



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA CIVIL**

TEMA:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET
(POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE
NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL
MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y
TRANSVERSALES”**

AUTORA: Priscila Monserrath Herrera Moya

TUTOR: Ing. Alex Xavier Frías Torres, Mg.

AMBATO – ECUADOR

Julio – 2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil, con el tema **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”**, elaborado por la Srta. Priscila Monserrath Herrera Moya, portadora de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804312005, estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autora.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, julio 2023



Ing. Alex Xavier Frías Torres Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Priscila Monserrath Herrera Moya, con C.I. 1804312005, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autora del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, julio 2023.



Priscila Monserrath Herrera Moya

C.I. 1804312005

AUTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi trabajo experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, julio 2023.



Priscila Monserrath Herrera Moya

C.I. 1804312005

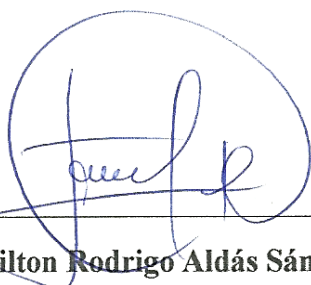
AUTORA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

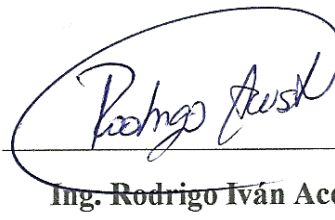
Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por la estudiante Priscila Monserrath Herrera Moya de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”**.

Ambato, julio 2023

Por constancia firman.



Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez, Phd
MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Rodrigo Iván Acosta Lozada
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a Dios por guiarme en cada paso durante mi transcurso académico.

A mi madre y hermano que siempre han estado apoyándome siendo un pilar fundamental en mi vida, aconsejándome y guiándome para seguir adelante a pesar de las circunstancias.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y hermano por brindarme siempre un apoyo incondicional, por motivarme a seguir adelante y no rendirme en el camino, su amor y aliento han sido fundamentales en mi vida.

A mi mascota Saori porque con su llegada alegro mis días cuando recién inicie la carrera, su presencia ha sido un regalo invaluable que ha llenado de felicidad mi camino.

A mis mejores amigos Pamela y Erick por ser un apoyo fundamental para ser la persona que soy, por apoyarme y ser mis confidentes.

Al ingeniero Alex Frías quien con su tutoría he desempeñado este proyecto de mejor manera, con su guía y enseñanzas.

Agradezco a la Universidad Técnica de Ambato por brindarme la oportunidad de pertenecer a esta prestigiosa institución, donde sus profesores han sido fundamentales en el desarrollo de mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN EJECUTIVO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos	1
1.1.1. Antecedentes.....	1
1.1.2. Justificación.....	5
1.1.3. Fundamentación Teórica	6
1.1.3.1. Pavimento	6
1.1.3.2. Pavimento Flexible	7
1.1.3.2.1. Funciones del pavimento flexible	7
1.1.3.3. Asfalto	8
1.1.3.4. Asfalto AC-20	10
1.1.3.5. Agregados Pétreos	11
1.1.3.5.1. Ensayos Realizados A Los Agregados	13
1.1.3.6. Mezclas Asfálticas	14
1.1.3.6.1. Mezcla Asfálticas En Caliente.....	15
1.1.3.6.2. Mezclas Asfálticas En Frío	15
1.1.3.6.3. Mezclas Asfálticas Modificadas.....	15
1.1.3.7. Polímeros	16
1.1.3.8. Tereftalato De Polietileno (PET).....	18
1.1.3.9. Caucho De Nitrilo.....	19

1.1.3.10.	Diseño Mezcla Asfáltica.....	21
1.1.3.10.1.	Método Marshall.....	21
1.1.3.11.	Fallas En La Mezcla Asfáltica.....	22
1.2.	Hipótesis	24
1.3.	Objetivos.....	25
1.3.1.	Objetivo General.....	25
1.3.2.	Objetivos Específicos	25
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA		26
2.1.	Materiales	26
2.2.	Métodos	29
2.2.1.	Etapa 1 Preliminar	31
2.2.1.1.	Investigación Bibliográfica	31
2.2.1.2.	Obtención de Material Pétreo y Polímeros.....	31
2.2.1.3.	Ensayos Previos al Ensayo Marshall.....	32
2.2.1.3.1.	Análisis granulométrico en áridos finos y gruesos.....	33
2.2.1.3.2.	Gravedad específica y absorción de los agregados finos.....	33
2.2.1.3.3.	Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	35
2.2.1.3.4.	Desgaste por abrasión del agregado grueso.....	37
2.2.1.3.5.	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	38
2.2.1.3.6.	Recubrimiento y peladura	38
2.2.1.3.7.	Peso Específico del Asfalto	39
2.2.2.	Etapa 2 Elaboración de briquetas convencional y modificadas	39
2.2.2.1.	Diseño briquetas convencionales	40
2.2.2.2.	Diseño de las briquetas modificadas	40
2.2.3.	Etapa 3 Ensayo en Mezclas Asfálticas	41
2.2.3.1.	Peso específico Bulk.....	41
2.2.3.2.	Análisis de la densidad y vacíos (Ensayo Rice)	42
2.2.3.3.	Ensayo de Estabilidad y Flujo (Ensayo Marshall)	43
2.2.3.4.	Selección del Porcentaje Optimo.....	44
2.2.3.5.	Evaluación y análisis de las propiedades de las Mezclas Asfálticas	48
2.2.4.	Población y Muestra	49
2.2.5.	Plan de recolección de información.....	49
2.2.6.	Plan para análisis de resultados	50

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1. Ensayo Previos al Método Marshall.....	51
3.1.1. Análisis Granulométrico.....	51
3.1.2. Gravedad específica y absorción de los agregados finos	53
3.1.3. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	55
3.1.4. Desgaste por abrasión del agregado grueso.....	59
3.1.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	60
3.1.6. Recubrimiento Y Peladura.....	61
3.1.7. Peso Específico Del Asfalto	62
3.2. Método Marshall (ASTM D 1559).....	63
3.2.1. Diseño Mezcla Asfáltica Convencional	63
3.2.1.1. Dosificación Mezcla Asfáltica Convencional	63
3.2.1.2. Análisis de la densidad y vacíos mezcla convencional	64
3.2.1.3. Diseño Método Marshall briqueta convencional.....	65
3.2.1.4. Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Convencionales	67
3.2.1.5. Selección del Contenido Optimo de Asfalto, Mezcla Convencional	69
3.2.2. Diseño Mezcla Asfáltica Modificada con PET	70
3.2.2.1. Dosificación Mezcla Asfáltica Modificada con PET	71
3.2.2.2. Análisis de la densidad y vacíos, mezcla asfáltica modificada con PET ..	72
3.2.2.3. Diseño Método Marshall modificada con PET	73
3.2.2.4. Gráficas de resultados de ensayos a Mezclas Asfálticas Modificadas con PET.....	75
3.2.2.5. Selección del Contenido Optimo de PET, Mezcla Modificada.....	77
3.2.3. Diseño Mezcla Asfáltica Modificada con Caucho Nitrilo	78
3.2.3.1. Dosificación Mezcla Asfáltica Modificada con Caucho Nitrilo	79
3.2.3.2. Análisis de la densidad y vacíos, mezcla modificada con Caucho Nitrilo.	80
3.2.3.3. Diseño Método Marshall modificada con Caucho Nitrilo	81
3.2.3.4. Gráficas de resultados a ensayos de Mezclas Asfálticas Modificadas con Caucho Nitrilo	83
3.2.3.5. Selección del Contenido Optimo de Caucho Nitrilo, Mezcla Modificada	85
3.3. Análisis de Resultados.....	87
3.3.1. Análisis comparativo entre la mezcla convencional y mezclas modificadas	87

3.4.	Verificación de Hipótesis	91
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		92
4.1.	Conclusiones.....	92
4.2.	Recomendaciones	94
C. MATERIALES DE REFERENCIA.....		95
Referencias Bibliográficas		95
Anexos		99
Anexo A. Método Marshall.....		99
Anexo B. Elaboración de Briquetas Asfálticas		101
Anexo C. Ensayo de Estabilidad y Flujo		104
Anexo D. Ensayo Densidad Máxima Teórica (RICE).....		105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Ficha Técnica Asfalto AC-20	10
Tabla 2.- Requisitos de Graduación	12
Tabla 3.- Tipos de Elastómeros.....	17
Tabla 4. Materiales y Equipos utilizados	26
Tabla 5.- Especificación del equipo de trabajo	28
Tabla 6. Requisitos de Graduación	33
Tabla 7.- Factor de Corrección por Temperatura (K)	35
Tabla 8.- Gradación de las muestras de ensayo	37
Tabla 9.- Criterio de Diseño Marshall.....	44
Tabla 10.- Porcentajes de cada tamaño de agregado que intervienen en la mezcla. .	45
Tabla 11.- Gravedades específicas Bulk de cada tamaño de agregado.....	45
Tabla 13.- Gravedades específicas aparentes de cada tamaño de agregado.....	46
Tabla 14. Plan de recolección de datos	49
Tabla 15.- Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Fino.....	51
Tabla 16. Gravedad específica y absorción de agregado fino.....	53
Tabla 17. Gravedad específica y absorción de agregado grueso 3/8	55
Tabla 18. Gravedad específica y absorción de agregado grueso 3/4	57
Tabla 19. Ensayo de abrasión.....	59
Tabla 20. Porcentaje de caras fracturadas	60
Tabla 21.- Recubrimiento y Peladura.....	61
Tabla 22.- Peso Específico del Asfalto	62
Tabla 23.- Dosificación Briquetas Convencionales	63
Tabla 24.- Dosificación Briquetas Modificadas con PET.....	71
Tabla 25.- Dosificación Briquetas Modificadas con Caucho Nitrilo (NBR)	79
Tabla 26. Valor RICE briquetas asfálticas convencionales	64
Tabla 27. Método Marshall briqueta convencional.....	65
Tabla 28.- Características de la mezclas asfáltica compactada, mezcla convencional	66
Tabla 29.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica convencional.....	66
Tabla 30.- Contenido Óptimo de Asfalto	70

Tabla 31.- Resumen de datos, mezcla convencional.....	70
Tabla 32. Valor RICE briquetas modificadas con PET	72
Tabla 33. Método Marshall con briquetas modificadas con PET	73
Tabla 34.- Características de la mezclas asfáltica compactada, mezcla modificada con PET.....	74
Tabla 35.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica modificada con PET	74
Tabla 36.- Contenido Óptimo de Asfalto.....	78
Tabla 37.- Resumen de datos, mezcla modificada con PET	78
Tabla 38. Valor RICE briquetas modificadas con Caucho Nitrilo.....	80
Tabla 39. Método Marshall con briquetas modificadas con Caucho Nitrilo	81
Tabla 40.- Características de la mezclas asfáltica compactada, mezcla modificada con Caucho Nitrilo	82
Tabla 41.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica modificada con Caucho Nitrilo	82
Tabla 42.- Contenido Óptimo de Caucho Nitrilo.....	86
Tabla 43.- Resumen de datos, mezcla convencional.....	85
Tabla 44.- Propiedades de los tres tipos de mezclas asfálticas	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Perfil típico de una estructura de pavimento flexible.....	7
Figura 2.- Composición Química del Asfalto	9
Figura 3.- Botellas PET.....	18
Figura 4.- Caucho Nitrilo	20
Figura 5.- Ahuellamiento	23
Figura 6.- Fisuras Longitudinales y Transversales	23
Figura 7.- Piel de Cocodrilo.....	24
Figura 8.- Desprendimiento de Agregados	24
Figura 9.- Etapas de la Investigación	30
Figura 10.- Mina de Agregados	31
Figura 11.- Adquisición de material PET	32
Figura 12.- Obtención Caucho de Nitrilo.....	32
Figura 13.- Ensayo Rice.....	43
Figura 14.- Curva Granulométrica	52
Figura 15. Peso específico Bulk / Contenido de asfalto	67
Figura 16. Vacíos en aire / Contenido de asfalto	67
Figura 17. Estabilidad / Contenido de asfalto	68
Figura 18. Flujo o deformación / Contenido de asfalto	68
Figura 19. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de asfalto	69
Figura 20. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de asfalto	69
Figura 22. Peso específico Bulk / Contenido PET.....	75
Figura 23. Vacíos en aire / Contenido PET	75
Figura 21. Estabilidad / Contenido de PET	76
Figura 24. Flujo o deformación / Contenido de PET	76
Figura 25. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de PET.....	77
Figura 26. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de PET	77
Figura 27. Peso específico Bulk / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)	83
Figura 28. Vacíos con aire / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR).....	83
Figura 29. Estabilidad / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR).....	84
Figura 30. Flujo o deformación / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR).....	84

Figura 31. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)	85
Figura 32. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)	85
Figura 33.- Variación Peso Específico Bulk	87
Figura 34.- Variación Vacíos	88
Figura 35.- Variación Estabilidad	88
Figura 36.- Variación Flujos	89
Figura 37.- Variación Vacíos en Agregado Mineral.....	90
Figura 38.- Vacíos llenos de Asfalto.....	90

RESUMEN EJECUTIVO

Actualmente a nivel mundial la contaminación ambiental se ha ido incrementando debido al mal manejo de los desechos, uno de los principales contaminantes son los polímeros encontrados en materiales como plásticos y cauchos. En este trabajo se modificó la mezcla asfáltica convencional con la implementación de material reciclado no biodegradable mejorando algunas de las propiedades mecánicas del asfalto, de manera que se fomente la reutilización de materiales que se consumen comúnmente.

Se elaboraron briquetas de asfalto convencional y asfalto modificadas con material reciclado PET (Polietileno Tereftalato) y modificadas con Caucho de Nitrilo con la finalidad de analizar sus propiedades mecánicas y el desempeño en comparación con las mezclas de asfalto convencional, dando un nuevo uso a estos materiales.

Se analizó el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con la adición en porcentajes de 5, 10, 15 y 20 por ciento de PET, además de una modificada con el 2, 3, 4 y 5 por ciento de Caucho Nitrilo para lo cual se empleó la norma ASTM D 1559 y AASHTO T 225; se elaboraron 36 muestras, de las cuales 12 corresponden a mezclas asfálticas convencionales y 24 a mezclas modificadas, una vez analizadas se estableció el porcentaje óptimo de asfalto y de polímero, finalmente mediante un análisis comparativo de los resultados se determinó que la adición de estos materiales mejoran varios parámetros de la mezcla asfáltica en comparación con la convencional, siendo así la mejor opción la muestra añadida con caucho nitrilo.

Palabras Claves: Briquetas, Mezclas asfálticas, Asfalto modificado, PET, Caucho nitrilo, Análisis comparativo, Porcentaje óptimo, Propiedades mecánicas.

ABSTRACT

Currently worldwide environmental pollution has been increasing due to poor waste management, one of the main pollutants are polymers found in materials such as plastics and rubber. In this work, the conventional asphalt mix was modified with the implementation of non-biodegradable recycled material, improving some of the mechanical properties of asphalt, so as to promote the reuse of commonly consumed materials.

Conventional asphalt briquettes and asphalt modified with PET (Polyethylene Terephthalate) recycled material and modified with Nitrile Rubber were made in order to analyze their mechanical properties and performance compared to conventional asphalt mixtures, giving these materials a new use. .

The behavior of a modified asphalt mixture with the addition of 5, 10, 15 and 20 percent of PET was analyzed, in addition to one modified with 2, 3, 4 and 5 percent of Nitrile Rubber for which ASTM D 1559 and AASHTO T 225; 36 samples were prepared, of which 12 correspond to conventional asphalt mixtures and 24 to modified mixtures, once analyzed the optimum percentage of asphalt and polymer was established, finally through a comparative analysis of the results it was determined that the addition of these materials Several parameters of the asphalt mix improve compared to the conventional one, thus being the sample added with nitrile rubber the best option.

Keywords: Briquettes, Asphalt mixes, Modified asphalt, PET, Nitrile rubber, Comparative analysis, Optimum percentage, Mechanical properties.

CAPÍTULO 1.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

El constante crecimiento de la población ha llevado al desarrollo de obras viales para la conexión entre las distintas ciudades y pueblos dentro del país, sin embargo este crecimiento genera que las cargas vehiculares aumenten, lo que causa un deterioro en la capa de rodadura provocando así fallas en la estructura del pavimento.

La falta de inversión en infraestructura vial, combinada con el creciente número de vehículos y los fenómenos climáticos, ha acelerado el deterioro de las carreteras, lo que resulta en mayores costos de mantenimiento y operación de los vehículos, así como en una disminución de la seguridad y calidad del servicio en las vías. Para asegurar una asignación adecuada de recursos económicos, es necesario llevar a cabo labores de conservación y mantenimiento de manera oportuna, utilizando las técnicas adecuadas. De esta forma, la inversión realizada será eficiente para corregir a tiempo los daños causados por el uso de las carreteras.[1]

Es importante garantizar que los sistemas viales conserven sus características originales según el diseño, prolongando así su vida útil de manera que se evite un deterioro acelerado. Para lograr esto, es necesario realizar un análisis previo de los daños y el estado de las vías, el cual será llevado a cabo por expertos técnicos. En consecuencia, se han explorado métodos para mejorar las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas, lo que podría generar beneficios económicos, sociales y ambientales. Es relevante destacar el énfasis en el aspecto ambiental, a través del uso de asfaltos modificados con materiales reciclados.

En 2014, Elizabeth Revelo Corella en su estudio con el tema “*DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON ELASTÓMERO (CAUCHO) Y TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADOS CON LIGANTE ASFÁLTICO AC-20*” [2], enfatiza como prioridad la conservación y uso sostenible de los recursos a través del reciclaje, en su investigación alude que la implementación más adecuada para materiales reciclados no biodegradables es en el campo vial.

Como parte de su proyecto trabajó en la elaboración de briquetas utilizando para su composición la forma convencional y modificadas a la cual añadió un 50% de elastómeros y un 50% de PET y una la cual estaba modificada únicamente con elastómeros, posteriormente a través del Método Marshall obtuvo los valores de las principales propiedades a tomar en consideración en mezclas asfálticas para finalizar realizó el análisis comparativo entre las briquetas elaboradas de manera tradicional y las modificadas, concluyendo que la mezcla con mejores resultados es la modificada solamente con elastómeros con un contenido del 7,5 % siendo esta la que mejores propiedades presento en los ensayos realizados. [2]

En el año 2016, Carolina Victoria Palma, José Carlos Ortiz Cisneros, Felipe Ávalos Belmonte y Adalí Castañeda Facio, en su estudio con el tema “*MODIFICACIÓN DE ASFALTO CON ELASTÓMEROS PARA SU USO EN PAVIMENTOS*” [3], destacan que los polímeros más compatibles al momento de realizar una modificación en el asfalto son los elastómeros, debido a que estos mejoran sus propiedades físico-químicas dado a que se obtiene una mejora en la susceptibilidad térmica del asfalto generando así que la mezcla logre un comportamiento visco-elástico mejorando significativamente las propiedades elásticas del pavimento, siendo así el copolímero estireno-butadieno-estireno (SBS) el que mejores propiedades aporta a la mezcla asfáltica a pesar de que presenta dificultades en su procesamiento es el más utilizado según varios autores, seguido del polvo de llanta. [3]

En el año 2017, Khedoudja Soudani, Véronique Cerezo, Smaïl Haddadi bajo el tema de estudio “*EFEECTO DE LOS RESIDUOS DE NBR EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL BETÚN MODIFICADO Y LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA*”[4] en la ciudad de Nantes – Francia, evaluaron las propiedades del betún modificado por NBR-residuos con la adición de 2, 3 y 4% de NBR, luego de ser analizadas las características mecánicas de las mezclas asfálticas utilizando la prueba de Marshall, las mezclas asfálticas modificadas muestran una mejora visible, se pudo notar que la mezcla asfáltica con un 4 % de residuos de NBR proporciona un resultado óptimo (es decir, alta rigidez y es probable que sea más resistente a la deformación permanente). [4]

El mismo año en la universidad de Malaysia Pahang varios autores realizaron un estudio “*UTILIZACIÓN DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET) EN MEZCLA*

BITUMINOSA PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO DE LAS CARRETERAS” [5], donde se propusieron estudiar el impacto de modificar mezclas asfálticas con 2, 5, 10, 15 y 20 por ciento de material PET con un contenido óptimo de asfalto de un 4.8%, emplearon el ensayo Marshall con el cual determinaron las propiedades de la mezcla asfáltica donde obtuvieron buenos resultados en estabilidad, flujo, vacíos de agregados minerales y los vacíos de aire en comparación con la mezcla asfáltica convencional, las pruebas revelaron que la mezcla modificada con un 10% de pet fue la obtuvo mejores resultados en cuanto al rendimiento del mezcla, considerándole así este material como un buen aditivo para el uso en el pavimento de carreteras. [5]

En 2019, Shekhar Bhau en la Universidad de Chandigarh en el país de la India, como parte de su investigación bajo el tema “*ANÁLISIS COMPARATIVO DE CONVENCIONALES Y CAUCHO DE NITRILO BUTADIENO MEZCLA BITUMINOSA MODIFICADA*” [6] señala que la modificación con el uso de residuos de polímeros tiene un efecto positivo en el diseño de pavimentos. La cantidad de NBR (Caucho Nitrilo) que utilizó varió en porcentajes de 5, 6, 7 y 8 por ciento, llegando así a obtener un contenido óptimo de NBR de 6%, con un porcentaje óptimo de asfalto de un 5%, los resultados que obtuvo muestran que los residuos de NBR influyen en las propiedades del asfalto con una disminución en la penetración y un aumento del punto de reblandecimiento en comparación con el asfalto convencional. Además, la resistencia mecánica del NBR fue mejor que la del asfalto convencional con una mejor estabilidad Marshall y valor de flujo. [6]

Ese mismo año el PhD. Fredy Alberto Reyes Lizcano, la Ing. María Fernanda Madrid Ahumada y la Ing. Sandra Ximena Salas Callejas en la ciudad de Bogotá - Colombia como parte de su investigación bajo el tema “*MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON UN ELASTÓMERO (CAUCHO) Y UN PLASTÓMERO (TIRAS DE BOLSAS DE LECHE CON ASFALTO 80-100)*” [7], destacan que la adición de productos industrializados como el caucho y el plástico podrían hacer parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un mejor comportamiento mecánico y por ende una mayor duración de vida, como parte de su investigación se realizó una mezcla asfáltica con los porcentajes óptimos de adición de plástico proveniente de bolsas de leche un 25% y de caucho proveniente de las llantas con un porcentaje de 75%, obteniendo así resultados en una disminución del

ahuellamiento del 8%, un aumento del módulo dinámico del 14%, lo cual indica una durabilidad del 25% en los pavimentos.[7]

En un estudio realizado en el año 2021 por Luz Magali Hoyos Díaz, Katyuska del Carmen Puicon Herrera y Sócrates Pedro Muñoz Pérez, como parte de su artículo bajo el tema *“USO DEL CAUCHO GRANULADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS: UNA REVISIÓN LITERARIA”* [8], realizaron una recopilación literaria donde analizaron diferentes artículos con el fin de determinar los procesos y métodos que se emplean con el uso del caucho granulado (CR), identificaron los porcentajes óptimos y la mejora que éste proporciona en las mezclas asfálticas. Utilizaron porcentajes de 1%, 2% y 3% de caucho en el peso de la mezcla total emplearon, analizaron los dos métodos más usados en la producción de asfalto el proceso húmedo, en el cual el caucho modifica al asfalto y el proceso seco el caucho es adicionado como un porcentaje del agregado fino. Determinaron las diferentes características que proporcionan estos dos procesos, el húmedo mejora la propiedad mecánica de resistencia a la formación de surcos, mientras que el proceso seco mejora las propiedades mecánicas como la deformación permanente, la resistencia al agrietamiento y además mejora la adherencia entre el aglutinante y los agregados. [8]

Actualmente se busca la optimización del consumo de las materias primas para contribuir así a un desarrollo sustentable y manera que al utilizar materiales provenientes del reciclaje se pueda dar un mejor uso al desecho de desperdicios constituidos por polímeros encontrados comúnmente en plásticos y cauchos, buscando así una solución que sea amigable con el medio ambiente.

