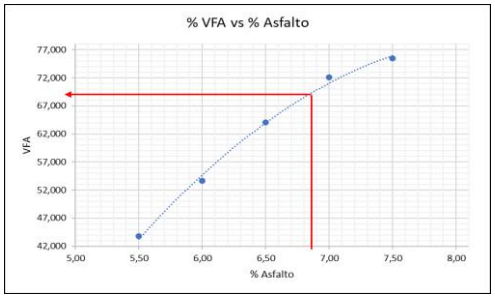
Estabilidad	4430,254



Flujo	9,09



% VMA	13,199



% VFA	69,644

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA - ALTERNATIVA 1

Gsb	2,537	Gb	1,015

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb	Gse	ENSAYO	% en volúmenes			%Pba	Pbe	VMA	VFA	ESTABILIDAD	FLUJO
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA	(Ai/SSS-Ag)		RICE	agregado	Vacios de Aire	Asfalto					Libras	0,01"
					Gmb	Gse	Gmm	Vsb	Va	Vbe						
1		1199,1	1221,9	717,2	2,376										2659,8	7,96
2	2% PET	1202,2	1214,2	702,3	2,349										1810,0	10,68
Promedio	6,85				2,362	2,748	2,460	86,740	3,977	9,283	3,073	3,987	13,260	70,007	2234,9	9
1		1181	1223,9	726,2	2,373										2787,9	6,76
2	4% PET	1193,6	1232,8	722,1	2,337										3120,6	7,36
Promedio	6,85				2,355	2,736	2,451	86,478	3,914	9,608	2,910	4,139	13,522	71,055	2954,3	7
1		1192,8	1223,8	722,2	2,378										2970,7	6,28
2	6% PET	1182,1	1221,9	710,4	2,311										2595,9	7,00
Promedio	6,85				2,345	2,720	2,439	86,091	3,875	10,034	2,692	4,342	13,909	72,142	2783,3	7

CARACTERÍSTICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA - ALTERNATIVA 2

Gsb	2,537	Gb	1,015

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO EN GRAMOS			Gmb	Gse	ENSAYO	% en volúmenes			%Pba	Pbe	VMA	VFA	ESTABILIDAD	FLUJO
		SECA EN AIRE	S. S. S. EN AIRE	EN AGUA	(Ai/SSS-Ag)		RICE	agregado	Vacios de Aire	Asfalto					Libras	0,01"
					Gmb	Gse	Gmm	Vsb	Va	Vbe						
1	2% PET	1199,1	1225,9	719,7	2,369										2685,2	7,60
Promedio	6,87				2,369	2,748	2,459	86,965	3,668	9,367	3,069	4,012	13,035	71,863	2685,2	8
1	4% PET	1195,4	1227,3	722,3	2,367										3246,3	8,92
Promedio	6,89				2,367	2,738	2,451	86,884	3,421	9,695	2,937	4,155	13,116	73,916	3246,3	9
1	6% PET	1198,1	1229,5	721,9	2,360										2471,4	9,04
Promedio	6,91				2,360	2,728	2,443	86,616	3,384	10,000	2,805	4,298	13,384	74,716	2471,4	9

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

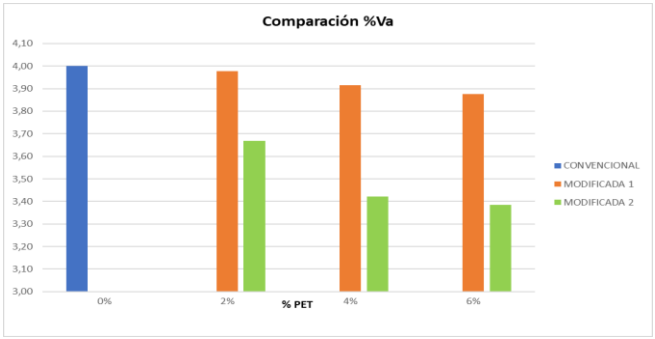
TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

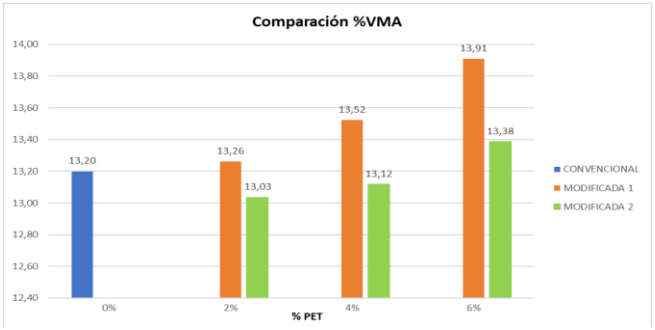
COMPARACIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS

CONVENCIONAL						
%Asfalto	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad
6,85	2,36	4	13,20	69,644	9,09	4430,25

MODIFICADA 1							
%Asfalto	% PET	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad
6,85	2%	2,36	3,98	13,26	70,01	9,32	2234,91
6,85	4%	2,36	3,91	13,52	71,06	7,06	2954,27
6,85	6%	2,34	3,87	13,91	72,14	6,64	2783,31