Por tanto el presente trabajo experimental “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la adición de material PET (polietileno tereftalato), la adición de caucho de nitrilo y pavimento asfáltico tradicional para el mantenimiento vial en grietas longitudinales y transversales”, forma parte del proyecto de investigación titulado “Evaluación del estado de la capa de rodadura en la red vial intercantonal de la provincia de Tungurahua y su efecto para la conservación vial”, donde con este tema se busca diseñar una mezcla asfáltica modificada con diferente tipos de polímeros el cual cumpla con las especificaciones técnicas necesarias para ser empleada en el campo vial y que ayude a mantener la funcionalidad y conservación de la vía.

1.1.2. Justificación

El asfalto es empleado para obras de infraestructura vial, las mismas que actualmente forman parte de un importante medio para el desarrollo y comunicación entre las distintas poblaciones de un país, debido a que permite el acceso a servicios y recursos, ayudando así a la integración territorial.

En el Ecuador el asfalto es obtenido de refinerías nacionales, tomando en cuenta que con el transcurrir del tiempo las reservas de petróleo tanto en el país como en el mundo tienden a disminuir debido a su constante extracción, de ahí surge la necesidad de buscar alternativas para el desarrollo de mezclas asfálticas con materiales sean éstos procedente del reciclaje, desecho industrial o la fabricación de materiales, tratando así de mejorar las propiedades y la durabilidad del pavimento, además de reducir la afectación ambiental que ocasiona el desperdicio de desechos y residuos. [9], [10]

En la actualidad la capa asfáltica presente en las principales vías de la ciudad denota fallas ocasionadas por el constante accionar de las sollicitaciones del tránsito y del clima, lo cual conlleva a la necesidad de realizar un mantenimiento para conservar la vida útil y la serviciabilidad del pavimento. [11]

La implementación de planes de mantenimiento vial en el país se basan en la normativa NEVI-12, volumen 6 “Operaciones de mantenimiento vial”, ahí se especifica en la Sección 6.105 “Pavimentos Asfálticos” el trabajo que se debe ejecutar para el mantenimiento de las distintas fallas que se suelen presentar en las vías, como una de las más comunes suelen ser las grietas longitudinales y transversal. [12]

Por tal razón, el presente trabajo experimental tiene como finalidad el análisis comparativo de las propiedades que presentan las briquetas de asfalto con materiales reciclados como el PET encontrado en botellas plásticas de uso común y el caucho nitrilo proveniente de residuos generado por las industrias del calzado y comparados con la mezcla convencional, de esta manera obtener resultados que logren mejorar la calidad de la carpeta asfáltica y a su vez contribuir con la conservación del medio ambiente.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1.Pavimento

Compuesto por varias capas superpuestas de manera horizontal que se diseñan y construyen en base a normas y especificaciones, con materiales adecuados según requiera el diseño.

Estas estructuras descansan sobre una base de tierra (subrasante) la cual ha sido obtenida por medio de una excavación en el proceso de diseño, esta debe ser capaz de soportar las cargas constantes generadas por el tránsito durante el período para el cual fue diseñada la carpeta asfáltica. [13]

Un pavimento debe cumplir con ciertos requisitos para poder desempeñar adecuadamente sus funciones, lo cuales son:

- Capacidad de soportar las fuerzas generadas por el tránsito vehicular.
- Capacidad de resistir los efectos de los agentes climáticos.
- Presentar una superficie adecuada la cual se adapte a las velocidades esperadas de circulación de los vehículos, debido a que esto influye significativamente en la seguridad en las carreteras. Asimismo, es fundamental que la superficie sea duradera y pueda soportar la abrasión causada por el constante roce de las llantas de los vehículos.
- Es necesario que la superficie presente una regularidad tanto en su ancho como en su longitud, de manera que los usuarios puedan sentirse cómodos tomando en cuenta las longitudes de onda de las deformaciones y la velocidad a la que circulan.
- Debe ser duradero.
- Proporcionar un sistema de drenaje adecuado.
- Es importante controlar adecuadamente el ruido de rodadura generado por los neumáticos, en el interior de los vehículos afecta al conductor y a sus pasajeros, mientras que en el exterior impacta al entorno, este ruido deber ser apropiadamente moderado.
- Ser económico.
- Es necesario que posea un tono apropiado para prevenir reflejos y destellos, de manera que se garantice seguridad al tránsito. [13]

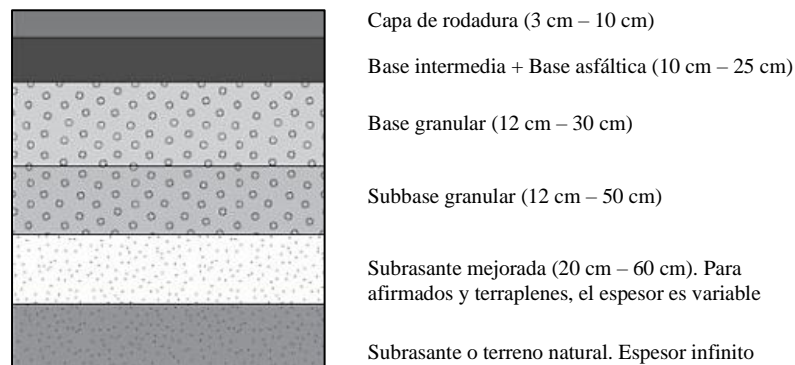
1.1.3.2. Pavimento Flexible

Se definen como estructuras conformadas por una capa asfáltica la cual se encuentra apoyada sobre capas de menor rigidez, compuesta por materiales granulares no tratados o ligados (base, subbase y en algunos casos subrasantes mejoradas o con material de confortación), que soportan sobre el terreno natural.

Los esfuerzos generados por las cargas vehiculares se disipan por medio de cada una de las capas que configuran el pavimento de manera que al llegar a la subrasante, la resistencia mecánica del suelo que la compone deber ser capaz de resistir los esfuerzos son producir deformaciones que generen un deterioro funcional o estructural de la vía.

Cada una de las capas que conforman la carpeta asfáltica están formadas por mezclas asfálticas, las mismas que están elaboradas con materiales granulares seleccionados y unidos por medio de un material asfáltico. Estas mezclas están constituidas por agregados pétreos tanto finos como gruesos con granulometrías y requisitos mínimos de calidad. Además, cada capa cumple una función diferente en la estructura del pavimento, y en base al tipo de material asfáltico o ligante que emplea. [14]

Figura 1.- Perfil típico de una estructura de pavimento flexible



Fuente: Pavimentos: materiales, construcción y diseño. (2015)

1.1.3.2.1. Funciones del pavimento flexible

El pavimento flexible debe estar diseñado para proporcionar una superficie de carretera segura y duradera tanto para vehículos y peatones, las principales funciones que debe cumplir son:

- **Estructural.** Esta capa debe ser diseñada y construida de manera que sea resistente a la fatiga y a las deformaciones inducidas por las constantes cargas vehiculares. Como parte adicional también debe resistir los efectos producidos por acción del clima.
- **Funcional.** Esta capa recibe de forma directa las cargas vehiculares que transitan sobre el pavimento, por lo cual debe ser diseñada para permitir una circulación segura y cómoda.
- **Impermeabilización.** Esta capa obstaculiza la filtración del agua a las capas subyacentes, evitando así la pérdida de resistencia al corte que ocurrir en las capas granulares de base y subbase, así como la subrasante cuando aumenta el grado de saturación de los materiales que la conforman. [14]

1.1.3.3. Asfalto

Es un material aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, su color varia de pardo oscuro a negro, su consistencia es sólida, semisólida o líquida dependiendo la temperatura a la que este expuesta, el constituyente principal es el betún el cual se halla en la naturaleza o se lo obtiene por medio de la destilación del petróleo.

Ademas es una sustancia que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos con las que se combina generalmente. Ademas es altamente resistente a la mayor parte de ácidos, álcalis y sales.[15]

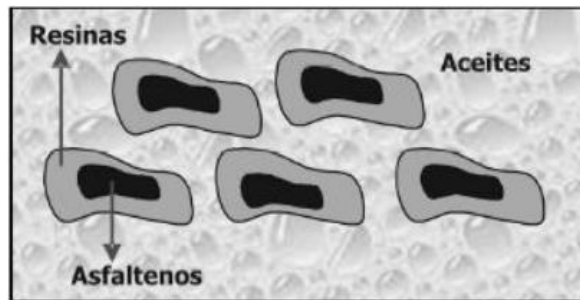
Propiedades Químicas Del Asfalto

La composición química del asfalto hace que sea un material muy versátil en la construcción de carreteras, fundamentalmente está compuesta por distintos hidrocarburos y algunos residuos de azufre, nitrógeno, oxígeno y otros elementos tales como el calcio, magnesio, níquel y vanadio. [16]

Los principales componentes del asfalto son los asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos son los encargados de otorgar el color y la dureza al asfalto, este es similar al polvo grueso del grafito. Los maltenos son líquidos viscosos los mismos que están compuestos de resinas y aceites, lo cual le proporciona cualidades adhesivas al asfalto.

La proporción de esos materiales varía dependiendo un sin número de factores como las altas temperaturas, la exposición a la luz y oxígeno, tipo de agregados y espeso de la película de asfalto. [16]

Figura 2.- Composición Química del Asfalto



Fuente: Análisis de un asfalto modificado con icopor y su incidencia en una mezcla asfáltica densa en caliente. SciELO

Propiedades Físicas Del Asfalto

Las propiedades que debe presentar un asfalto en relación con la planificación, edificación y conservación de carreteras son sus características físicas como:

- **Adhesión.-** Permite que el asfalto se adhiera al agregado en la mezcla de asfáltica.
- **Cohesión.-** Esta propiedad permite mantener firmemente las partículas de agregado en el pavimento terminado.
- **Durabilidad.-** Capacidad que permite al asfalto mantener sus características originales cuando se ha sido expuesto a procesos de degradación y envejecimiento.
- **Endurecimiento y Envejecimiento.-** Mientras se construye el pavimento y una vez terminada, el asfalto tiende a endurecerse, esto se debe a la combinación del asfalto con el oxígeno, lo cual se conoce como oxidación. Este proceso de endurecimiento y oxidación es más pronunciado a altas temperaturas y en películas delgadas, especialmente durante la aplicación del asfalto en las partículas de agregado durante el proceso de mezclado.
- **Susceptibilidad a la temperatura.-** Los asfaltos tienen propiedades termoplásticas, lo que significa que su viscosidad se ve afectada por la temperatura. Su consistencia se vuelve más dura (más viscosa) cuando la temperatura baja, mientras que se ablanda (menos viscosa) cuando la

temperatura aumenta. Esta propiedad se conoce como susceptibilidad a la temperatura o tasa de variación de viscosidad con la temperatura, y es una característica muy importante del asfalto. Esta propiedad varía según el origen del petróleo utilizado para producir el asfalto, incluso si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es necesario que mantenga una consistencia adecuada a altas temperaturas para recubrir las partículas de agregado durante el proceso de mezclado, lo que permitirá que se desplacen entre sí durante la compactación. [17]

1.1.3.4. Asfalto AC-20

Es un asfalto obtenido por medio del proceso de separación del petróleo para aislar soluciones volátiles así como sus aceites. La viscosidad del asfalto cambia según la temperatura y su composición incluyendo las resinas que le dan una buena adherencia a los materiales pétreos, lo que lo convierte en un excelente aglutinante. Cuando se calienta, las resinas se disuelven y cubren completamente las partículas del material pétreo, proporcionándoles propiedades de consistencia. [18]

El asfalto AC-20 es de los más usados en la construcción y mantenimiento de vías ecuatorianas por lo cual debe cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

Tabla 1.- Ficha Técnica Asfalto AC-20

CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO DEL CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL	AC-20	
	Min.	Max
Viscosidad rotacional a 60 °C. máximo, Pa.S	200 ± 40	
Viscosidad Cinemática a 135 °C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	300	---
Viscosidad Saybolt Furol a 135 °C, s.	120	---
Penetración a 25 °C, 100 gr. 5 s, 101 mm.	60	---
Punto de inflamación Cleveland; °C.	232	---
Solubilidad, %.	99	---
Punto de Reblandecimiento, °C	48 - 56	
DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA		
Pérdida por calentamiento; %.	---	0.5
Viscosidad dinámica a 60 °C, Pa.S.	---	800
Ductilidad a 25 °C y 5 cm/min, cm.	50	---
Penetración retenida a 25 °C, %.	54	---

Fuente: NTE INEN 2515

1.1.3.5. Agregados Pétreos

Los agregados son materiales sólidos inertes y duros que se utilizan en la construcción de carreteras como parte de las distintas capas que la conforman, con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas, sirviendo como estructura de soporte, se los emplean en la fabricación de productos artificiales mediante el uso de aglomerantes o ligantes. Estos estarán compuestos de partículas gruesas como piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural y partículas finas como arenas. [19]

- **Agregado Grueso**

Se encuentra conformado por roca, grava, piedra natural o piedra bola triturada, según la SUCS (Sistema de Clasificación de Suelos), se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. [19]

- **Agregado Fino**

Lo conforman las arenas, resultado de la desintegración o trituración de rocas, o como parte de yacimientos naturales, según la SUCS (Sistema de Clasificación de Suelos), se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo que pasa el tamiz #4 (4.75 mm) y lo que queda retenido en el tamiz #200. [19]

- **Polvo Mineral (Filler)**

Se define como polvo mineral, a la parte del material pétreo total que pasa el tamiz #200, este polvo podrá ser de piedra caliza, cenizas de carbón, cemento Portland u otro material mineral. [19]

Los agregados tendrán que ser elementos limpios, sólidos y resistentes, de tal forma que cumplan con los requisitos de graduación correspondientes en la tabla 405-5.1. de la MOP - 001-F 2002, "Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puente" los mismos se clasifican en categorías "A", "B" y "C" según lo establecido a continuación:

Tabla 2.- Requisitos de Graduación

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	A	B	C
1" (25,4 mm)	100	-	-
3/4" (19.0 mm)	90 - 100	100	-
1/2" (12.7 mm)	-	90 - 100	100
3/8" (9.50 mm)	56 - 80	-	90 - 100
No.4 (4.75 mm)	35 - 65	44 - 74	55 - 85
No.8 (2.36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67
No.16 (1.18mm)	-	-	-
No.30 (0.60 mm)	-	-	-
No.50 (0.30 mm)	5 - 19	5 - 21	7 - 23
No.100 (0.15 mm)	-	-	-
No.200 (0.075 mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

- **Tipo A:** Lo conforman partículas de agregados gruesos obtenidos por medio de trituración. Por otro lado, el agregado fino puede estar compuesto por arena natural o material que ha sido triturado, y si es necesario se puede añadir material mineral según sea necesario. El relleno mineral utilizado puede contener cemento Portland si se especifica en el proyecto de construcción. [20]
- **Tipo B:** Son aquellos donde al menos el 50% de las partículas que lo componen es obtenido por molienda del agregado grueso. Los agregados finos y los rellenos minerales pueden ser obtenidos por trituración o de depósitos naturales, dependiendo de la disponibilidad en la zona donde se realizará el proyecto. [20]
- **Tipo C:** Se utilizan en la fabricación de hormigón asfáltico los cuales pueden ser extraídos de yacimientos naturales u obtenidos mediante el proceso de trituración, dependiendo la disponibilidad en la zona. No obstante, es importante confirmar que la estabilidad, evaluada a través del ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites establecidos. [20]

Propiedades Físicas De Los Agregados

Para la producción de mezclas asfálticas en caliente se emplean comúnmente agregados que se clasifican en tres categorías: agregados gruesos, finos o polvo mineral (filler). La norma ASTM establece a los agregados gruesos como las partículas

que se quedan retenidas en el tamiz N°4 (abertura 4,75 mm), el agregado fino es el material que pasa el tamiz N°4 y es retenida en el tamiz N° 200, mientras que el relleno o polvo mineral aquel material que pasa el tamiz N° 200 (75µm) en un 70% como porcentaje mínimo. La idoneidad de los agregados para su uso en mezclas asfálticas en caliente se determina por medio de la evaluación de ciertas características mecánicas como las siguiente [21]:

- Absorción
- Afinidad por el asfalto
- Durabilidad / resistencia
- Forma de partícula
- Limpieza / materiales deletéreos
- Tamaño y gradación
- Tenacidad / dureza [21]

1.1.3.5.1. Ensayos Realizados A Los Agregados

Análisis Granulométrico

Tiene como objeto determinar la distribución granulométrica de los agregados tanto finos como gruesos mediante el proceso de tamizado el mismo que puede ser realizado de manera manual o mecánica por medio de lo cual se pueda separar las partículas del agregado según sus tamaños, de esta forma es posible conocer las cantidades en peso de cada tamaño que contribuyen al peso total. [22]

Resistencia al desgaste por abrasión

Determina el desgaste en las partículas, especialmente en loa agregados gruesos de tamaño inferior a 37.5 mm, a través de la pérdida de masa por desgaste e impacto empleando la máquina de Los Ángeles. Por medio de este ensayo se puede determinar la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada por medio del impacto y la molienda de un tambor giratorio y un determinado número de esferas de acero las cuales conjunto con la gradación de la muestra será determinado según las especificaciones. [23]

Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado

La densidad aparente y relativa (gravedad específica aparente) corresponde al material sólido que conforman las partículas constitutivas, sin incluir los vacíos de poros dentro de las partículas a los cuales es accesible el agua, mientras que los valores de absorción se emplean para determinar los cambios en la masa de los agregados debido al agua absorbida por los poros en comparación con la condición seca cuando el agregado ha estado en contacto con el agua el tiempo suficiente para alcanzar el mayor potencial de absorción. [24]

Porcentaje de Caras Fracturadas en los Agregados

La forma de los agregados puede tener un impacto significativo en distintos aspectos del proceso de pavimentación, incluyendo su facilidad de colocación, la cantidad de fuerza necesaria para compactarlas correctamente y la resistencia del pavimento a lo largo de su vida útil.

Cuando las partículas son irregulares y angulares, tienden a ser más resistentes al movimiento en el pavimento, ya que se interconectan al compactarse. Para lograr el mejor entrelazamiento, es preferible utilizar partículas con bordes afilados y forma cúbica, que suelen ser el resultado de la trituración. [25]

1.1.3.6. Mezclas Asfálticas

Es el producto obtenido de la mezcla uniforme de un material asfáltico con uno pétreo, el tipo de mezcla que se elija será el que determine el efecto que tendrá el ligante sobre todo el conjunto. Las características de las mezclas con una distribución uniforme en el tamaño de sus partículas se ven afectadas negativamente por la interconexión de los áridos, mientras que las que tienen una gran cantidad de aglutinante asfáltico están más influenciadas por la firmeza de la relación entre el aglutinante, los minerales pulverizados y la arena.

En altas temperaturas el ligante puede ablandarse y provocar deformaciones en la mezcla (ahuellamiento), especialmente en pavimentos de tráfico pesado. En cambio, en temperaturas bajas, el ligante se vuelve más rígido y pierde resistencia, lo que la hace más susceptible a fisuraciones.

Por lo tanto, es crucial la correcta selección y dosificación de los materiales para obtener mezclas asfálticas que tengan un buen comportamiento. [26]

1.1.3.6.1. Mezcla Asfálticas En Caliente

Son elaborados en caliente mediante el uso de materiales pétreos y cemento asfáltico, en una instalación estacionaria o móvil, la cual deberá contar con los equipos necesarios para calentar los materiales que componen la mezcla.

Su fabricación se lleva a cabo a temperaturas elevadas (140 – 150 °C), ajustadas a la viscosidad del cemento asfáltico para evitar que se enfríe al entrar en contacto con los agregados en la mezcla, los mismo que también deben ser calentados previamente. La colocación de la mezcla asfáltica en el sitio de construcción se realiza a temperaturas más altas que las del ambiente para que se pueda extender y compactar con facilidad.

El Método Marshall ha sido el más utilizado durante muchos años y actualmente aún se sigue utilizando para analizar la estabilidad, flujo (deformación) y contenido de vacíos de las mezclas asfálticas. [27]

1.1.3.6.2. Mezclas Asfálticas En Frío

Se producen mediante la utilización de emulsiones asfálticas compuestas por asfalto, emulsificantes y agua. Su particularidad es que son fáciles de manipular después de su fabricación durante varias semanas, debido a que el ligante (asfalto fluidificado) mantiene una baja viscosidad durante un largo periodo de tiempo, lo que permite su almacenamiento ya que la viscosidad aumenta muy lentamente. Sin embargo, después de la aplicación de una capa delgada, el endurecimiento es rápido debido a la evaporación del fluidificante. [27]

1.1.3.6.3. Mezclas Asfálticas Modificadas

Son el producto de la incorporación de asfalto con un polímero, esta modificación busca mejorar sus propiedades viscoelásticas de manera que se cumpla con los requerimientos de cualquier proyecto. En términos simples, el objetivo de esta modificación es mejorar la elasticidad, flexibilidad, consistencia y durabilidad del asfalto, con el fin de evitar fisuras, deformaciones y desprendimientos en la mezcla. [28]

1.1.3.7. Polímeros

Son moléculas de gran tamaño, formadas por unidades más pequeñas llamadas monómeros, que están unidas por enlaces covalentes.

Estos eslabones están compuestos principalmente por átomos de carbono y pueden tener grupos laterales o radicales con uno o múltiples átomos. Estas moléculas orgánicas son la base de los materiales plásticos y también conformar ciertos tejidos que se encuentran en los organismos vivos.

La producción de polímeros sintéticos se lleva a cabo mediante un proceso llamado polimerización, en el que miles de monómeros reaccionan y forman una cadena macromolecular. Para poder producir polímeros a gran escala, se utilizan materiales primas como el carbón, el gas natural, y el petróleo. La polimerización es considerado como un proceso químico complejo y diverso. [29]

Clasificación De Los Polímeros

Según su origen:

- **Naturales:** Se encuentran en la naturaleza o su vez son producidas por organismos vivos, estos se emplean sin alteraciones en su estructura, estos polímeros se encuentran en celulosas, proteínas, almidón, polisacáridos, caucho natural.
- **Sintéticos:** Son macromoléculas producidas por el ser humano las cuales pueden ser clasificadas en dos tipos según su comportamiento al ser sometidos al calor: termoplásticos y termorrígidos.

Los termoplásticos se vuelven blandos o se funden al ser calentados, estos son capaces de disolverse en ciertos solventes. Están compuestos por moléculas de cadenas largas que generalmente no tienen ramificaciones. Por otra parte, los termorrígidos se descomponen al ser sometidos al calor y no pueden ser fundidos, ni disueltos. Estos tienen estructuras tridimensionales con reticulación. [29]

Según su respuesta termo-mecánica:

- **Termoplásticos:** A altas temperaturas este tipo de polímeros puede ser moldeado sin que sus enlaces se modifiquen significativamente, motivo por el

cual puede ser enfriado y luego reconformado sin afectar su comportamiento. Esto se debe a que la naturaleza de sus enlaces químicos no cambia drásticamente con el aumento de temperatura. Además, estos polímeros termoplásticos tienen una estructura molecular lineal.

- **Termorrígidos:** Se le conoce también como termoestables, los cuales se obtienen mediante la polimerización o la introducción de enlaces químicos cruzados (cross links). Debido a esta reticulación impiden que estos polímeros sean reprocesados nuevamente después de haber sido moldeados.
- **Elastómeros:** O también conocidos como cauchos o hules, puede tener distintos comportamientos térmicos, los cuales dependen de su estructura sea esta lineal o reticulada. Este tipo de polímeros se clasifican en base a su comportamiento mecánico debido a que tienen la capacidad de deformarse elásticamente en más de un 300%, esto indica que recuperan sus dimensiones originales cuando se elimina la fuerza que lo estiro por efecto del desenrollamiento de las cadenas poliméricas. Sin embargo, este comportamiento ideal no siempre es el caso, en realidad las cadenas no sólo se desenrollan sino que también deslizan unas sobre otras, lo que puede causar una deformación plástica o remanente incluso después de que se ha eliminado la fuerza aplicada.

Tabla 3.- Tipos de Elastómeros

Elastómeros	Cauchos Naturales	
	Cauchos Sintéticos	Estireno-butadieno (SBR)
		Polibutadieno (BR)
		Isopreno
		Etileno-propileno(EPM-EPDM)
		Isobutileno-isopreno (IIR)
		Cauchos de nitrilo (NBR)
		Policloropreno (neopreno)
		Cauchos fluorados (CFM-FKM)
		Cauchos de silicona (Q)
Termoplásticos		

Fuente: Encarnación Cano Serrano, 2012

- **Adhesivos:** Tiene una capacidad para ser extendido hasta cierto limite, además posee una elevada adherencia pero aun así logra mantener cierta unión interna. Por lo general suele presentar una cristalinidad reducida

- **Recubrimientos de superficies:** Posee propiedades similares a la de los pegamentos, pero también presenta una alta capacidad para resistir el desgaste. Son empleados con la finalidad de proteger y adornar.
- **Fibras:** A este tipo de material se lo puede entrelazarlos o unirlos para crear prendas que mantengan su forma tridimensional sin deformarse excesivamente. Es fundamental que tengan una buena resistencia y una predisposición hacia la cristalización. [29]

1.1.3.8. Tereftalato De Polietileno (PET)

Es un tipo de polímero termoplástico, que se produce mediante la combinación del etilenglicol y el ácido tereftálico a través de la polimerización. Pertenece a la categoría de los poliésteres donde su estructura puede ser amorfa o parcialmente cristalina según la rapidez con la que se enfríe después de darle una forma.

El PET es ampliamente utilizado en distintas industrias debido a su versatilidad, de hecho, aproximadamente el 70% de todas las fibras sintéticas se producen a partir de PET. También es utilizado en la producción de cuerdas para llantas, diversos productos textiles y de piel, y, principalmente, en la elaboración de envases para la industria alimentaria.

A principios de los años 90 el PET comenzó a ser utilizado comúnmente, especialmente en la industria del envasado gracias a las múltiples ventajas que ofrece como su diversidad en formas y colores, además cabe destacar que tiene un peso relativamente bajo, sus aplicaciones incluyen envases moldeados para bebidas, cintas magnéticas, y películas fotográficas. Debido a su baja absorción de humedad, se lo emplea en la creación de fibras para muebles y en mezclas con algodón para la fabricación de ropa. [30]

Figura 3.- Botellas PET



Fuente: RETEMA

Propiedades del PET

- Resistencia al ataque químico de aceites, alcoholes, combustibles, éteres, hidrocarburos y grasas, bases diluidas y ácidos.
- Es soluble en menor grado ante solventes aromáticos, halogenados, cetonas y bases fuertes, mientras que es insoluble en solventes orgánicos.
- Resistencia al envejecimiento ante factores como humedad, temperatura ambiental, radiaciones solares, entre otros.
- Estabilidad térmica, es estable a temperaturas menores a 71 °C, mientras que cristalizado es estable a temperaturas menores a 230 °C.
- Permeabilidad, tiene una excelente barrera ante el CO₂ y O₂
- Densidad, en estado amorfo varía entre 1.33 – 1.37 g/cm³ y en estado cristalino varía entre 1.33 – 1.37 g/cm³
- Conductividad térmica, buen aislamiento térmico de 0.24 W/m x K
- Absorción del agua, menor al 0.7% durante 24 horas
- Propiedades ópticas, tiene un transmisión de luz de un 89% y un índice de refracción de 1.576
- Propiedades biológicas, no presenta vulnerabilidad al ataque microbiológico, al ser un material no biodegradable sus propiedades se mantienen con el pasar del tiempo. [30]

1.1.3.9. Caucho De Nitrilo

También conocido con el nombre de NBR, Buna-N y caucho de acrilonitrilo butadieno, es un copolímero de caucho sintético de acrilonitrilo (ACN) y butadieno. [31]

A pesar de que las características tanto físicas como químicas varían según su composición, lo que le hace destacar a este tipo de caucho es su capacidad para ser resistente al aceite, combustible y otros químicos. En general, cuanto mayor sea la cantidad de nitrilo en el polímero, mayor será su resistencia al aceite, pero su flexibilidad disminuirá.

Actualmente, el caucho de nitrilo es uno de los elastómeros comúnmente más empleados en la industria automotriz y aeronáutica, se lo utiliza para la fabricación de

mangueras que manipulan los combustibles y aceites, así como la elaboración de ojales, juntas y depósitos de combustibles autosellables, debido a que los cauchos convencionales no son adecuados para este tipo de aplicaciones. El NBR gracias a su capacidad para resistir temperaturas que oscilan entre -40 y 108 °C (-40 a 226 °F), lo hace un material ideal para uso en aplicaciones aeronáuticas. Además es utilizado para la creación de otros productos como adhesivos, artículos moldeados, calzado, esponjas, espumas expandidas, alfombras para el suelo y selladores. Algunos usos del caucho nitrilo se emplean en la fabricación de guantes desechables sin látex, correas de transmisión de automóviles, juntas tóricas, juntas de aceite, correas trapezoidales, juntas hidráulicas estáticas y dinámicas, cuero sintético, rodillos de impresión y revestimiento de cables. También se puede utilizar el látex de NBR como aglutinante de pigmentos y en la elaboración de adhesivos.

El caucho de nitrilo ofrece una mayor resistencia ante los ácidos y aceites en comparación con el caucho natural, pero este tiene una flexibilidad menor. En general, el caucho nitrilo tiene una buena resistencia a los hidrocarburos alifáticos. Sin embargo, tanto el caucho de nitrilo como el natural pueden verse afectados por el ozono, cetonas, hidrocarburos aromáticos, ésteres y aldehídos. [31]

Figura 4.- Caucho Nitrilo



Fuente: G&T INDUSTRIAL SOLUTIONS

Propiedades Caucho De Nitrilo

- Buena adhesión a los metales
- Buena resistencia a la flexión
- Excelente propiedades mecánicas (HNBR)
- Resistencia a los aceites
- Resistencia a los solventes

- Resistencia a la abrasión (XNBR)
- Resistencia a la temperatura y al ozono (HNBR)
- Temperatura de trabajo mayor 120°C
- Se proveen en distintos grados [32]

1.1.3.10. Diseño Mezcla Asfáltica

El procedimiento de diseño de mezclas asfálticas implica llevar a cabo varias pruebas para poder definir si la proporción empleada cumple con las especificaciones técnicas establecidas.

Indistintamente del enfoque para el cual se utilice el diseño, es importante escoger los agregados y asfalto adecuados para realizar los especímenes (briquetas) con la mezcla preliminarmente preparada, para poder determinar los parámetros volumétricos y posteriormente el contenido óptimo de asfalto. [33]

El propósito del diseño de mezclas asfálticas es:

- Contar con una proporción adecuada de asfalto en la mezcla para lograr un pavimento resistente a largo plazo.
- Tener una mezcla estable que pueda soportar las cargas del tráfico vehicular.
- Conseguir una mezcla con el nivel de vacíos permitido el cual facilitara la compactación, evitando que sea demasiado baja para evitar la exudación, pero lo suficiente para impedir la penetración de aire y agua.
- Una mezcla que posibilite una labor apropiada durante el proceso de tendido, evitando la separación de sus componentes. [33]

1.1.3.10.1. Método Marshall

Este método se emplea tanto en la etapa de diseño como en el control en obra, es utilizado para agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1 pulgadas). Además se ha adaptado para permitir el uso de agregados de hasta un tamaño máximo nominal (TMN) de 38 mm (1.5 pulgadas) mediante la realización de pruebas que involucran análisis de densidad y vacíos volumétricos, así como mediciones de estabilidad y flujo.

Para el diseño se elaboran muestras con medidas estandarizadas de 64 mm de altura y 102 mm de diámetro, para lograrlo la mezcla asfáltica deberá ser compactada utilizando un martillo el cual tiene un peso de 10 lb que proporciona una energía al caer desde una altura de 18 pulgadas. Es importante recalcar que durante el proceso de elaboración de las briquetas se aplica un respectivo número de golpes a cada cara dependiendo al tipo de tráfico al que estará expuesta sea este pesado (75), medio (50) o ligero (35). [33]

Principalmente se evalúan seis parámetros:

- Peso específico Bulk
- Porcentajes de vacíos
- Porcentajes de vacíos llenos de agregado mineral (VMA)
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VAF)
- Estabilidad
- Flujo

1.1.3.11. Fallas En La Mezcla Asfáltica

Ciertos tipos de fallas que se presentan en las mezclas asfálticas luego de ser puestas en obra están ligadas con las características reológicas del ligante, entre las fallas se tiene:

Ahuellamiento

Las repeticiones de la carga vehicular pueden causar una acumulación de deformaciones permanentes en cualquiera de las diferentes capas del pavimento o en su base. Si el área afectada es pequeña, las deformaciones se presentan en las capas superiores y usualmente viene seguido de un deslizamiento y levantamiento lateral del pavimento; sin embargo, si el área afectada es de gran tamaño las deformaciones aparecen en las capas inferiores o en la base del pavimento. [34]

Figura 5.- Ahuellamiento



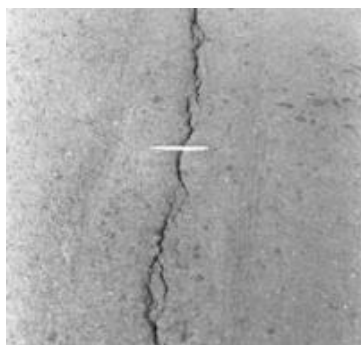
Fuente: MOPC

Fisuras Longitudinales y Transversales

Es el agrietamiento que se produce en la superficie del pavimento, en paralelo al eje de la calzada este puede encontrarse en zonas donde existe un tráfico constante, cerca de los bordes o en zonas de distribución de la mezcla asfáltica, la ubicación de este tipo de fisuras suele indicar la posible causa o mecanismo que las origino, por tanto es importante tenerla en cuenta durante su evaluación

En su etapa inicial, aparece como una fisura simple, pero con trascurso del tiempo se ramifica y se crean fisuras laterales, lo que se conoce como "multiplicidad". [34]

Figura 6.- Fisuras Longitudinales y Transversales



Fuente: MOPC

Piel de Cocodrilo

Se trata de fisuras que aparecen en la superficie del pavimento las cuales se conectan entre sí y forman polígonos irregulares con ángulos agudos y dimensiones normalmente inferiores a 0.30 m. Este fenómeno es conocido como "piel de cocodrilo" debido a su similitud con la piel del reptil, y está asociado con la fatiga provocada por las constates cargas en áreas expuestas al tráfico, especialmente en las huellas de

canalización. Estas grietas rara vez cubren toda el área del pavimento, ya que se concentran en las zonas sometidas a mayores solicitudes. [34]

Figura 7.- Piel de Cocodrilo



Fuente: MOPC

Desprendimiento de Agregados

Se produce por el desgaste progresivo de la superficie de la capa de rodadura se presenta cuando el material fino que la compone se ha separado y desprendido, o por la pérdida del ligante que rodea los agregados dejando la superficie expuesta a la abrasión del tránsito vehicular y el clima. Esto resulta en una textura más áspera y abierta, con frecuencia suelen aparecer en tratamientos asfálticos y mezclas en frío. La superficie puede parecer que se están desintegrando y este fenómeno puede cubrir grandes áreas de la carretera o concentrarse en las marcas de desgaste provocadas por el tráfico. [34]

Figura 8.- Desprendimiento de Agregados



Fuente: MOPC

1.2.Hipótesis

La adición de polímeros como PET y Caucho de Nitrilo, ¿influirá en las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica haciendo que esta mejore o que mantenga sus propiedades?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas con la adición de material PET (polietileno tereftalato), la adición de caucho de nitrilo en relación con el pavimento asfáltico tradicional para el mantenimiento vial en grietas longitudinales y transversales.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Elaborar briquetas de asfalto con la adición de material PET (polietileno tereftalato), la adición de caucho nitrilo y el pavimento asfáltico tradicional.
- Aplicar el ensayo Marshall en las briquetas elaboradas con los distintos materiales adicionales y la mezcla tradicional.
- Determinar las propiedades mecánicas que presentan las diferentes mezclas asfálticas mediante los ensayos de laboratorio.
- Realizar un análisis comparativo de los valores obtenidos entre los diferentes materiales adicionados a las mezclas asfálticas en relación con la mezcla tradicional.
- Determinar el grado de efectividad de este tipo de mezclas.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Para el desarrollo del trabajo experimental se realizó una serie de ensayos con el uso de diferentes materiales y equipos los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, y el Laboratorio de la planta asfáltica JEAL.

Tabla 4. Materiales y Equipos utilizados

Ensayo	Norma	Materiales	Equipo
Granulometría	ASTM D 422 INEN 696	Muestra de agregados fino y grueso	Juego de tamices
			Tamizadora eléctrica
			Recipientes
			Balanza
			Horno
			Brocha
Gravedad específica y absorción de los agregados finos	ASTM C 128 INEN 856	Muestra de agregado fino Agua	Picnómetro
			Balanza
			Tamiz #4
			Bandeja
			Horno
Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	ASTM C 127 INEN 857	Muestra de agregado grueso Agua	Canastilla metálica
			Dispositivo de suspensión
			Bandeja
			Tamiz #4
			Horno
Resistencia al desgaste por abrasión	ASTM C 131 INEN 860	Muestra de agregado grueso	Máquina de Los Ángeles
			Esferas de acero
			Tamices
			Balanza
			Horno

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	ASTM D 5821-95	Muestra de agregados grueso	Tamices
			Horno
			Espátula
			Bandejas
			Balanza
Peso Específico del Asfalto	ASTM D 70	AC-20 Agua	Picnómetro
			Termómetro
			Recipiente de cristal
			Balanza
Recubrimiento y peladura	ASTM D 3625	Muestra de agregados fino y grueso AC-20 Agua	Baño de agua
			Recipiente de cristal
			Balanza
			Espátula
			Tamices
Método Marshall	AASHTO T 245 AASHTO T 225 ASTM D 1559	Muestra de agregados fino y grueso AC-20 Tiza	Horno
			Guantes
			Molde de compactación
			Extractor
			Martillo de compactación
			Pedestal de compactación
			Sujetador de molde
			Mordaza
			Máquina Marshall
			Horno
Cocineta			
Densidad teórica Rice	ASTM D 2041	Muestra de Mezcla Asfáltica Agua	Espátula
			Termómetro
			Bomba de vacío
			Máquina de extracción de vacíos
			Frasco volumétrico
			Balanza

Autora: Priscila Monserrath Herrera Moya

En la presente tabla se especifican los equipos utilizados para el desarrollo de los ensayos tanto para los agregados finos y gruesos, y posteriormente para la elaboración de la mezcla asfáltica.

Tabla 5.- Especificación del equipo de trabajo

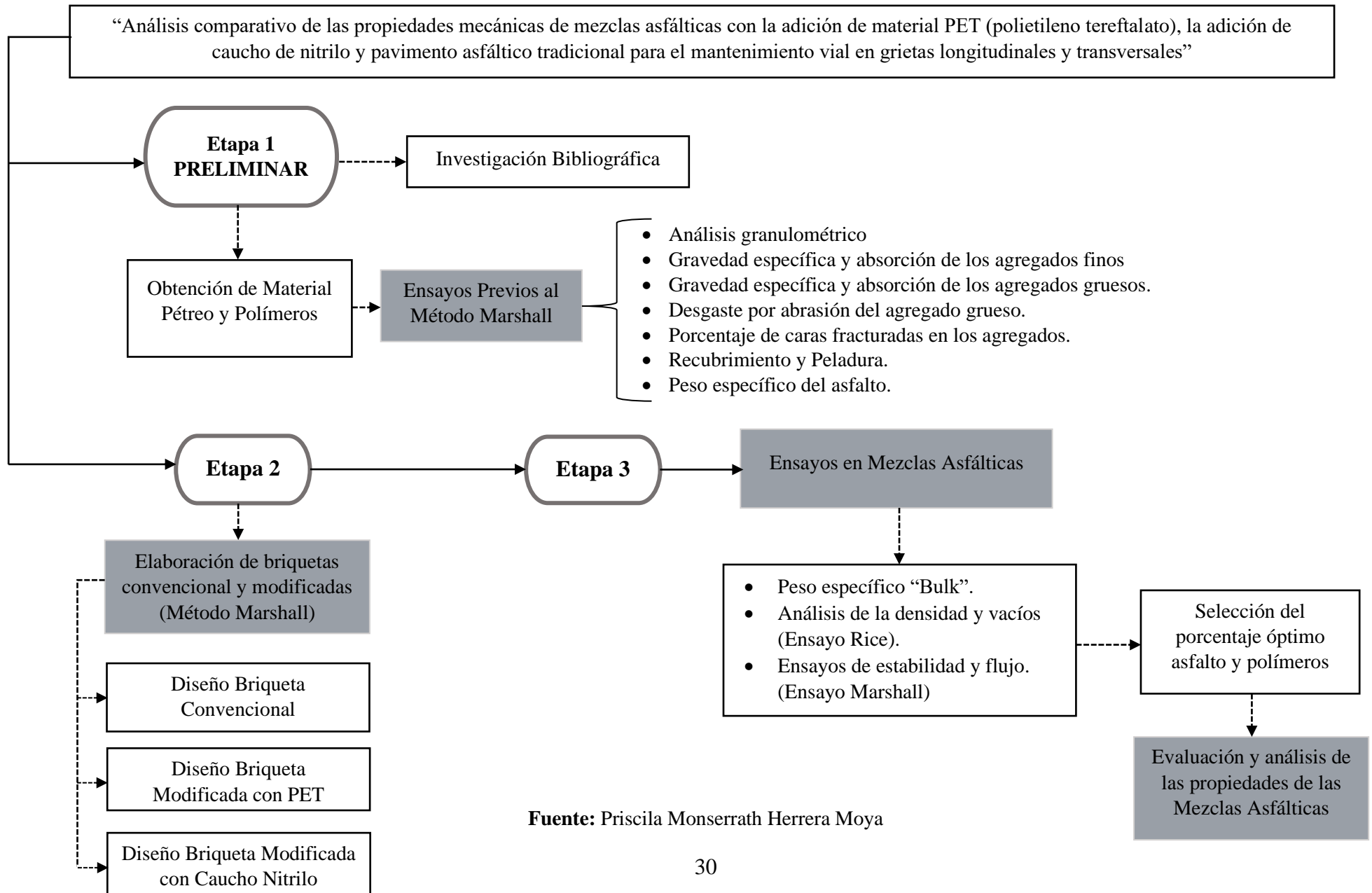
Tamices	Tamizador
Marca: Humbolt	Marca: Controls
Versión: 2011	Versión: 15-d0407/BZ
	
Balanza	Horno
Marca: México	Marca: Controls
	
Picnómetro	Termómetro
Marca: LMS	Marca: WIKA
	

Máquina de los Ángeles	Maquina Marshall
Marca: S/M	Marca: Cyber Plus
	
Martillo de Compactación	Pedestal de Compactación
Marca: S/M	Marca: S/M
	
Molde de Compactación	Extractor
Marca: S/M	Marca: S/M
	
Equipo Rice	Baño María
Marca: S/M	Marca: S/M
	

Autor: Priscila Monserrath Herrera Moya

2.2.Métodos

Figura 9.- Etapas de la Investigación



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

2.2.1. Etapa 1 Preliminar

2.2.1.1. Investigación Bibliográfica

Es necesario recurrir a fuentes de investigación las mismas que sean confiables y que aporten información relevante en cuanto al tema de estudio, por lo tanto se recurrirá a fuentes bibliográficas, normativas, libros, artículo científicos entre otros documentos que sirvan de apoyo para un correcto desarrollo del tema.