MODIFICADA 2							
%Asfalto	% PET	Densidad	%Vacíos	%VMA	%VFA	Flujo	Estabilidad
6,85	2%	2,37	3,67	13,03	71,86	7,60	2685,20
6,85	4%	2,37	3,42	13,12	73,92	8,92	3246,27
6,85	6%	2,36	3,38	13,38	74,72	9,04	2471,36



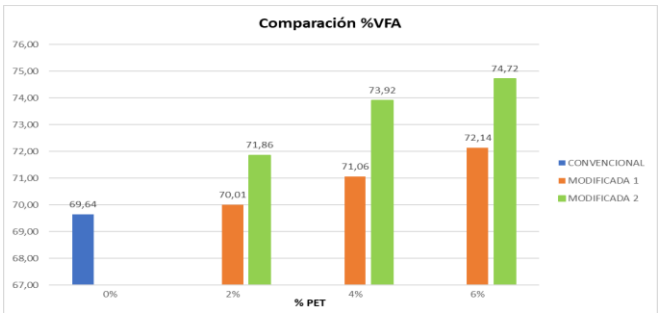


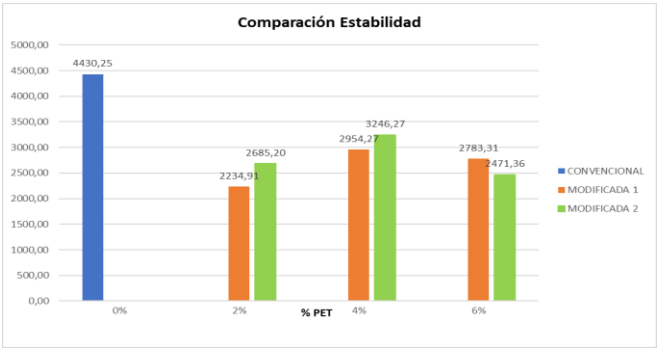
Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

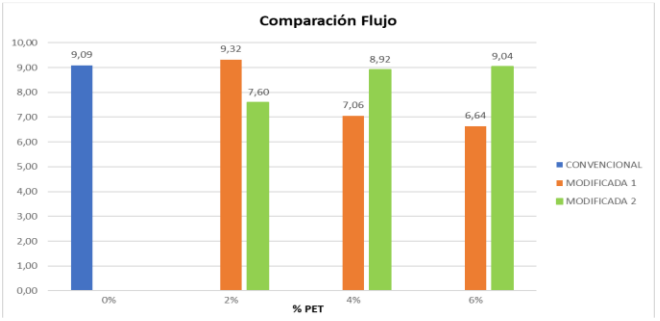
UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

COMPARACIÓN MEZCLAS ASFÁLTICAS







Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

ANEXO II.

REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO GRANULOMETRÍA

Realizado por:	Revisado por:
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

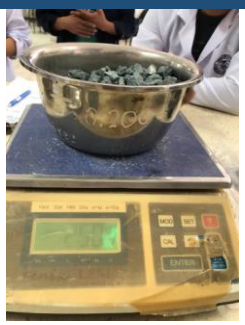
ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO ABRASIÓN LOS ÁNGELES

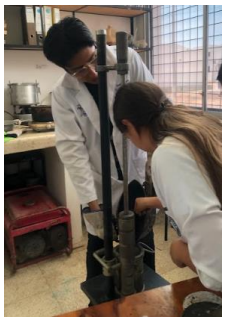


Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO COMPACTACIÓN Y ELABORACIÓN DE BRIQUETAS



Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

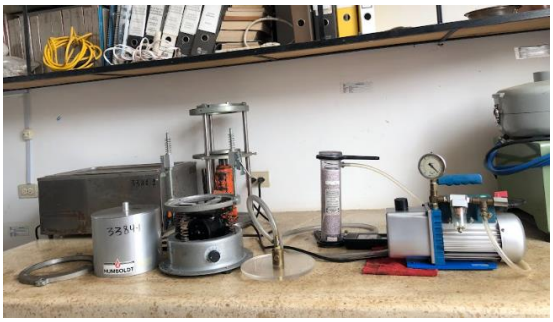
ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA DE BRIQUETAS, ESTABILIDAD Y FLUJO

Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO GRAVEDAD ESPECÍFICA TEÓTICA MÁXIMA - RICE

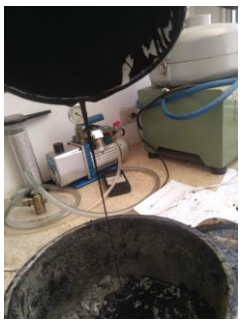


Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGIENERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:	**"EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS INCLUYENDO POLIETILENO TEREFTALATO COMO POLÍMERO EN EL CONCRETO ASFÁLTICO"**
TUTOR:	**ING. DANIEL ROSENDO CAMPOVERDE CAMPOVERDE**
TESISTAS:	**SEBASTIÁN DAVID MALDONADO RODRÍGUEZ, AMIRA GISELLE GAVILANES FALCONÍ**

ENSAYO A MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS



Realizado por:	**Revisado por:**
Sebastián Maldonado y Amira Gavilanes	Ing. Daniel Campoverde Campoverde