2.2.1.2. Obtención de Material Pétreo y Polímeros

Los agregados pétreos se obtuvieron de la planta de procesamiento de asfalto JEAL – Construcciones, la cual está ubicada en la provincia de Tungurahua, en la ciudad de Ambato en el sector conocido como las viñas, en la Panamericana E35, paso lateral de la ciudad de Ambato.

Figura 10.- Mina de Agregados



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

El plástico (PET) se obtuvo de la empresa “Enkador S.A” en Sangolquí en la ciudad de Quito. La empresa es especializada en el procesamiento de resina PET-PCR grado alimenticio, filamentos sintéticos para aplicaciones textiles e industriales y productos de limpieza con microfibras de poliéster. [35]

Se contactó con la empresa para la adquisición del material PET, por medio de una solicitud presentada se adquirió 5 kg de escamas pet provenientes de botellas post consumo las cuales fueron molidas y lavadas en caliente.

Figura 11.- Adquisición de material PET



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

El Caucho de Nitrilo se obtuvo de la empresa “Encaucho” ubicada en el Parque Industrial en la Avenida IV Y calle F dentro de la ciudad de Ambato. La empresa se encarga de la elaboración de suelas de zapatos con caucho donde al momento de darle forma a las suelas con la prensa se genera una porción de material que sobresale por los bordes la cual es recortada y dicho sobrante conocido como rebaba es desechado sin darle un uso posterior adecuado, este material fue proporcionado por la empresa, el mismo que fue molido para el uso en el trabajo experimental.

Figura 12.- Obtención Caucho de Nitrilo



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

2.2.1.3. Ensayos Previos al Ensayo Marshall

Consiste en la realización de una serie de ensayos necesarios para conocer las propiedades de los agregados a utilizar en la elaboración de las diferentes briquetas tanto las convencionales como las modificadas con polímeros.

Una vez realizado los ensayos correspondientes se determinará que los mismos cumplan con los parámetros establecidos en la MOP para así poder ser empleado en la elaboración de la mezcla asfáltica.

2.2.1.3.1. Análisis granulométrico en áridos finos y gruesos.

Norma ASTM D 422 (NTE INEN 696)

Determina la distribución granulométrica en las partículas tanto de agregados finos y gruesos por medio del proceso de tamizado.

A través del cuarteo de las muestras totales a ensayarse, se debe colocar los tamices conformados de la siguiente manera: ¾", ½", N°4, N°8, N°50, N°200 colocados en una torre sobre el pedestal vibratorio con el objetivo de que las partículas pasen o se retengan en cada uno de acuerdo con su tamiz. El mismo que corresponde a la franja 1/2" para mezclas asfálticas en planta con especificaciones de gradación establecidas de la MTOP. [36]

Tabla 6. Requisitos de Graduación

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	No. 4
1" (25,4 mm)	100	-	-	-
¾" (19.0 mm)	90 - 100	100	-	-
½" (12.7 mm)	-	90 - 100	100	-
3/8" (9.50 mm)	56 - 80	-	90 - 100	100
No.4 (4.75 mm)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
No.8 (2.36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
No.16 (1.18mm)	-	-	-	40 - 80
No.30 (0.60 mm)	-	-	-	20 - 65
No.50 (0.30 mm)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
No.100 (0.15 mm)	-	-	-	3 - 20
No.200 (0.075 mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F2002. Tabla 405.5.1

2.2.1.3.2. Gravedad específica y absorción de los agregados finos

Norma ASTM C128 (INEN 856)

Permite determinar la gravedad específica y la absorción de agua en los agregados finos, en un tiempo de 24 horas sumergidas, se puede identificar el estado de saturado superficialmente en seco mediante el método del picnómetro.

Las muestras son cubiertas en su totalidad por agua y es sumergida por 24 ± 4 horas, pasado este tiempo se procede a retirar el agua extendiéndole sobre una superficie lisa

y se la expone a una corriente de aire caliente a fin para obtener un secado el cual sea uniforme.

Posterior del tiempo se vierte la dentro del molde cónico colocando en el interior del embudo una cantidad suficiente de muestra, se compacta con 25 golpes ligeros de forma homogénea, derrumbando la muestra saturada superficialmente seca SSS.

Se pesa en el picnómetro vacío, se pesa una muestra SSS de 50 gr para colocarla dentro del picnómetro y con agua hasta la marca del aforo y se pesa todo. Se agita ligeramente al picnómetro con el fin de que se liberen posibles burbujas encapsuladas en la muestra, luego se toma la temperatura del conjunto.

Finalmente se introduce la muestra en el horno durante 24 ± 4 y se seca la muestra en el horno y posteriormente se la pesa. [36]

Gravedad específica:

$$G_s = \frac{B * K}{A + C - D}$$

(Ec. 2.1)

Gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS):

$$SSS = \frac{A * K}{A + C - D}$$

(Ec. 2.2)

Gravedad específica aparente de las partículas secas:

$$G_{sA} = \frac{B * K}{B + C - D}$$

(Ec. 2.3)

Porcentaje de absorción:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{A - B}{A} * 100$$

(Ec. 2.4)

Donde:

A = masa de muestra saturada superficialmente seca

B = masa de la muestra seca, g

C = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, g

D = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración, g

K = factor de corrección por temperatura

Tabla 7.- Factor de Corrección por Temperatura (K)

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9693	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9633	0.9616	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

Fuente: ASTM C128

2.2.1.3.3. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos

Norma ASTM C127 (INEN 857)

Se emplea para determinar la gravedad específica y la absorción de agua en los agregados gruesos en un tiempo de 24 horas, se lo ejecuta en estado saturada superficialmente seca (SSS) donde se empleará el método de la canastilla.

La muestra debe ser cubierta completamente por agua y dejarla sumergida por 24 ±4 horas, posteriormente se retira la muestra del agua y se la coloca sobre un paño absorbente y frotar a fin de eliminar el agua visible.

Se pesa en balanza de cantidad deseada muestra de condición SSS en la canastilla, pesando la masa a parte de agua de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, se agita en un recipiente de manera que se remueva el aire atrapado mientras se sumerge la muestra en el agua.

Se seca la muestra en el horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 24 ± 4 horas a fin de tener saca la muestra del horno y posteriormente pesarla. [36]

Gravedad específica:

$$Gs = \frac{A * K}{B - C}$$

(Ec. 2.5)

Gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS):

$$SSS = \frac{B * K}{B - C}$$

(Ec. 2.6)

Gravedad específica aparente de las partículas secas:

$$GsA = \frac{A * K}{A - C}$$

(Ec. 2.7)

Porcentaje de absorción:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} * 100$$

(Ec. 2.8)

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno, g

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

K = factor de corrección por temperatura

2.2.1.3.4. Desgaste por abrasión del agregado grueso

Norma AASHTO T96 (ASTM C131) (INEN 860)

Se utiliza con el objetivo de determinar la resistencia al desgaste de abrasión de agregados triturados/naturales, por medio del uso de la máquina de los Ángeles para carga abrasiva.

La muestra debe de ser lavada y secada en el horno a una temperatura constante, esta debe ser separadas por fracciones de cada tamaño y mezclada con una de las granulometrías especificadas a continuación:

Tabla 8.- Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37.50	25.00	1250 ± 25	---	---	---
25.00	19.00	1250 ± 25	---	---	---
19.00	12.50	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
12.50	9.50	1250 ± 10	2500 ± 10	---	---
9.50	6.30	---	---	2500 ± 10	---
6.30	4.75	---	---	2500 ± 10	---
4.75	2.36	---	---	---	5000 ± 10
	Total	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: INEN 860

Para el ensayo, la máquina gira 500 revoluciones a una velocidad entre 30 r.p.m y 33 rpm con el número de vueltas establecido precedente del material del cilindro y esferas. Luego se procede a tamizar las muestras por el tamiz de 1,70 mm (N° 12) dando así el resultado de la degradación que es la pérdida de la masa expresada en porcentaje. [36]

Porcentaje de desgaste:

$$\% \text{ de desgaste} = \frac{B - C}{B} * 100$$

(Ec. 2.9)

B = masa inicial de la muestra de ensayo

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm (N° 12), después del ensayo

2.2.1.3.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Norma ASTM D5821-95

Se separa por el tamizado comprendido entre 25,4 a 19,0 mm de tamaño, (1" – ¾") extendiendo la muestra sobre una superficie lisa donde se inspecciona las partículas del agregado separando las que tenga una o más caras fracturadas.

Una partícula se considerará como fracturada cuando el 25% o más de su superficie aparezca fracturada. [36]

Porcentaje de caras fracturadas:

$$P = \frac{F + \frac{Q}{2}}{(F + Q + N)} * 100$$

(Ec. 2.10)

Donde:

P = % de partículas con el número específico de caras fracturadas

F = peso/cantidad de partículas fracturadas con al menos el número específico de caras fracturadas

Q = peso/cantidad de partículas cuestionables

N = peso/cantidad de partículas en categoría de no fracturadas que no cumple con el índice de fractura

2.2.1.3.6. Recubrimiento y peladura

Norma ASTM D-3625

Este ensayo determinar la capacidad de retención de una capa de asfalto sobre una superficie de agregado sometida en el agua.

Los resultados de los ensayos son relativos esto limita el alcance que tiene a porcentajes mayores al 95%.

Este ensayo permite analizar el efecto de la acción del agua sobre la película asfáltica que recubre el agregado. Esto se basa en realizar una mezcla con 100 gr de agregado seco con un tamaño de 3/8 de plg y 5 gr de asfalto, se procede a mezclar el asfalto con los agregados hasta que se quede completamente recubierto, se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 o 2 horas aproximadamente.

La mezcla asfáltica fría se la coloca en un recipiente de vidrio de 500 cm³, se calienta el agua con la mezcla con un acrecentamiento de temperatura de 5 °C por minuto, hervida la mezcla con el agua, se la deja enfriar durante 10 minutos.

Para obtener los resultados de este ensayo se los realiza visualmente de acuerdo con la cantidad de asfalto desprendido de las partículas de agregados. [9]

2.2.1.3.7. Peso Específico del Asfalto

Norma ASTM-70

Este ensayo es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua.

Se debe calentar la muestra, agitándola para evitar sobrecalentamientos hasta que esta llegue a ser lo suficientemente fluida, se vierte una cantidad adecuada dentro del picnómetro el cual debe estar limpio y seco previamente calentado, se enfría el picnómetro durante un tiempo de 40 minutos y se pesa con el tapón.

Llenar el picnómetro con agua destilada, colocando fijamente el tapón en el mismo, colocar el picnómetro en el baño de agua a una temperatura de 25 °C.

Conservar el picnómetro dentro del baño de agua en un tiempo no menor de 30 minutos. Finalmente, se lo debe sacar y proceder a pesar. [9]

2.2.2. Etapa 2 Elaboración de briquetas convencional y modificadas

Para el presente trabajo experimental se realizó mezclas asfálticas tanto convencional como modificadas, posteriormente se llevará a cabo el ensayo Marshall para evaluar las propiedades de la mezcla asfáltica. Se procederá a elaborar las briquetas tanto de la mezcla convencional como de las mezclas modificadas con material reciclado, se precauteló seguir la normativa ASTM D 1559 para realizar un trabajo de calidad.

2.2.2.1.Diseño briquetas convencionales

Los porcentajes de asfalto con los que se trabajará en las briquetas son el 5.5%, 6%, 6.5% y 7%. Para posteriormente determinar el contenido óptimo de asfalto a utilizar en las briquetas modificadas con materiales reciclados.

Procedimiento

- Las probetas se fabrican individualmente, pesando en recipientes las cantidades necesarias a utilizarse en la mezcla asfáltica.
- Se debe calentar por un lado todos los agregados a emplearse en la mezcla asfáltica y en otro asfalto a una temperatura de 140° a 150°C.
- Se procesa la mezcla de áridos y ligante a dicha temperatura
- Los tiempos de mezcla debe ser lo más breve posible para conseguir una completa y homogénea cubrición de partículas.
- Previamente a la preparación de las mezclas de caliente del conjunto de bandeja, collar, molde, placa de base y espátulas a temperatura 140° a 150°C.
- Posteriormente se introduce la mezcla asfáltica en caliente al interior del molde se realizan pinchazos con una espátula redondeada (15 alrededor y 10 alzar), para que a compactación se lo más homogéneo posible y eliminar la posibilidad de vacíos. [36]

2.2.2.2.Diseño de las briquetas modificadas

Se empleará el porcentaje óptimo de asfalto con el que se trabajará es el valor obtenido mediante las gráficas de los ensayos realizados a la mezcla asfáltica convencional, para los grupos de briquetas modificadas con PET los porcentajes a utilizar serán 5%, 10%, 15% y 20% y para las briquetas modificadas con Caucho de Nitrilo se usarán porcentajes de 2%, 3%, 4% y 5%. Para obtener los resultados adecuados se realizarán tres briquetas para el porcentaje óptimo de asfalto obtenido y con cada porcentaje de polímero.

Procedimiento

- Se pesó la fracción de agregados pétreos gruesos y finos, con la adición del polímero reciclado más bitumen.

- Se calienta toda la mezcla asfáltica y en la mezcla se adjunta el porcentaje de polímero.
- Se calentó los moldes en el horno a una temperatura de 120 a 150°C, se precautela que la base de compactación se encuentre limpia.
- Se coloca en el molde la mezcla asfáltica caliente en el interior del molde, aplicando los 25 pinchazos con espátula redondeada a fin de compactar lo más homogéneo para eliminar así la posibilidad de huecos.

Compactación de las briquetas asfálticas tradicionales y de las briquetas asfálticas modificadas

Una vez colocado el molde en el pedestal de compactación apoyado por el pistón, se aplica 75 golpes (a fin de proyectar a vías de tráfico pesado) con caída libre.

Concluida la aplicación del número de golpes requerido en una de las caras del espécimen, se retira el molde del dispositivo de ajuste, se retira la placa base y el collar de extensión, para invertir el molde y se lo vuela a montar en el dispositivo, aplicado el mismo número de golpes.

Se retira el molde del pedestal, el collar y la base y a enfriar a temperatura ambiente por aproximadamente 2 horas.

Se extrae la biqueta del molde luego se la marca en cada cara con crayola para su identificación.

Se pesa la probeta y finalmente se coloca la probeta sobre la superficie lisa y bien ventilada durante toda la noche. [36]

A cada biqueta se le realizara los siguientes ensayos:

- Peso específico “Bulk”.
- Ensayos de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos (Rice).

2.2.3. Etapa 3 Ensayo en Mezclas Asfálticas

2.2.3.1. Peso específico Bulk

Para este ensayo se tomará tres pesos distintos de las briquetas:

- **Peso en el aire**

Peso al momento de retirar la briqueta del molde.

- **Peso saturado superficie seca**

Se sumerge la briqueta en agua, se la retira y se seca con un paño absorbente, se anota su peso.

- **Peso sumergido**

Cuando la briqueta está sumergida en agua, dejar que se estabilice la lectura y tomar su peso.

$$Gmb = \frac{A}{B - C}$$

(Ec. 2.11)

Donde:

A = masa de la muestra seca al aire, g

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

2.2.3.2. Análisis de la densidad y vacíos (Ensayo Rice)

Norma ASTM D2041

Se calibra el frasco para determinar exactamente su peso más agua a una temperatura de 25°C. Se utilizará la mezcla asfáltica disgregada para luego ser colocada en el frasco volumétrico, luego se agrega agua suficiente para cubrir la muestra y se enciende la máquina de extracción de vacíos.

Se remueve el aire contenido en la mezcla asfáltica mediante el dispositivo agitador durante un periodo aproximado de 15 minutos, a continuación, se libera gradualmente la presión y posteriormente se procede a llenar el frasco volumétrico con agua, una vez que el aire atrapado se ha removido se pesa el recipiente y los contenidos completamente llenos.

Figura 13.- Ensayo Rice



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

$$Gmm = \frac{C}{C + D - E}$$

(Ec. 2.12)

Donde:

Gmm = Gravedad específica teórica máxima (RICE)

C = Peso muestra seca, g

D = Peso del frasco lleno de agua + placa de vidrio, g

E = Peso del frasco + placa de vidrio + agua + muestra, g

2.2.3.3. Ensayo de Estabilidad y Flujo (Ensayo Marshall)

AASHTO T245, AASHTO T225, ASTM D1559

El procedimiento Marshall implica la realización de diversos cálculos para determinar cómo se comporta la mezcla en relación con su contenido de asfalto, y posteriormente, a través del uso de gráficas, para así obtener el contenido óptimo de asfalto para la mezcla creada.

También se busca lograr una mezcla que sea fácil de colocar para pavimentar de manera eficiente, con suficientes espacios de aire en la mezcla compacta para evitar exudaciones y pérdidas de estabilidad. [9]

Los valores a tomar en consideración para que una mezcla asfáltica este correctamente diseñada se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 9.- Criterio de Diseño Marshall

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		Carpeta y base		Carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad N	3336		5338		8006	
Estabilidad (lb)	750	---	1200	---	1800	---
Flujo 0,25 mm; 0,01 in	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto (7ma Edición)

2.2.3.4. Selección del Porcentaje Optimo

Se utiliza el enfoque de análisis descrito en el Capítulo 7 del Manual MS-2 del Instituto del Asfalto para determinar el porcentaje ideal de asfalto. Este método considera los siguientes elementos:

1. **Densidad Bulk de la mezcla compactada (Gmb)**
2. **Gravedad específica teórica máxima RICE (Gmm)**
3. **Gravedad específica Bulk de la mezcla (Gsb),**

Se considera el mismo valor tanto para la mezcla patrón como para las mezclas modificadas.

$$Gsb = \frac{P1 + P2 + P3}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3}}$$

(Ec. 2.13)

Donde:

Gsb = Gravedad específica Bulk de la mezcla

P1, P2, P3 = Porcentaje individual del peso del agregado, %

G1, G2, G3 = Gravedad específica Bulk individual del agregado

Tabla 10.- Porcentajes de cada tamaño de agregado que intervienen en la mezcla.

Agregado	Fino	3/4	3/8
%	P1	P2	P3
	56	12	32

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Las gravedades específicas expuestas a continuación son el resultado de la caracterización de agregado fino y grueso:

Tabla 11.- Gravedades específicas Bulk de cada tamaño de agregado

Gs individual de los agregados	Fino	3/4	3/8
	G1	G2	G3
	2,377	2,464	2,584

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Por lo tanto, se tiene una gravedad específica de:

$$Gsb = 2,450$$

4. Gravedad específica aparente de la mezcla (Gsa),

Se considera el mismo valor tanto para la mezcla patrón como para las mezclas modificadas.

$$Gsa = \frac{P1 + P2 + P3}{\frac{P1}{Ga1} + \frac{P2}{Ga2} + \frac{P3}{Ga3}}$$

(Ec. 2.14)

Donde:

Gsa = Gravedad específica aparente del total de agregado

P1, P2, P3 = Porcentaje individual del peso del agregado, %

G1, G2, G3 = Gravedad específica aparente del agregado

Las gravedades específicas aparentes expuestas a continuación son el resultado de la caracterización del agregado grueso y fino:

Tabla 12.- Gravedades específicas aparentes de cada tamaño de agregado.

Gsa individual de los agregados	Fino	3/4	3/8
	Ga1	Ga2	Ga3
	2,602	2,652	2,779

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Dando como resultado de esta gravedad específica el siguiente valor:

$$Gsa = 2,678$$

5. Gravedad específica efectiva de los agregados (Gse),

Se calcula para cada porcentaje de asfalto.

$$Gse = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pmm}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}$$

(Ec. 2.15)

Donde:

Gse = Gravedad específica efectiva del total de agregado

Gmm = Gravedad específica teórica máxima RICE

Pmm = Porcentaje del peso total de la mezcla, %

Pb = Contenido de asfalto, en porcentaje del peso de la mezcla, %

Gb = Gravedad específica del asfalto

Para garantizar la calidad del diseño de las mezclas asfálticas, es crucial cumplir con una condición fundamental relacionada con las tres gravedades específicas previamente mencionadas: $Gsa > Gse > Gsb$

6. Vacíos de aire (Va)

$$Va = 100 * \frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

(Ec. 2.16)

Donde:

Va = Vacíos de aire en la mezcla compactada, %

Gmm = Gravedad específica teórica máxima RICE

Gmb = Densidad Bulk de la mezcla compactada

7. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

$$VAM = \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

(Ec. 2.17)

Donde:

VAM = Vacíos en el agregado mineral, %

Gmb = Densidad Bulk de la mezcla compactada

Gsb = Gravedad específica bulk total de la mezcla

Ps = Contenido de agregado en la mezcla, %

8. Vacíos llenos de asfalto (VAF)

$$VAF = 100 * \frac{VAM - Va}{VAM}$$

(Ec. 2.18)

Donde:

VAF = Vacíos llenos de asfalto, %

VAM = Vacíos en el agregado mineral, %

Va = Vacíos de aire en la mezcla compactada, %

9. Asfalto absorbido (Pba)

$$Pba = 100 * \frac{Gse - Gsb}{Gsb * Gse} * Gb$$

(Ec. 2.19)

Donde:

Pba = Asfalto absorbido, %

Gse = Gravedad específica efectiva del total de agregado

Gsb = Gravedad específica bulk total de la mezcla

Gb = Gravedad específica del asfalto

10. Contenido de asfalto efectivo en la mezcla (Pbe)

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} * Ps$$

(Ec. 2.20)

Donde:

Pbe = Contenido de asfalto efectivo en la mezcla, %

Pba = Asfalto absorbido, %

Ps = Contenido de agregado en la mezcla, %

Pb = Contenido de asfalto, en porcentaje del peso de la mezcla, %

2.2.3.5. Evaluación y análisis de las propiedades de las Mezclas Asfálticas

Se realiza un análisis comparativo entre las briquetas elaboradas con material reciclado y las briquetas con la mezcla convencional, se procede a determinar la eficacia de las mismas donde sus resultados servirán como referencia para saber si las mismas podrían ser aplicadas a futuro o no dependiendo del caso.

Además se pretende describir y analizar las propiedades mecánicas que presentan las mezclas asfálticas, con la finalidad de encontrar las características que comprueben que se puede mejorar la calidad del asfalto con la implementación de materiales reciclados no biodegradables.

- Peso específico Bulk
- Porcentajes de vacíos
- Porcentajes de vacíos llenos de agregado mineral (VMA)
- Porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VAF)
- Estabilidad
- Flujo

2.2.4. Población y Muestra

Para el estudio se elaborarán 3 briquetas de asfalto convencional por cada porcentaje asfalto y 3 por cada porcentaje de polímero agregado en la mezcla, para posteriormente poder analizar sus principales propiedades. Esto permitirá realizar una comparación de resultados y determinar la incidencia de estos materiales en las propiedades de las muestras compactadas. El presente trabajo experimental está basado en el Método Marshall bajo la norma AASHTO T 245, ASTM D 1559, además del uso de una búsqueda bibliográfica relacionada con trabajos previos en cuestión de materiales y porcentaje de agregados empleados en mezclas asfálticas.

2.2.5. Plan de recolección de información

Para poder cumplir los objetivos propuestos, se debe tener en cuenta varias preguntas a las mismas darle una respuesta para poder implementar un plan óptimo a seguir dentro de la investigación.

Tabla 13. Plan de recolección de datos

Preguntas Básicas	Explicación
¿Qué se evalúa?	Las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas al ser combinadas con materiales reciclados no biodegradables.
¿Cómo se evalúa?	Mediante una investigación tanto bibliográfica, cualitativa, descriptiva, experimental y de laboratorio.
¿Para qué se evalúa?	Analizar la estabilidad y flujo de las mezclas asfálticas con adición material PET y la adición de Caucho Nitrilo
¿Quién se encarga de evaluar?	Priscila Monserrath Herrera Moya
¿Dónde se realiza el trabajo?	Los ensayos requeridos se procederán a realizarse en los laboratorios de la planta asfáltica JEAL en la ciudad de Ambato.

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya.

2.2.6. Plan para análisis de resultados

Con el propósito de obtener un punto de referencia, se llevaron a cabo gráficos comparativos para los diferentes porcentajes de polímeros agregados en la mezcla de asfalto, con el fin de identificar la proporción óptima donde la mezcla conserve o mejore sus propiedades.



CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Ensayo Previos al Método Marshall

3.1.1. Análisis Granulométrico

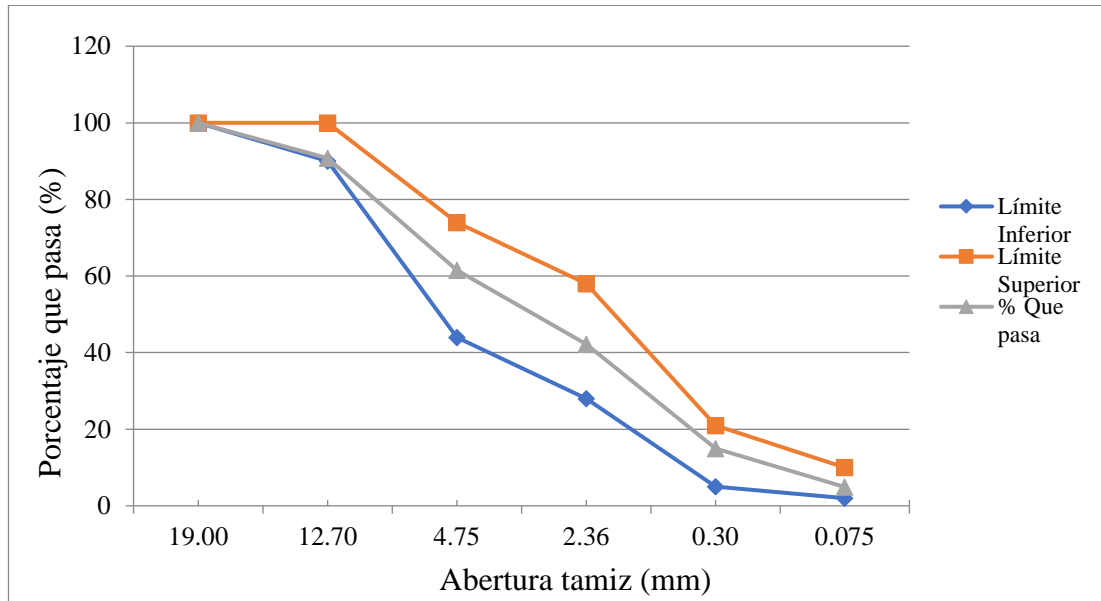
Se utiliza para la graduación de materiales a utilización de áridos finos y gruesos, debido a que estos resultados permiten el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones aplicables para el punto de control de mezcla.

Tabla 14.- Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 							
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”							
Análisis Granulométrico							
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato						
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya						
Norma:	NTE INEN 696						
Peso muestra:	1046.40 gr						
# Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido Por Tamiz (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificación 1/2" MOP	
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1/2"	12.70	97.00	97.00	9.27	90.73	90	100
#4	4.75	306.00	403.00	38.51	61.49	44	74
#8	2.36	202.00	605.00	57.82	42.18	28	58
#50	0.30	285.00	890.00	85.05	14.95	5	21
#200	0.075	105.00	995.00	95.09	4.91	2	10
Bandeja		51.40	1046.40	100.00	0.00		

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 14.- Curva Granulométrica



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

En este estudio, se empleó el tamiz con una abertura de 1/2" para analizar la muestra. Según la figura 14, se verifica que los agregados extraídos de la cantera de JEAL Construcciones cumplen con los requisitos de graduación establecidos en las Especificaciones Generales a la Construcción de Caminos y Puentes de MOP 2002. Esto confirma que el material es adecuado para la mezcla asfáltica.

**3.1.2. Gravedad específica y absorción de los agregados finos
ASTM C128 (INEN 856)**

Tabla 15. Gravedad específica y absorción de agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Gravedad Específica Agregado Fino			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	INEN 856		
Descripción	Valor	Unidad	
Temperatura de agua + suelo en °C	22.00	°C	
Peso recipiente + suelo seco	581.20	gr	
Peso del recipiente vacío	81.20	gr	
Peso suelo SSS al aire	500.00	gr	A
Peso suelo seco al horno	482.50	gr	B
Peso picnómetro + Agua	649.90	gr	C
Peso suelo seco + Peso pic + Agua	1132.40	gr	
Peso picnómetro + Agua + Suelo (sumergido)	947.40	gr	D
Desplazamiento de agua	185.00	gr	
Factor de corrección de temperatura (K)	0.9978	gr/cm ³	K
Gravedad Específica Aparente	2.602	gr/cm ³	
Gravedad Bulk	2.377	gr/cm ³	
Gravedad Específica SSS	2.464	gr/cm ³	
Porcentaje de Absorción	3.627	%	

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Cálculos:

Se empleó la (Ec. 2.1) para determinar el valor de la gravedad específica:

$$G_s = \frac{482.50 \text{ gr} * 0.9978 \text{ gr/cm}^3}{500.00 \text{ gr} + 649.90 \text{ gr} - 947.40 \text{ gr}}$$
$$G_s = 2.377 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) se empleó la (Ec. 2.2):

$$SSS = \frac{500.00 \text{ gr} * 0.9978 \text{ gr/cm}^3}{500.00 \text{ gr} + 649.90 \text{ gr} - 947.40 \text{ gr}}$$
$$SSS = 2.463 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas se empleó la (Ec. 2.3):

$$G_{sA} = \frac{482.50 \text{ gr} * 0.9978 \text{ gr/cm}^3}{482.50 \text{ gr} + 649.90 \text{ gr} - 947.40 \text{ gr}}$$
$$G_{sA} = 2.602 \text{ gr/cm}^3$$

El porcentaje de absorción se lo obtiene por medio la (Ec. 2.4):

$$\% \text{ de absorción} = \frac{500.00 \text{ gr} - 482.50 \text{ gr}}{500.00 \text{ gr}} * 100$$
$$\% \text{ de absorción} = 3.627$$

3.1.3. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos
ASTM C127 (INEN 857)

Tabla 16. Gravedad específica y absorción de agregado grueso 3/8

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”				
Gravedad Específica del Agregado Grueso 3/8				
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato			
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya			
Norma:	INEN 857			
	Descripción		Valor	Unidad
AIRE	Peso canastilla + suelo SSS		3184.12	gr
	Peso canastilla		1236.82	gr
	Peso suelo SSS	B	1947.30	gr
AGUA	Peso canastilla + suelo sumergido		2256.20	gr
	Peso canastilla sumergida		1041.20	gr
	Peso suelo sumergido	C	1215.00	gr
SECO	Peso canastilla + suelo seco		3778.30	gr
	Peso canastilla (en el aire)		1882.60	gr
	Peso suelo seco	A	1895.70	gr
Temperatura de agua y suelo			20.00	°C
Factor de corrección por temperatura		K	0.9982	gr/cm ³
Gravedad Específica Aparente (A*K)/(A-C)			2.584	gr/cm ³
Gravedad Bulk (A*K)/(B-C)			2.780	gr/cm ³
Gravedad Específica SSS			2.654	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción			2.722	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Cálculos:

Se empleó la (Ec. 2.1) para determinar el valor de la gravedad específica:

$$G_s = \frac{1895.70 \text{ gr} * 0.9982 \text{ gr/cm}^3}{1895.70 \text{ gr} + 1215.00 \text{ gr}}$$
$$G_s = 2.584 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) se empleó la (Ec. 2.2):

$$SSS = \frac{1947.30 \text{ gr} * 0.9982 \text{ gr/cm}^3}{1947.30 \text{ gr} - 1215.00 \text{ gr}}$$
$$SSS = 2.654 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas se empleó la (Ec. 2.3):

$$G_{sA} = \frac{1895.70 \text{ gr} * 0.9982 \text{ gr/cm}^3}{1895.70 \text{ gr} - 1215.00 \text{ gr}}$$
$$G_{sA} = 2.780 \text{ gr/cm}^3$$

El porcentaje de absorción se lo obtiene por medio la (Ec. 2.4):

$$\% \text{ de absorción} = \frac{1947.30 \text{ gr} - 1895.70 \text{ gr}}{1895.70 \text{ gr}} * 100$$
$$\% \text{ de absorción} = 2.722$$

Tabla 17. Gravedad específica y absorción de agregado grueso 3/4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 				
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”				
Gravedad Específica del Agregado Grueso 3/4				
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato			
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya			
Norma:	INEN 857			
	Descripción		Valor	Unidad
AIRE	Peso canastilla + suelo SSS		3272.04	gr
	Peso canastilla		1233.74	gr
	Peso suelo SSS	B	2038.30	gr
AGUA	Peso canastilla + suelo sumergido		2281.40	gr
	Peso canastilla sumergida		1045.70	gr
	Peso suelo sumergido	C	1235.70	gr
SECO	Peso canastilla + suelo seco		3678.30	gr
	Peso canastilla (en el aire)		1696.80	gr
	Peso suelo seco	A	1981.50	gr
Temperatura de agua y suelo			20.00	°C
Factor de corrección por temperatura		K	0.9980	gr/cm ³
Gravedad Específica Aparente (A*K)/(A-C)			2.652	gr/cm ³
Gravedad Bulk (A*K)/(B-C)			2.464	gr/cm ³
Gravedad Específica SSS			2.535	gr/cm ³
Porcentaje de Absorción			2.867	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Cálculos:

Se empleó la (Ec. 2.1) para determinar el valor de la gravedad específica:

$$G_s = \frac{1981.50 \text{ gr} * 0.9980 \text{ gr/cm}^3}{2038.30 \text{ gr} + 1235.70 \text{ gr}}$$
$$G_s = 2.464 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica de las partículas saturadas superficialmente secas (SSS) se empleó la (Ec. 2.2):

$$SSS = \frac{2038.30 \text{ gr} * 0.9980 \text{ gr/cm}^3}{2038.30 \text{ gr} - 1235.70 \text{ gr}}$$
$$SSS = 2.535 \text{ gr/cm}^3$$

Para el cálculo de la gravedad específica aparente de las partículas secas se empleó la (Ec. 2.3):

$$G_{sA} = \frac{1981.50 \text{ gr} * 0.9980 \text{ gr/cm}^3}{1981.50 \text{ gr} - 1235.70 \text{ gr}}$$
$$G_{sA} = 2.652 \text{ gr/cm}^3$$

El porcentaje de absorción se lo obtiene por medio la (Ec. 2.4):

$$\% \text{ de absorción} = \frac{2038.30 \text{ gr} - 1981.50 \text{ gr}}{1981.50 \text{ gr}} * 100$$
$$\% \text{ de absorción} = 2.867$$

**3.1.4. Desgaste por abrasión del agregado grueso
AASHTO T96 (ASTM C131)**

Tabla 18. Ensayo de abrasión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Resistencia al Desgaste por Abrasión			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	INEN 860		
Descripción		Valor	Unidad
Masa de la Muestra	A	5000.00	gr
Masa retenida en el Tamiz N° 12 Después de 500 Revoluciones	B	3780.60	gr
Masa que pasa el Tamiz N° 12	C = A-B	1219.40	gr
Porcentaje de Desgaste	$D = (C/A)*100$	24.39	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Los resultados muestran que el desgaste medido mediante la máquina de los Ángeles es del 24.39%, lo cual está dentro del rango aceptable de pérdida de masa por desgaste el cual se encuentra entre el 10% al 45%.

3.1.5. Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

ASTM D5821-95

Tabla 19. Porcentaje de caras fracturadas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
<p>“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”</p>			
Porcentaje de Caras Fracturadas			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	ASTM D 5821-95		
Descripción		Valor	Unidad
Peso de partículas fracturadas	F	885.00	gr
Peso de partículas cuestionables	Q	423.00	gr
Peso de partículas no fracturadas	N	6.00	gr
Porcentaje de caras fracturadas	P	83.40	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya



Los resultados obtenidos se adquirieron siguiendo la Norma ASTM D 5821-95, que establece los estándares para medir el porcentaje de fracturas en los agregados pétreos. Para evaluar la calidad de los agregados utilizados en bases granulares de clase C, se requiere un mínimo del 50% de caras fracturadas. En este caso, el resultado obtenido fue del 83,40%, lo cual no cumple con este requisito, pero supera el porcentaje mínimo del 70% establecido para la base granular clase B. Por lo tanto, estos agregados pueden ser utilizados como base granular de clase A, que requiere un porcentaje del 100%.

3.1.6. Recubrimiento Y Peladura

ASTM 3625

Este ensayo determina la capacidad de retención de una capa de asfalto sobre una superficie de agregado sometida en el agua.

Tabla 20.- Recubrimiento y Peladura

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”		
Recubrimiento y Peladura		
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato	
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya	
Norma:	ASTM 3625	
Descripción	Valor	U
Recubrimiento	95.00	%
Peladura	5.00	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya



El porcentaje del área visible total del agregado que retiene su recubrimiento con asfalto es superior al 95% por lo cual el asfalto tiene una buena adherencia con el agregado.

3.1.7. Peso Específico Del Asfalto

ASTM D-70

Es la relación de su peso en el aire, al peso de un volumen igual de agua.

Tabla 21.- Peso Específico del Asfalto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Peso Específico del Asfalto			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	ASTM D-70		
Descripción	m	Valor	Unidad
Peso del picnómetro + agua	m1	68.40	gr
Peso del picnómetro	m2	38.45	gr
m1-m2	m3	29.95	gr
Peso picnómetro + Cemento Asfáltico	m4	49.35	gr
Peso picnómetro	m5	27.02	gr
m4-m5	m6	22.5	gr
Peso picnómetro + Asfalto + Agua para llenar picnómetro	m7	76.16	gr
Peso picnómetro + Cemento Asfáltico	m8	68.35	gr
m7-m8	m9	7.81	gr
m3-m9	m10	22.14	gr
Gravedad Específica	m6/m10	1.016	gr/cm ³

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

El resultado obtenido fue 1.016 estando dentro del límite permitido según la norma ASTM D-70.

3.2.Método Marshall (ASTM D 1559)

3.2.1. Diseño Mezcla Asfáltica Convencional

3.2.1.1.Dosificación Mezcla Asfáltica Convencional

Se elaboraron briquetas con las siguientes dosificaciones de acuerdo con el porcentaje de asfalto para ser ensayadas. Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaboran 3 briquetas.

Tabla 22.- Dosificación Briquetas Convencionales



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
		CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”					
"Dosificación De Agregados Mezcla Convencional "					
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato				
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya				
Peso muestra (gr):	5000				
Lugar:	Laboratorio de la Planta de Asfalto JEAL.				
MATERIAL	Fórmula Maestra (%)	PUNTO 1 (gr)	PUNTO 2 (gr)	PUNTO 3 (gr)	PUNTO 4(gr)
% AC-20		5.5	6	6.5	7.00
Peso (gr) AC-20		275	300	325	350
Arena	56	2800	2800	2800	2800
3/8"	32	1325	1300	1275	1250
3/4"	12	600	600	600	600
TOTAL	100	5000	5000	5000	5000

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

La dosificación para las briquetas convencionales quedara constituida por un 56% de arena, 32% de agregado 3/8" y un 12% de agregado 3/4" con los respectivos porcentajes de asfalto 5.5, 6.0, 6.5 y 7.0%.

3.2.1.2. Análisis de la densidad y vacíos mezcla convencional

Tabla 23. Valor RICE briquetas asfálticas convencionales

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Densidad Teórica Máxima (Rice)			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	ASTM D 2041		
5.5% AC-20			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3353.10	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1192.80	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8084.40	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.362	gr
6% AC-20			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3394.10	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1233.80	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8102.71	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.339	gr
6.5% AC-20			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3365.12	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1204.82	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8085.86	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.337	gr
7% AC-20			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3323.90	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1163.60	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8056.70	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.311	gr

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.1.3. Diseño Método Marshall briqueta convencional.

Tabla 24. Método Marshall briqueta convencional

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																
N° de Golpes: 75		(Tráfico Pesado)														
Peso Específico de los Agregados (Gsb):					2.450											
Muestra N°	Mezcla total	% Asfalto	% de agregado en la mezcla	Peso en Aire	Peso en Agua	Peso SSS Aire	Volumen de la briqueta	Densidad BULK	Densidad RICE	Vacíos de aire	Vacíos en el agregado mineral	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad			Flujo
													Media	Fac.C	Corregida	
#	Pmm	Pb	Ps	Pa	Psum	Psss	Vol	Gmb	Gmm	Va	VAM	VAF	Em	Fc	Ec	F
	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)	--	(%)	(%)	(%)	(lb)	--	(lb)	(0,01")
1	100	5.5	94.5	1139.30	640.50	1147.50	507.00	2.247					2710.2	1.04	2818.6	7.24
2	100		94.5	1174.10	653.26	1183.60	530.34	2.214					3296.9	0.96	3165.0	8.10
3	100		94.5	1058.40	603.56	1066.10	462.54	2.288					3029.6	1.19	3605.2	8.96
PROMEDIO								2.250	2.362	4.75	13.241	64.107			3196.3	8.10
1	100	6.0	94.0	1250.60	704.20	1259.50	555.30	2.252					3658.9	0.89	3256.4	10.40
2	100		94.0	1280.50	729.30	1297.60	568.30	2.253					3658.6	0.86	3146.4	9.70
3	100		94.0	1271.60	722.20	1279.10	556.90	2.283					3687.8	0.89	3282.1	9.15
PROMEDIO								2.263	2.339	3.25	13.196	75.342			3228.3	9.75
1	100	6.5	93.5	1296.30	730.26	1301.10	570.84	2.271					3469.6	0.86	2983.9	12.80
2	100		93.5	1211.80	675.50	1216.20	540.70	2.241					3672.7	0.93	3415.6	11.60
3	100		93.5	1283.40	720.36	1291.60	571.24	2.247					3756.5	0.86	3230.6	13.44
PROMEDIO								2.253	2.337	3.60	14.038	74.368			3210.0	12.61
1	100	7.0	93.0	1240.10	684.26	1244.30	560.04	2.214					3788.5	0.86	3258.1	14.30
2	100		93.0	1260.30	697.56	1263.30	565.74	2.228					3520.8	0.86	3027.9	14.80
3	100		93.0	1212.80	688.56	1217.70	529.14	2.292					3144.6	0.96	3018.8	15.60
PROMEDIO								2.245	2.311	2.87	14.810	80.622			3101.6	14.90

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Tabla 25.- Características mezcla asfáltica compactada, mezcla convencional

Contenido de asfalto en la mezcla	Gravedad específica efectiva de la mezcla	Asfalto absorbido	Contenido de asfalto efectivo en la mezcla
Pb	Gse	Pba	Pbe
(%)	--	(%)	(%)
5.5	2.560	1.76	3.83
5.5	2.560	1.76	3.83
5.5	2.560	1.76	3.83
6.0	2.550	1.62	4.48
6.0	2.550	1.62	4.48
6.0	2.550	1.62	4.48
6.5	2.570	1.91	4.71
6.5	2.570	1.91	4.71
6.5	2.570	1.91	4.71
7.0	2.557	1.72	5.40
7.0	2.557	1.72	5.40
7.0	2.557	1.72	5.40
Promedio Total	2.559	1.753	4.607

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Se establece el requisito para aprobar el diseño de la mezcla asfáltica en cuanto a las densidades específicas.

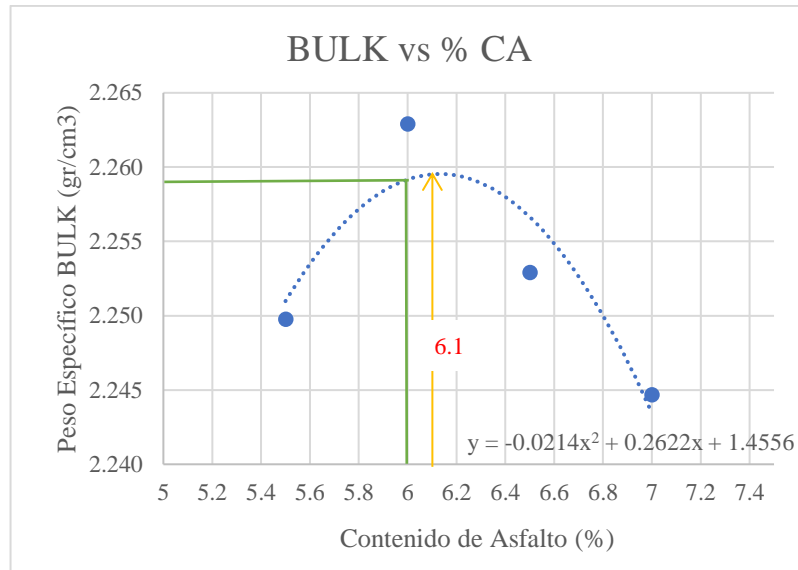
Tabla 26.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica convencional

Gsa	>	Gse	>	Gsb
2.663		2.559		2.450

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

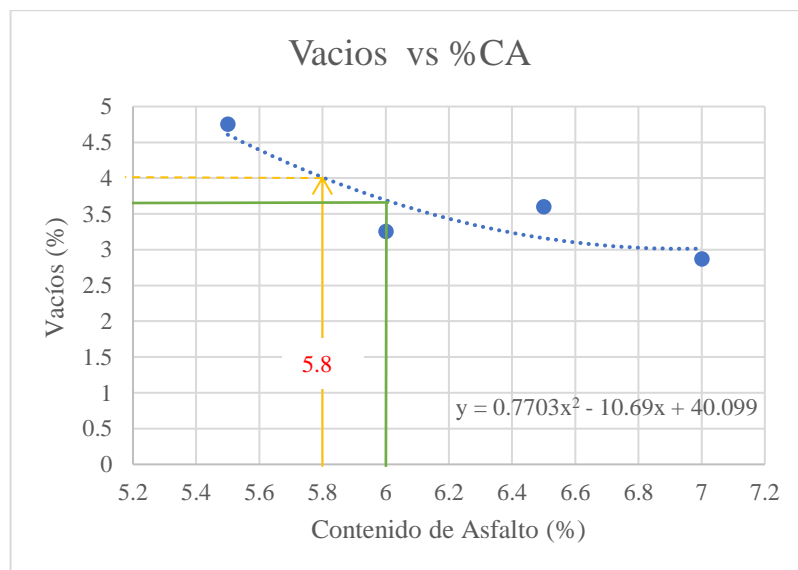
3.2.1.4. Gráficas de resultados de los ensayos a Mezclas Asfálticas Convencionales

Figura 15. Peso específico Bulk / Contenido de asfalto



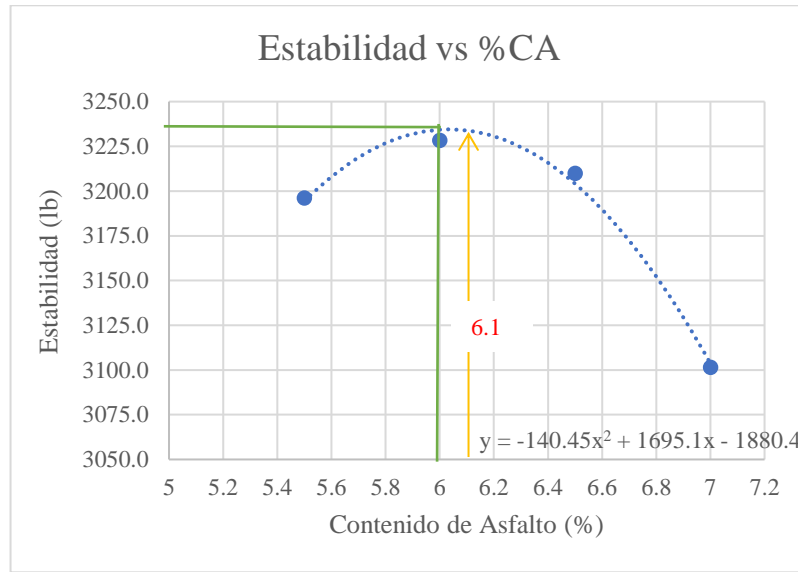
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 16. Vacíos en aire / Contenido de asfalto



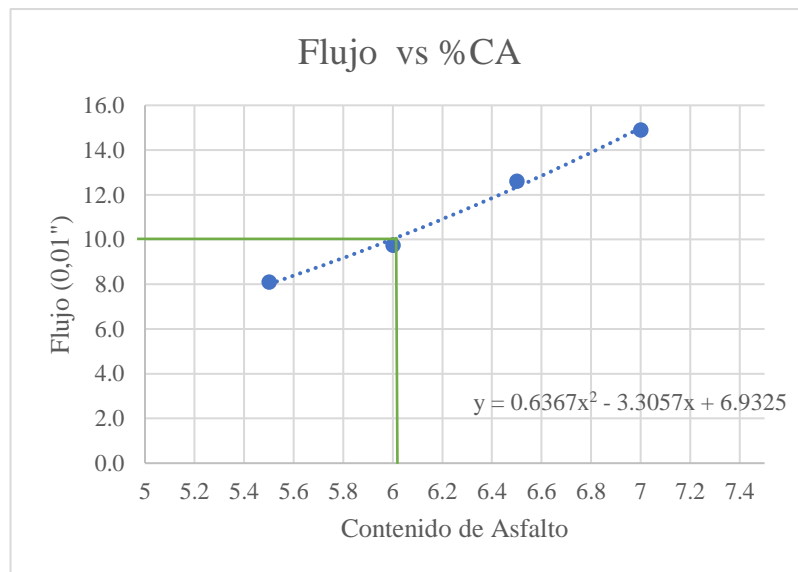
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 17. Estabilidad / Contenido de asfalto



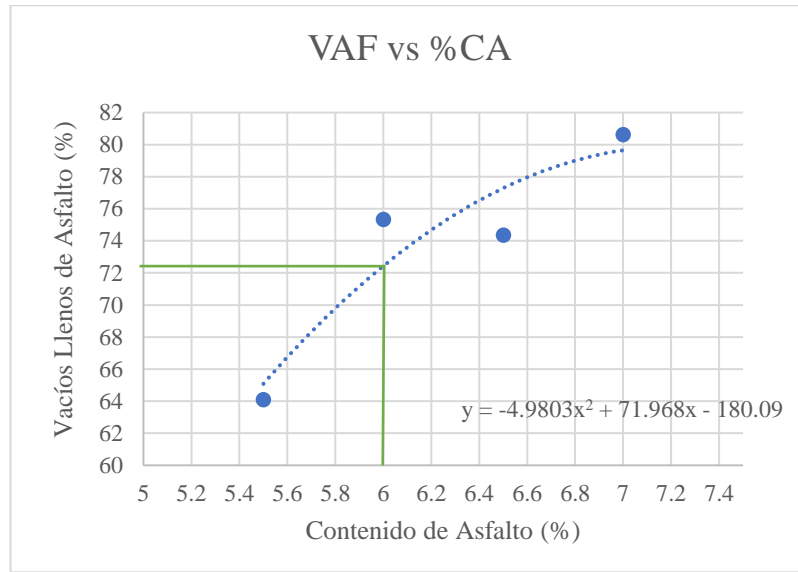
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 18. Flujo o deformación / Contenido de asfalto



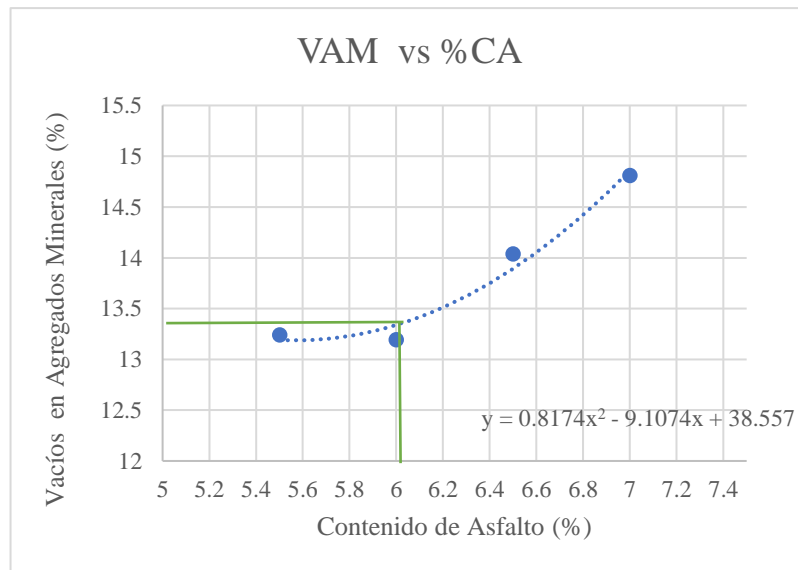
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 19. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de asfalto



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 20. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de asfalto



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.1.5. Selección del Contenido Óptimo de Asfalto, Mezcla Convencional

Con el fin de determinar el contenido óptimo de asfalto de la carpeta 1/2" se lo calcula promediando las siguientes curvas:

- Valor medio del porcentaje de vacíos con aire permitido por las especificaciones.
- Peso Específico Bulk Máximo.
- Estabilidad Máxima.

Tabla 27.- Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	6.10	%
Vacíos	5.80	%
Estabilidad	6.10	%
Contenido Óptimo de Asfalto	6.00	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

En base a los valores obtenido se identifica que el porcentaje óptimo de asfalto es de 6,0%.

Una vez que se han determinado los valores de las propiedades de la mezcla utilizando el porcentaje óptimo de asfalto según las ecuaciones de las líneas de tendencia, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 28.- Resumen de datos, mezcla convencional

Asfalto %	Bulk gr/cm3	Vacíos %	Estabilidad lb	Flujo 0,01"	VAF %	VAM %
6.0	2.258	3.690	3234.00	10.020	72.427	15.339
Valores de aceptación MOP - 001-F 2002						
Mín.	--	3	1800	8	65	15
Máx.	--	5	--	14	75	--
Condición	--	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya



3.2.2. Diseño Mezcla Asfáltica Modificada con PET

Para este diseño se elaboró briquetas asfálticas modificadas con el 5%, 10%, 15% y 20% de polímero (PET); el polietileno tereftalato es proveniente de botellas plásticas, se lo empleara con el objetivo de analizar su influencia tanto en la estabilidad como flujo de las muestras compactadas.

3.2.2.1. Dosificación Mezcla Asfáltica Modificada con PET

Se elaboraron briquetas con las siguientes dosificaciones de acuerdo con el porcentaje de asfalto y polietileno tereftalato (PET) para ser ensayadas. Para cada porcentaje de PET se elaboraron 3 briquetas.

Tabla 29.- Dosificación Briquetas Modificadas con PET


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”						
"Dosificación De Agregados Mezcla Modificada Con PET"						
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato					
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya					
Peso muestra (gr):	5000					
Lugar:	Laboratorio de la Planta de Asfalto JEAL.					
MATERIAL	Formula Maestra (%)	Fórmula de trabajo (%)	PUNTO 1 (gr)	PUNTO 2 (gr)	PUNTO 3 (gr)	PUNTO 4 (gr)
% de PET			5.00	10.00	15.00	20.00
Peso (gr) PET			15	30	45	60
Peso en % AC-20		6.00	300	300	300	300
Arena	56	52.64	2632	2632	2632	2632
3/8"	32	30.08	1489	1474	1459	1444
3/4"	12	11.28	564	564	564	564
TOTAL	100	100	5000	5000	5000	5000

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

La dosificación para las briquetas modificadas quedará constituida por un 56% de arena, 32% de agregado 3/8" y un 12% de agregado 3/4" con un porcentaje óptimo de asfalto del 6%, se añadirá porcentajes de PET de 5, 10, 15 y 20% en reemplazo parcial del agregado 3/8".

3.2.2.2. Análisis de la densidad y vacíos, mezcla asfáltica modificada con PET

Tabla 30. Valor RICE briquetas modificadas con PET

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFTALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Densidad Teórica Máxima (Rice)			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	ASTM D 2041		
5% PET			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3377.10	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1216.80	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8100.10	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.371	gr
10% PET			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3375.50	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1215.20	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8093.00	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.343	gr
15% PET			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3369.90	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1209.60	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8091.50	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.351	gr
20% PET			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3374.20	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1213.90	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8086.70	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.318	gr

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.2.3. Diseño Método Marshall modificada con PET

Tabla 31. Método Marshall con briquetas modificadas con PET

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																		
N° de Golpes: 75		(Tráfico Pesado)																
Peso Específico de los Agregados (Gsb):		2.450																
Muestra N°	Mezcla total	% Asfalto	% PET	%PET + %CA	% de agregado en la mezcla	Peso en Aire	Peso en Agua	Peso SSS Aire	Volumen de la briqueta	Densidad BULK	Densidad RICE	Vacíos de aire	Vacíos en agregado mineral	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad			Flujo
#	Pmm	Pb	--	--	Ps	Pa	Psum	Psss	Vol	Gmb	Gmm	Va	VAM	VAF	Em	Fc	Ec	F
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(cm3)	(g/cm3)	--	(%)	(%)	(%)	(lb)	--	(lb)	(0,01")
1	100	6.0	5.0	6.3	93.70	1227.80	693.56	1231.80	538.24	2.281					3865.14	0.93	3594.58	10.05
2	100		5.0	6.3	93.70	1164.30	663.56	1169.80	506.24	2.300					3658.70	1.00	3658.70	9.13
3	100		5.0	6.3	93.70	1290.37	713.60	1296.40	582.80	2.214					3958.50	0.83	3285.56	5.96
PROMEDIO										2.265	2.371	4.47	13.390	66.624			3512.95	8.38
1	100	6.0	10.0	6.6	93.40	1183.90	665.13	1189.70	524.57	2.257					4122.10	0.96	3957.22	9.17
2	100		10.0	6.6	93.40	1262.50	694.23	1270.00	575.77	2.193					3656.10	0.83	3034.56	7.43
3	100		10.0	6.6	93.40	1129.90	622.56	1137.60	515.04	2.194					3666.40	1.00	3666.40	5.95
PROMEDIO										2.214	2.343	5.48	15.595	64.882			3552.73	7.52
1	100	6.0	15.0	6.9	93.10	1118.60	628.23	1134.40	506.17	2.210					3256.60	1.04	3386.86	11.12
2	100		15.0	6.9	93.10	1131.00	630.56	1144.40	513.84	2.201					3379.55	1.00	3379.55	6.33
3	100		15.0	6.9	93.10	1064.70	591.23	1080.50	489.27	2.176					3125.50	1.09	3406.80	6.00
PROMEDIO										2.196	2.351	6.59	16.579	60.262			3391.07	7.82
1	100	6.0	20.0	7.2	92.80	1206.80	655.23	1214.50	559.27	2.158					3356.60	0.89	2987.37	7.48
2	100		20.0	7.2	92.80	1127.20	610.23	1133.00	522.77	2.156					3498.03	1.00	3498.03	11.64
3	100		20.0	7.2	92.80	1158.10	627.56	1164.20	536.64	2.158					3256.60	0.93	3028.64	6.23
PROMEDIO										2.157	2.318	6.93	18.300	62.146			3171.35	8.45

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Tabla 32.- Características de la mezclas asfáltica compactada, mezcla modificada con PET

Contenido de asfalto en la mezcla	Gravedad específica efectiva de la mezcla	Asfalto absorbido	Contenido de asfalto efectivo en la mezcla
Pb	Gse	Pba	Pbe
(%)	--	(%)	(%)
6.0	2.592	2.25	3.89
6.0	2.592	2.25	3.89
6.0	2.592	2.25	3.89
6.0	2.556	1.70	4.40
6.0	2.556	1.70	4.40
6.0	2.556	1.70	4.40
6.0	2.566	1.85	4.26
6.0	2.566	1.85	4.26
6.0	2.566	1.85	4.26
6.0	2.524	1.21	4.87
6.0	2.524	1.21	4.87
6.0	2.524	1.21	4.87
Promedio Total	2.561	1.752	4.353

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Se establece el requisito para aprobar el diseño de la mezcla asfáltica en cuanto a las densidades específicas.

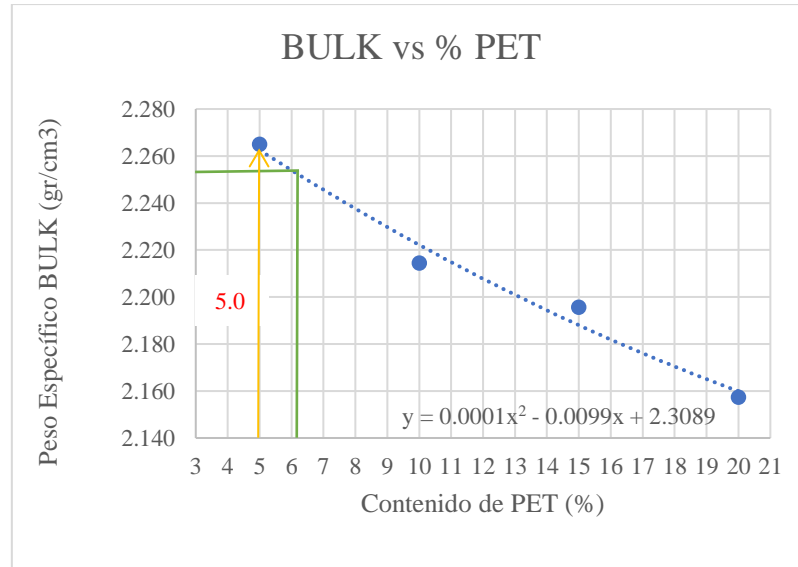
Tabla 33.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica modificada con PET

Gsa	>	Gse	>	Gsb
2.663		2.561		2.450

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

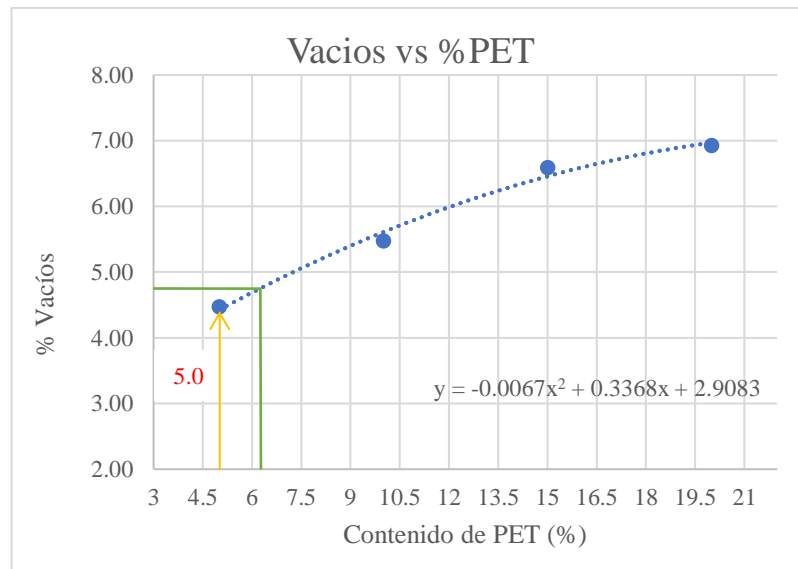
3.2.2.4. Gráficas de resultados de ensayos a Mezclas Asfálticas Modificadas con PET.

Figura 21. Peso específico Bulk / Contenido PET



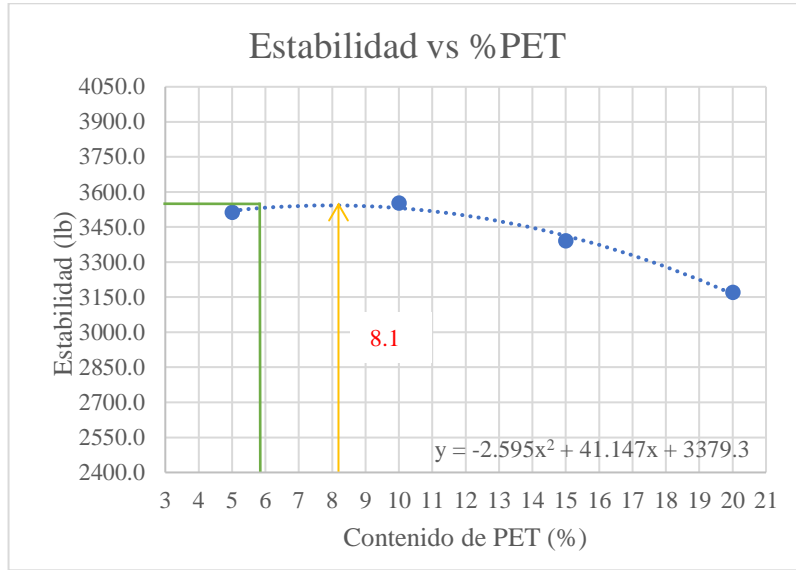
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 22. Vacíos en aire / Contenido PET



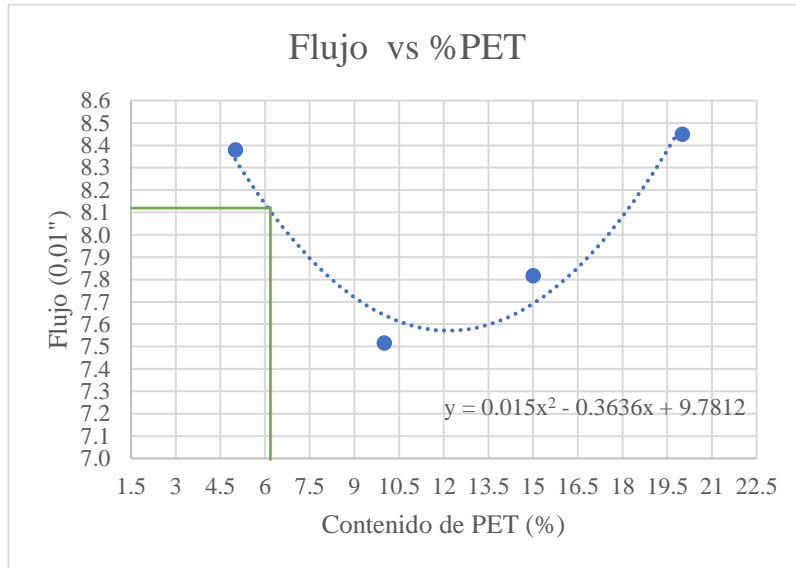
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 23. Estabilidad / Contenido de PET



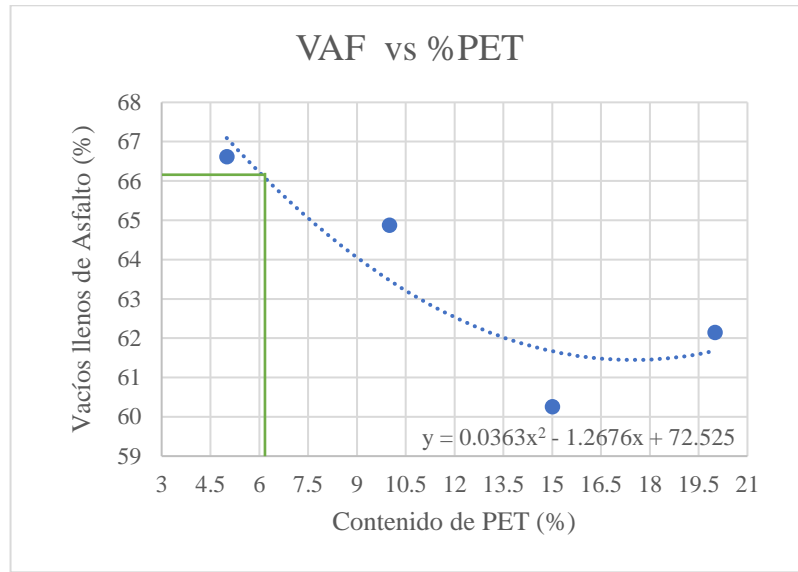
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 24. Flujo o deformación / Contenido de PET



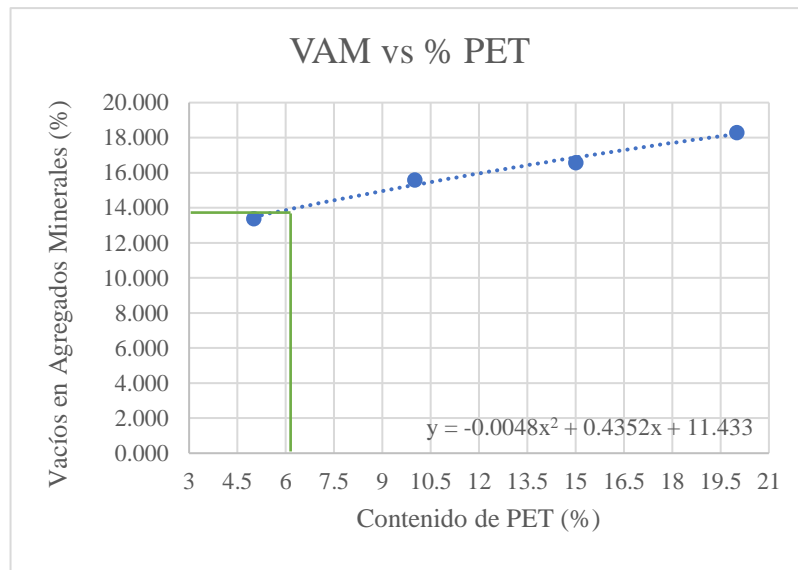
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 25. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de PET



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 26. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de PET



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.2.5. Selección del Contenido Óptimo de PET, Mezcla Modificada

Con el fin de determinar el contenido óptimo de asfalto con la carpeta 1/2" se lo calcula promediando las siguientes curvas:

- Valor medio del porcentaje de vacíos con aire permitido por las especificaciones.
- Peso Específico Bulk Máximo.
- Estabilidad Máxima.

Tabla 34.- Contenido Óptimo de Asfalto

Peso Específico Bulk	5.00	%
Vacíos	5.00	%
Estabilidad	8.10	%
Contenido Óptimo de PET	6.03	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

En base a los valores obtenido se identifica que el porcentaje óptimo de material PET es de 6,03%.

Una vez que se han determinado los valores de las propiedades de la mezcla utilizando el porcentaje óptimo de asfalto según las ecuaciones de las líneas de tendencia, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 35.- Resumen de datos, mezcla modificada con PET

PET %	Bulk gr/cm3	Vacíos %	Estabilidad lb	Flujo 0,01"	VAF %	VAM %
6.03	2.253	4.696	3533.060	8.134	66.201	13.883
Valores de aceptación MOP - 001-F 2002						
Mín.	--	3	1800	8	65	15
Máx.	--	5	--	14	75	--
Condición	--	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.3. Diseño Mezcla Asfáltica Modificada con Caucho Nitrilo

Este diseño se lo realiza de la misma forma que con el asfalto modificado con PET, el caucho nitrilo se lo añadió una vez preparada la mezcla asfáltica, en porcentajes 2%, 3%, 4% y 5%.

3.2.3.1. Dosificación Mezcla Asfáltica Modificada con Caucho Nitrilo

Se elaboraron briquetas con las siguientes dosificaciones de acuerdo con el porcentaje de asfalto y caucho nitrilo para ser ensayadas. Para cada porcentaje de caucho nitrilo se elaboraron 3 briquetas.

Tabla 36.- Dosificación Briquetas Modificadas con Caucho Nitrilo (NBR)



 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 						
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILLO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”						
"Dosificación De Agregados Mezcla Modificada Con Caucho Nitrilo"						
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato					
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya					
Peso muestra (gr):	5000					
Lugar:	Laboratorio de la Planta de Asfalto JEAL.					
MATERIAL	Fórmula Maestra (%)	Formula de trabajo (%)	PUNTO 1 (gr)	PUNTO 2 (gr)	PUNTO 3 (gr)	PUNTO 4 (gr)
% de NBR			2.00	3.00	4.00	5.00
Peso (gr) NBR			6.00	9.00	12.00	15.00
Peso en % AC-20		6.00	300	300	300	300
Arena	56	52.64	2632	2632	2632	2632
3/8"	32	30.08	1498	1495	1492	1489
3/4"	12	11.28	564	564	564	564
TOTAL	100	100	5000	5000	5000	5000

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

La dosificación para las briquetas modificadas quedará constituida por un 56% de arena, 32% de agregado 3/8" y un 12% de agregado 3/4" con un porcentaje óptimo de asfalto del 6%, se añadirá porcentajes de Caucho Nitrilo de 2, 3, 4 y 5% en reemplazo parcial del agregado 3/8".

3.2.3.2. Análisis de la densidad y vacíos, mezcla modificada con Caucho Nitrilo.

Tabla 37. Valor RICE briquetas modificadas con Caucho Nitrilo

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LA ADICIÓN DE MATERIAL PET (POLIETILENO TEREFALATO), LA ADICIÓN DE CAUCHO DE NITRILLO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO TRADICIONAL PARA EL MANTENIMIENTO VIAL EN GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES”			
Densidad Teórica Máxima (Rice)			
Origen:	JEAL Construcciones - Ambato		
Ensayado por:	Priscila Monserrath Herrera Moya		
Norma:	ASTM D 2041		
2% Caucho Nitrilo			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3482.10	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1321.80	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8163.40	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.382	gr
3% Caucho Nitrilo			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3385.30	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1225.00	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8106.40	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.378	gr
4% Caucho Nitrilo			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3373.20	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1212.90	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8093.90	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.353	gr
5% Caucho Nitrilo			
Descripción	Nomenclatura	Valor	Unidad
Peso frasco + agua a 25 °C	m1	7396.50	gr
Peso frasco	m2	2160.30	gr
Peso muestra + frasco	m3	3411.50	gr
Peso muestra (m3-m2)	m4	1255.20	gr
Peso muestra + frasco + agua a 25 °C	m5	8116.00	gr
Gravedad específica teórica máxima (m4/m4+(m5-m1))	Gmm	2.343	gr

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.3.3. Diseño Método Marshall modificada con Caucho Nitrilo

Tabla 38. Método Marshall con briquetas modificadas con Caucho Nitrilo

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO MARSHALL																		
N° de Golpes: 75		(Tráfico Pesado)																
Peso Específico de los Agregados (Gsb):		2.450																
Muestra N°	Mezcla total	% Asfalto	% NBR	%NBR + %CA	% de agregado en la mezcla	Peso en Aire	Peso en Agua	Peso SSS Aire	Volumen de la briketa	Densidad BULK	Densidad RICE	Vacíos de aire	Vacíos en agregado mineral	Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad			Flujo
#	Pmm	Pb	--	--	Ps	Pa	Psum	Psss	Vol	Gmb	Gmm	Va	VAM	VAF	Em	Fc	Ec	F
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(cm3)	(g/cm3)	--	(%)	(%)	(%)	(lb)	--	(lb)	(0,01")
1	100	6.0	2.0	6.12	93.88	1155.40	628.36	1163.60	535.24	2.159					2763.1	0.93	2569.71	6.67
2	100		2.0	6.12	93.88	1252.60	705.36	1259.20	553.84	2.262					4551.3	0.89	4050.62	6.04
3	100		2.0	6.12	93.88	1223.00	684.25	1229.00	544.75	2.245					4046.1	0.93	3762.88	6.48
PROMEDIO										2.222	2.382	6.73	14.881	54.790			3461.07	6.40
1	100	6.0	3.0	6.18	93.82	1234.40	683.25	1240.70	557.45	2.214					3692.5	0.86	3175.54	7.77
2	100		3.0	6.18	93.82	1196.80	674.36	1200.00	525.64	2.277					4446.1	0.93	4134.83	7.41
3	100		3.0	6.18	93.82	1152.60	640.26	1157.10	516.84	2.230					3640.3	0.96	3494.72	9.47
PROMEDIO										2.240	2.378	5.79	14.222	59.273			3601.69	8.22
1	100	6.0	4.0	6.24	93.76	1263.30	698.35	1266.20	567.85	2.225					4071.1	0.83	3378.98	11.56
2	100		4.0	6.24	93.76	1244.20	690.36	1248.30	557.94	2.230					5374.5	0.86	4622.08	13.26
3	100		4.0	6.24	93.76	1224.30	682.36	1228.80	546.44	2.241					4393	0.89	3909.76	12.01
PROMEDIO										2.232	2.353	5.15	14.609	64.762			3970.27	12.28
1	100	6.0	5.0	6.30	93.70	1143.30	638.36	1146.90	508.54	2.248					3436.3	1.00	3436.29	11.53
2	100		5.0	6.30	93.70	1147.30	661.25	1151.70	490.45	2.339					3884.8	1.04	4040.16	11.16
3	100		5.0	6.30	93.70	1140.00	635.25	1145.70	510.45	2.233					3552.5	1.00	3552.54	11.81
PROMEDIO										2.274	2.343	2.97	13.063	77.293			3676.33	11.50

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Tabla 39.- Características de la mezclas asfáltica compactada, mezcla modificada con Caucho Nitrilo

Contenido de asfalto en la mezcla	Gravedad específica efectiva de la mezcla	Asfalto absorbido	Contenido de asfalto efectivo en la mezcla
Pb	Gse	Pba	Pbe
(%)	--	(%)	(%)
6.0	2.606	2.46	3.69
6.0	2.606	2.46	3.69
6.0	2.606	2.46	3.69
6.0	2.601	2.39	3.76
6.0	2.601	2.39	3.76
6.0	2.601	2.39	3.76
6.0	2.569	1.90	4.22
6.0	2.569	1.90	4.22
6.0	2.569	1.90	4.22
6.0	2.556	1.71	4.40
6.0	2.556	1.71	4.40
6.0	2.556	1.71	4.40
Promedio Total	2.583	2.113	4.014

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Se establece el requisito para aprobar el diseño de la mezcla asfáltica en cuanto a las densidades específicas.

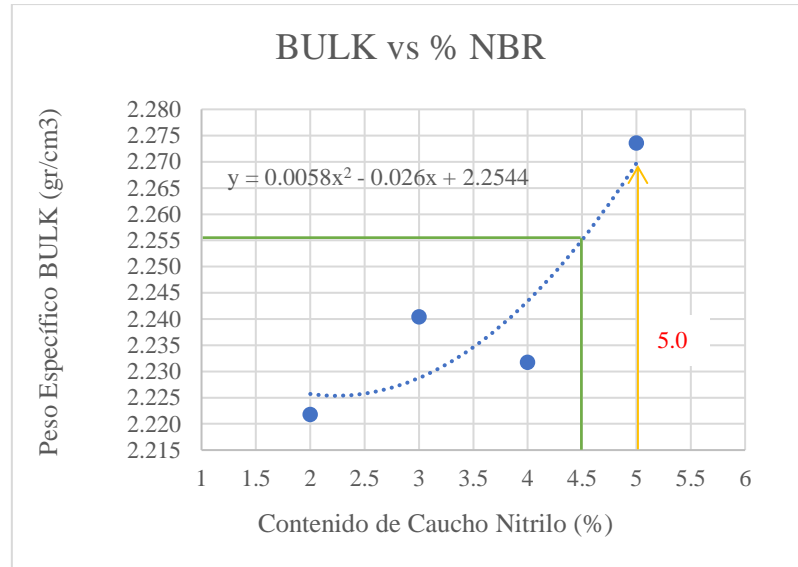
Tabla 40.- Condición en base a las gravedades específicas para la aceptación de la mezcla asfáltica modificada con Caucho Nitrilo

Gsa	>	Gse	>	Gsb
2.663		2.583		2.450

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

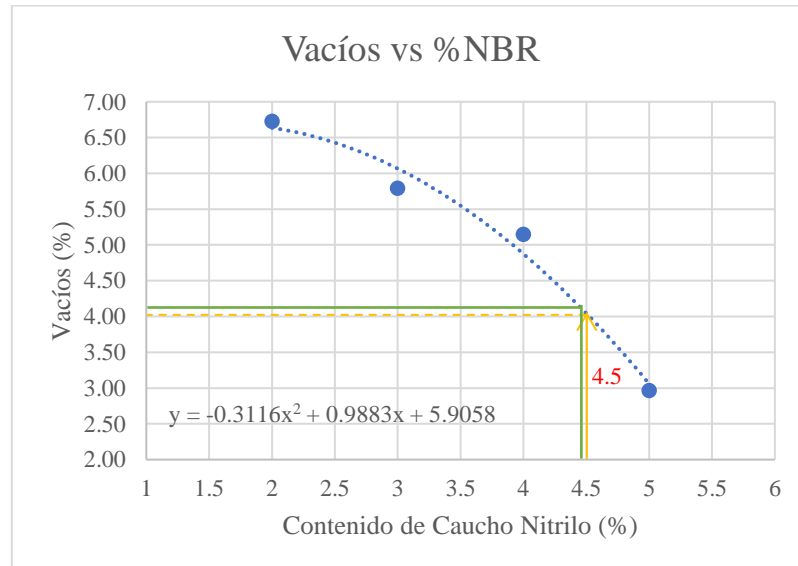
3.2.3.4. Gráficas de resultados a ensayos de Mezclas Asfálticas Modificadas con Caucho Nitrilo

Figura 27. Peso específico Bulk / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



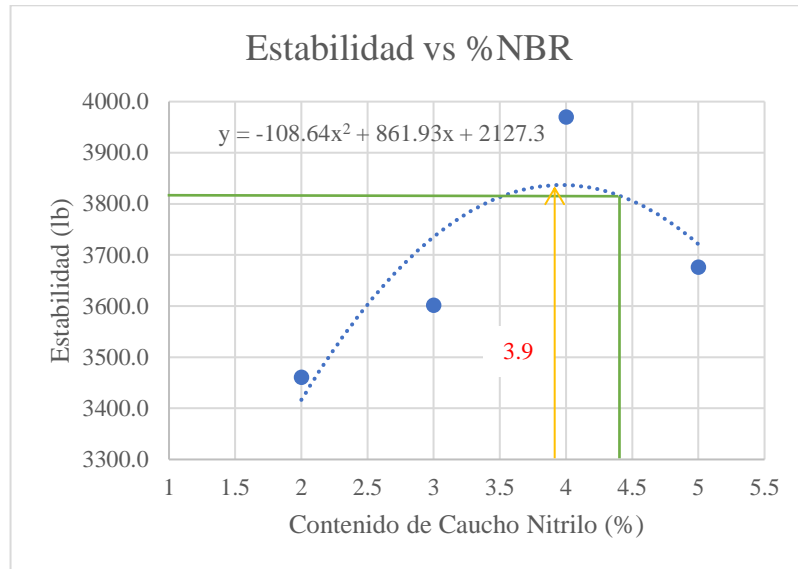
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 28. Vacíos con aire / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



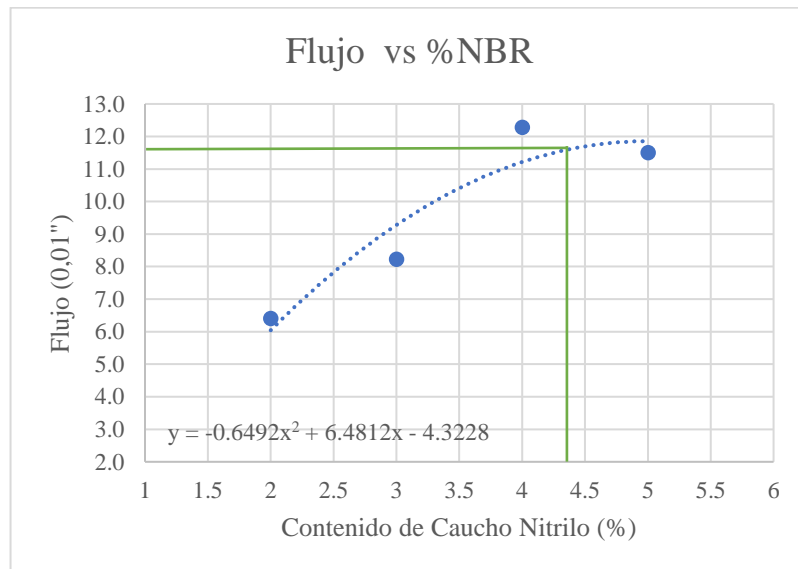
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 29. Estabilidad / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



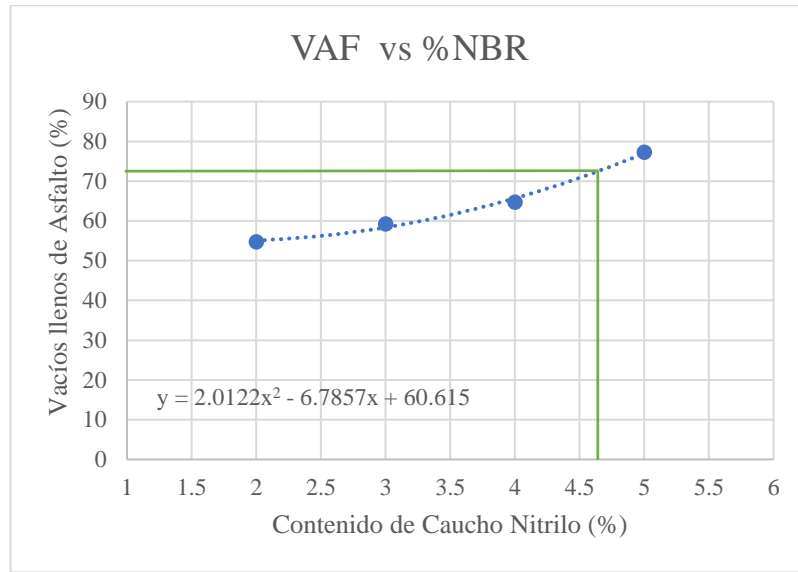
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 30. Flujo o deformación / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



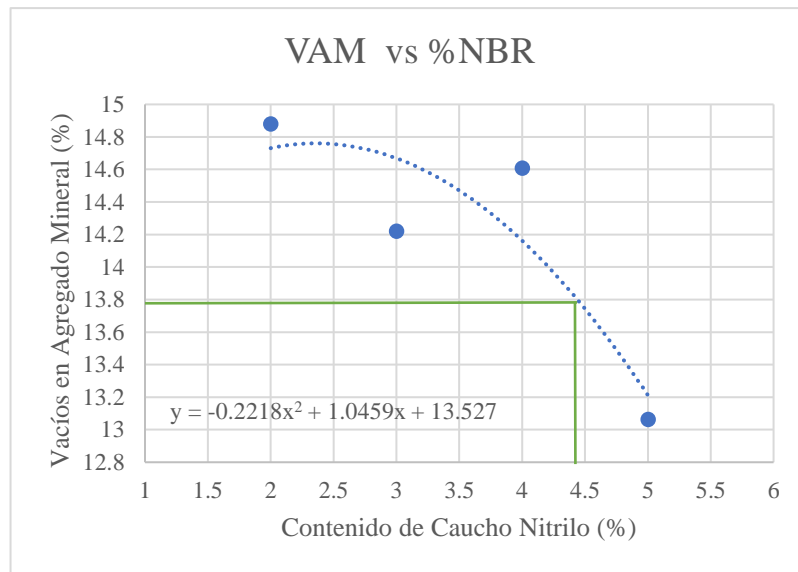
Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 31. Porcentaje Vacíos llenos de asfalto / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 32. Porcentaje Vacíos en Agregados Minerales / Contenido de Caucho Nitrilo (NBR)



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.2.3.5. Selección del Contenido Óptimo de Caucho Nitrilo, Mezcla Modificada

Con el fin de determinar el contenido óptimo de asfalto con la carpeta 1/2" se lo calcula promediando las siguientes curvas:

- Valor medio del porcentaje de vacíos con aire permitido por las especificaciones.
- Peso Específico Bulk Máximo.
- Estabilidad Máxima.

Tabla 41.- Contenido Óptimo de Caucho Nitrilo

Peso Específico Bulk	5.00	%
Vacíos	4.50	%
Estabilidad	3.90	%
Contenido Óptimo de Caucho Nitrilo	4.47	%

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

En base a los valores obtenido se identifica que el porcentaje óptimo de material modificante Caucho de Nitrilo es de 4.47%.

Una vez que se han determinado los valores de las propiedades de la mezcla utilizando el porcentaje óptimo de asfalto según las ecuaciones de las líneas de tendencia, se muestra un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 42.- Resumen de datos, mezcla modificada con Caucho Nitrilo

NBR %	Bulk gr/cm³	Vacíos %	Estabilidad lb	Flujo 0,01"	VAF %	VAM %
4.47	2.254	4.103	3809.729	11.675	70.455	13.773
Valores de aceptación MOP - 001-F 2002						
Mín.	--	3	1800	8	65	15
Máx.	--	5	--	14	75	--
Condición	--	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple	No cumple

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

3.3. Análisis de Resultados

3.3.1. Análisis comparativo entre la mezcla convencional y mezclas modificadas

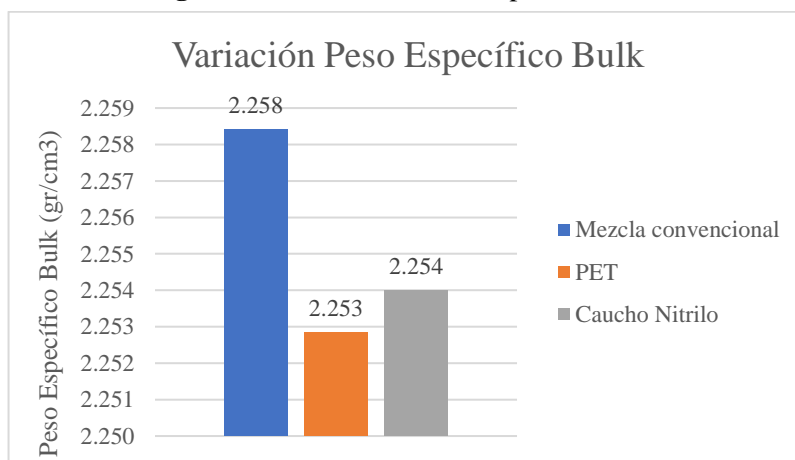
Para realizar este análisis, se utilizan los datos de las propiedades de la mezcla asfáltica normal y de las mezclas modificadas. Estos datos se obtienen a partir de la determinación del porcentaje óptimo de material modificador:

Tabla 43.- Propiedades de los tres tipos de mezclas asfálticas

Tipo de mezcla --	Asfalto Óptimo %	Modificador Óptimo %	Bulk gr/cm ³	Vacíos %	Estabilidad lb	Flujo 0,01"	VAF %	VAM %
Mezcla convencional	6	0	2.258	3.690	3234.000	10.020	72.427	15.339
PET	6	6.03	2.253	4.696	3533.060	8.134	66.201	13.883
Caucho Nitrilo	6	4.47	2.254	4.103	3809.729	11.675	70.455	13.773

Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Figura 33.- Variación Peso Específico Bulk

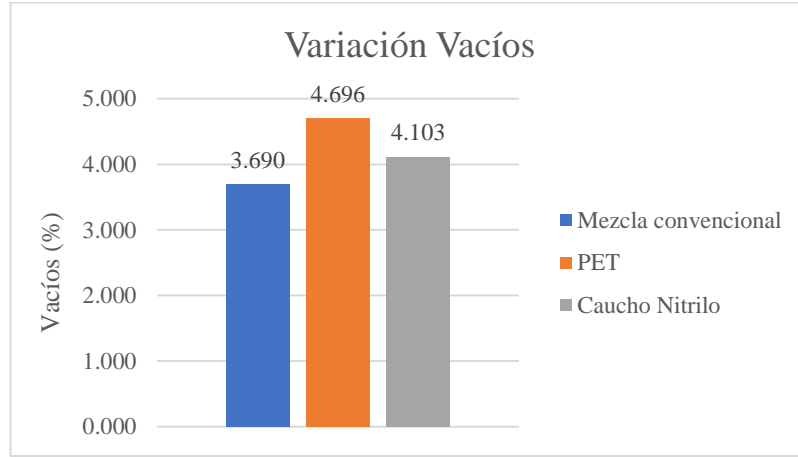


Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: Se puede observar que la mezcla convencional tiene un peso específico bulk de 2.258, lo que indica que es relativamente más densa y resistente. Por otro lado, la mezcla asfáltica modificada con pet tiene un peso específico bulk de 2.253, lo que indica que es un poco menos densa y resistente que la mezcla convencional. Finalmente, la mezcla asfáltica modificada con caucho nitrilo tiene un peso específico bulk de 2.254, lo que indica que es la mayor en comparación con la mezcla modificada con pet lo que indica que esta puede tener una mayor densidad

debido a la capacidad del caucho para llenar los vacíos y mejorar la adherencia de los componentes de la mezcla.

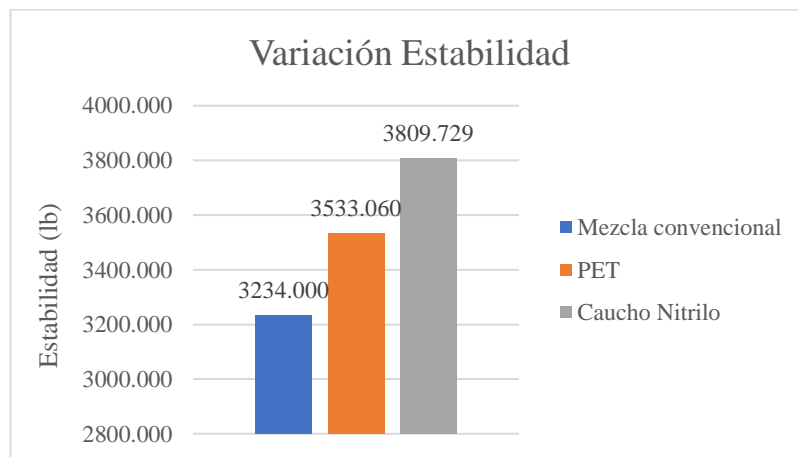
Figura 34.- Variación Vacíos



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: La mezcla asfáltica modificada con PET tiene el valor más alto de vacíos con aire esto podría indicar que la mezcla es más porosa en comparación con la convencional y la modificada con caucho nitrilo, mientras que la mezcla modificada con caucho nitrilo tiene un valor de vacíos con aire cercano a la media establecida dentro del rango permitido (3-5). Esto podría indicar que la mezcla es aceptable en cuanto a su porosidad.

Figura 35.- Variación Estabilidad

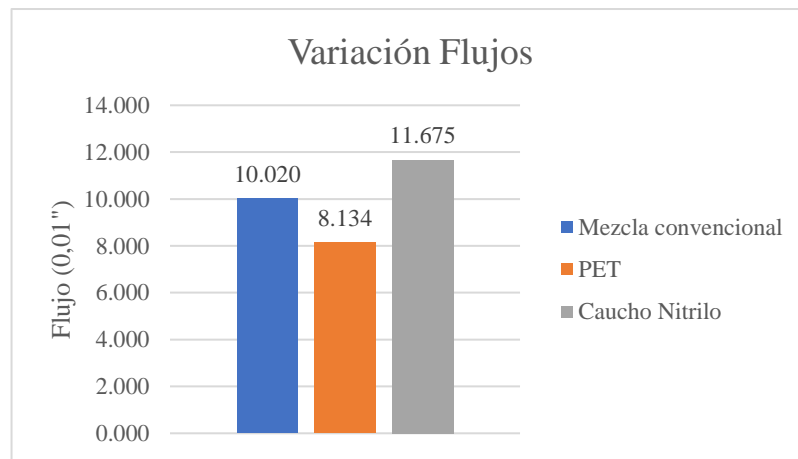


Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: Los datos indican que las mezclas asfálticas modificadas con PET y caucho nitrilo tienen valores de estabilidad más altos que la mezcla asfáltica convencional. Esto sugiere que las mezclas asfálticas modificadas tendrían una mayor resistencia a la deformación plástica bajo carga vertical que la mezcla asfáltica convencional.

Además, se puede observar que la mezcla asfáltica modificada con caucho nitrilo tiene el valor de estabilidad más alto, lo que indica que esta mezcla es la más resistente a la deformación plástica entre las tres mezclas evaluadas.

Figura 36.- Variación Flujos

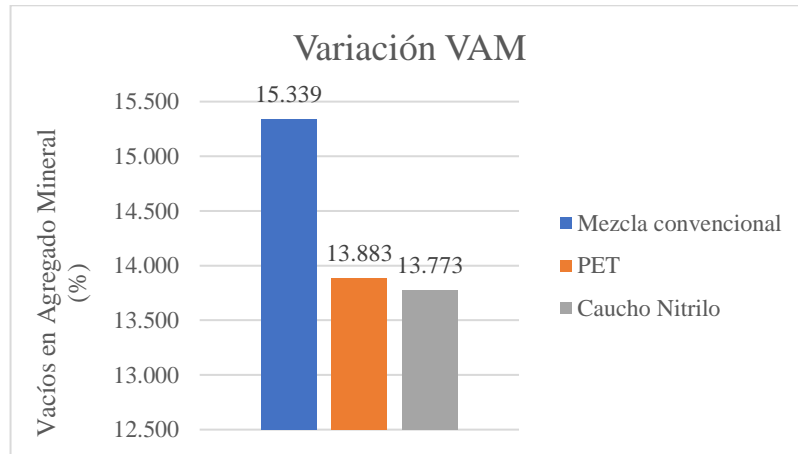


Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: Se puede observar que la mezcla asfáltica modificada con caucho nitrilo tiene el valor de flujo más alto, lo que sugiere que esta mezcla tiene una mayor capacidad de deformación bajo carga. Esto puede deberse a las propiedades del caucho nitrilo, que puede proporcionar una mayor flexibilidad y elasticidad a la mezcla.

Por otro lado, la mezcla asfáltica modificada con PET tiene el valor de flujo más bajo, lo que indica una menor capacidad de deformación.

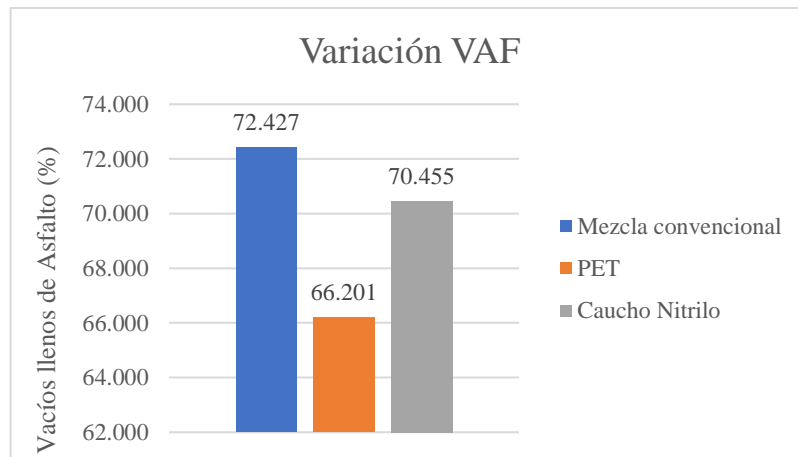
Figura 37.- Variación Vacíos en Agregado Mineral



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: En cuanto al nivel de vacíos en el agregado mineral, ambas mezclas no satisfacen el requisito mínimo del 15%. No obstante, la mezcla que ha sido modificada con caucho nitrilo muestra una menor cantidad de vacíos en el agregado mineral, lo cual resulta muy beneficioso para el desempeño de la mezcla.

Figura 38.- Vacíos llenos de Asfalto



Fuente: Priscila Monserrath Herrera Moya

Interpretación: En general, los datos sugieren que la mezcla asfáltica convencional y las mezclas asfálticas modificadas son de buena calidad, ambos tienen valores de vacíos llenos de asfalto adecuados que indica que se encuentra dentro del rango deseado de 65% - 75%. En comparación la mezcla asfáltica modificada con PET puede requerir más atención para garantizar una mezcla de buena calidad, en cambio la

mezcla modificada con caucho nitrilo presenta los mejores resultados en porcentaje de VAF.

3.4.Verificación de Hipótesis

Una vez que se realizaron todos los ensayos pertinentes tanto a los agregados como a las probetas de las mezclas asfálticas con la adición de PET y Caucho Nitrilo, se comprobó que la implementación de estos polímeros mejoro varias de sus propiedades mecánicas como la resistencia al desgaste, la durabilidad y la capacidad de recuperación elástica en comparación con la mezcla asfáltica convencional, se obtuvo una mejora significativa con la mezcla elaborada con caucho nitrilo en los valores de estabilidad y flujo, se determinó que esta mezcla presenta un mejor comportamiento con una dosificación de un 6% de cemento asfáltico y 4.47% de caucho nitrilo, siendo así la que mejores resultados obtuvo de las mezclas modificadas en comparación con la mezcla añadida con PET.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se estudió el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas donde se estableció que estas mezclas pueden ser una buena opción medioambiental debido a que ofrecen nuevas perspectivas para el desarrollo de infraestructuras viales más duraderas y respetuosas con el medio ambiente. Esto significa que, en promedio, se puede esperar que un pavimento de asfalto modificado con caucho nitrilo dure entre 12 y 18 años, mientras que un pavimento de asfalto normal puede tener una vida útil de alrededor de 10 a 15 años. Cabe destacar que los porcentajes de mejora en la durabilidad pueden variar según los estudios y las condiciones específicas de cada proyecto.
- Se elaboraron briquetas para ser ensayadas de acuerdo a lo requerido por el criterio Marshall, se utilizó la norma ASTM D 1559 y AASHTO T 245 debido a través de este método se determina el porcentaje óptimo de cemento asfáltico, además de estabilidad, flujo y vacíos de los especímenes, donde las muestras se encuentran con dimensiones de un diámetro 4" y de altura 2.5" la misma puede variar dependiendo la compactación; las briquetas ensayadas se diseñaron de acuerdo a los siguientes porcentajes tres briquetas de asfalto convencional por cada porcentaje de cemento asfáltico 5.5%, 6.0%, 6.5% y 7.0% donde se obtuvo un porcentaje óptimo de asfalto de un 6%; se elaboraron además tres briquetas de asfalto modificado con el 5%, 10%, 15% y 20% de polímero (PET) y tres briquetas con porcentajes de 2%, 3%, 4% y 5% modificado con caucho de nitrilo adicionado como reemplazo parcial del agregado 3/8" teniendo un total de 36 briquetas para la investigación.
- Se aplicó el ensayo Marshall a las briquetas elaboradas, para este caso se tuvo dos tipos de briquetas convencionales y modificadas, dentro de estas últimas se adiciono dos tipos de materiales pet y caucho nitrilo; el ensayo permitió determinar los parámetros necesarios densidad, estabilidad y vacíos para obtener el porcentaje de adición optima del material modificante, el porcentaje óptimo de adición de PET fue de un 6.03%, mientras que la mezcla modificada con caucho nitrilo quedó constituida por un óptimo de 4.47%.

- Se determino las propiedades mecánicas de todas las briquetas ensayadas dando los siguientes resultados, briquetas convencionales: peso específico bulk 2.258gr/cm³, vacíos con aire 3.690%, estabilidad 3234 lb, flujo 10.020%, vacíos llenos de asfalto 72.427% y vacíos en el agregado mineral 15.339%; briquetas con PET: peso específico bulk 2.253 gr/cm³, vacíos con aire 4.696%, estabilidad 3533.060 lb, flujo 8.134%, vacíos llenos de asfalto 66.201% y vacíos en el agregado mineral 13.883%; briquetas con caucho nitrilo: peso específico bulk 2.254 gr/cm³, vacíos con aire 4.103%, estabilidad 3809.729 lb, flujo 11.675%, vacíos llenos de asfalto 70.455% y vacíos en el agregado mineral 13.773%.
- Se realizo un análisis comparativo donde se obtuvo que la utilización de Caucho Nitrilo fue el material modificante que obtuvo mejores resultados debido a que su estabilidad aumento significativamente en 17.802% lo que indicaría una durabilidad más alta de la mezcla asfáltica, el índice de vacíos aumento en un 11.194% en relación con la mezcla convencional a pesar de esto se encuentra dentro de los límites establecido en la norma, además se obtuvo una notable mejora en el flujo en un 16.518%, lo cual permitiría que el pavimento no se fisure fácilmente debido a que posee altas deformaciones por el alto flujo, hubo también una reducción del porcentaje VAM en 10.288% y VAF 2.723% lo que contribuye a una mayor resistencia y durabilidad de la mezcla.
- Se determino que en cuanto tiene que ver si es o no eficiente el pavimento asfáltico adicionado con polímeros (PET y Caucho Nitrilo), se dirá que es una opción prometedora para mejorar la calidad y durabilidad de las superficies de pavimento debido a que si se mejoran varias de la propiedades de las mezcla en comparación con la convencional. Sin embargo, es importante realizar investigaciones adicionales para evaluar la viabilidad económica y ambiental de estas mezclas a gran escala antes de su implementación generalizada.

4.2.Recomendaciones

- Se recomienda para la elaboración de las briquetas realizar una correcta selección y combinación de materiales comprobando que dichos materiales cumplan con los requerimientos necesarios, así también se debe tener una adecuada temperatura de compactación para obtener un producto de calidad.
- Es importante seguir los estándares y las normas específicas establecidas por los organismos pertinentes, conjunto con el procedimiento descrito en la normativa del Ensayo Marshall para correcta ejecución de los ensayos a realizarse en la mezcla asfáltica.
- Se recomienda analizar los resultados en función de los criterios de aceptación establecidos o de los estándares aplicables. Esto permitirá determinar correctamente las propiedades mecánicas de las diferentes mezclas asfálticas, como su estabilidad, densidad, flujo, vacíos, entre otros.
- Se recomienda realizar más ensayos con diferentes contenidos de material modificante a los utilizados en esta investigación para evaluar si se consiguen mejores resultados que con los porcentajes encontrados.
- Se recomienda utilizar materiales locales debido a que son recursos naturales abundantes que pueden encontrarse dentro del territorio nacional y son una opción sostenible y económicamente viable para diversas aplicaciones constructivas.
- La incorporación de polímero PET o caucho nitrilo en la modificación del asfalto puede ser considerada como una alternativa viable para el mantenimiento de grietas longitudinales y transversales en pavimentos. Sin embargo, es necesario realizar una evaluación detallada de las características específicas de las fallas existentes. Es imperativo consultar y obtener el asesoramiento de expertos en ingeniería de pavimentos, quienes cuentan con un profundo conocimiento sobre las prestaciones y limitaciones de estos aditivos. La toma de decisiones debe estar respaldada por datos técnicos sólidos y el análisis de resultados obtenidos previamente en investigaciones o proyectos similares.

C. MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] RUTH SUSANA TAPIA ORTEGA, “EVALUACIÓN EX – POST DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO VIAL POR NIVELES DE SERVICIO EN LA RED VIAL ESTATAL DEL ECUADOR’ ,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito, 2016. Accessed: May 10, 2023. [Online]. Available: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/11084/TESIS%20SUSANA%20TAPIA%20O..pdf?sequence=1>
- [2] I. Patricio Romero Flores Ing Hugo Bonifaz García and I. Patricio Romero Ing Hugo Bonifaz, “UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INGENIERIA CIVIL CERTIFICADO”.
- [3] C. V. Palma, J. Carlos, O. Cisneros, F. Ávalos Belmonte, and A. C. Facio, “Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos”.
- [4] K. Soudani, V. Cerezo, and S. Haddadi, “Effect of NBR-Waste on Rheological Properties of Modified Bitumen and Mechanical Characteristics of the Asphalt Mix,” in *Sustainable Civil Infrastructures*, Springer Science and Business Media B.V., 2018, pp. 203–213. doi: 10.1007/978-3-319-61905-7_18.
- [5] A. F. Ahmad, A. R. Razali, I. S. M. Razelan, S. S. A. Jalil, M. S. M. Noh, and A. A. Idris, “Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in bituminous mixture for improved performance of roads,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jun. 2017. doi: 10.1088/1757-899X/203/1/012005.
- [6] S. Bhau, “ANÁLISIS COMPARATIVO DE COVENCIONALES Y CAUCHO DE NITRILO BUTADIENO MEZCLA BITUMINOSA MODIFICADA.” [Online]. Available: <http://iaeme.com/Home/journal/IJCIET>
- [7] F. Alberto Reyes Lizcano Ing María Fernanda Madrid Ahumada Ing Sandra Ximena Salas Callejas, “5 Infraestructura Vial • N o 17 • Febrero 007.”
- [8] L. M. Hoyos Díaz, K. del C. Puicon Herrera, S. P. Muñoz Pérez, L. M. Hoyos Díaz, K. del C. Puicon Herrera, and S. P. Muñoz Pérez, “Uso del caucho granulado en mezclas asfálticas: Una revisión literaria,” *Infraestructura Vial*, vol. 23, no. 41, pp. 11–19, Feb. 2021, doi: 10.15517/IV.V23I41.44410.
- [9] S. Andrés Ortiz Montero and I. Mg FRICSON MOREIRA, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ‘ANÁLISIS DEL MEJORAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MODIFICADA CON POLÍMERO ELASTOMÉRICO DE BUTADIENO (LÁTEX)’ AUTOR: TUTOR,” 2016.

- [10] ROMERO BAYAS CRISTINA ISABEL, “ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON AGREGADO DE ORIGEN VOLCÁNICO (ESCORIA Y ARENA), ADICIONADAS CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO (EVA), UTILIZANDO EL ENSAYO MARSHALL,” *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO*, 2017.
- [11] D. E. Pavimentos, A. A. Base, and D. E. Polímeros, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL “ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO A COMPRESIÓN”.
- [12] N. Ecuatoriana Vial, “MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS DEL ECUADOR SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE”.
- [13] A. M. Fonseca, “Ingeniería de pavimentos - Alfonso Montejó Fonseca,” *Ingeniería de pavimentos para carreteras*, vol. 2, 2001, Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/22782711/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejó_Fonseca
- [14] F. Rondon Quintana, “Pavimentos Materiales, construcción y diseño,” pp. 1–573, 2015, Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/299484649_Pavimentos_Materiales_construccion_y_diseño
- [15] T. Por -Manuel Velázquez, “MANUAL DEL ASFALTO THE ASPHALT INSTITUTE”.
- [16] uson mx, “Propiedades y Estudios de los Materiales asfálticos y pétreos,” <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf> (accessed Mar. 19, 2023).
- [17] G. Jose and S. Arce, “UNIVERSIDAD DE CHILE FACULTAD DE CS. FÍSICAS Y MATEMÁTICAS DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Influencia de la contaminación salina en el envejecimiento prematuro de mezclas y tratamientos asfálticos,” 2007.
- [18] “UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO CARRERA: INGENIERÍA CIVIL Trabajo de titulación previo a la obtención del título de: INGENIERO CIVIL TEMA: MEJORAMIENTO DE LA CARPETA ASFÁLTICA A BASE DE ESCORIA SIDERÚRGICA PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES (MEZCLA ASFÁLTICA) AUTOR: DANILO RAMIRO LÓPEZ CAIZA TUTOR: NELSON EDY ÁLVAREZ SÁNCHEZ Quito, agosto del 2017”.

- [19] A. Padilla Rodríguez, “Análisis de la resistencia a las deformaciones plásticas de mezclas bituminosas densas de la normativa mexicana mediante el ensayo de pista,” Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2004.
- [20] M. DE Obras Publicas, “ESPECIFICACIONES GENERALES ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES DE CAMINOS Y PUENTES,” 2002.
- [21] ING. SILENE MINAYA GONZALEZ and M.I. ABEL ORDÓÑEZ HUAMAN, “MANUAL DE LABORATORIO ENSAYOS PARA PAVIMENTOS,” *Sección Minerología*, vol. 1, 2001, Accessed: Mar. 19, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/6949871/MANUAL_DE_ENSAYOS_PARA_PAVIMENTOS
- [22] INEN 696:2011, “Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso,” *Norma Técnica Ecuatoriana*.
- [23] NTE INEN 860:2011, “Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles,” *Norma Técnica Ecuatoriana*.
- [24] NTE INEN 856:2010, “Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino,” *Norma Técnica Ecuatoriana*.
- [25] ASTM D 5821-95, “PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS.” Accessed: Mar. 20, 2023. [Online]. Available: https://www.academia.edu/37515303/PORCENTAJE_DE_CARAS_FRACTURADAS_EN_LOS_AGREGADOS
- [26] L. Enrique and R. Soto, “ANÁLISIS DE UN ASFALTO TIPO AC-20 MODIFICADO CON ELVALOY® POR MEDIO DEL MÉTODO UCL® (MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES),” Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, 2008.
- [27] I. Patricio Romero Flores Ing Hugo Bonifaz García and I. Patricio Romero Ing Hugo Bonifaz, “UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INGENIERIA CIVIL CERTIFICADO”.
- [28] F. Elizondo Arrita, J. Salazar Delgado, and E. Villegas Villegas, “ANÁLISIS REOLÓGICO DE ASFALTOS MODIFICADOS”.
- [29] Élida Hermida, “Polímeros,” *MATERIALES Y MATERIAS PRIMAS*, no. 9, 2011.
- [30] DARWIN FRANCISCO SUASNAVAS FLORES, “Degradación de materiales plásticos ‘PET’ (polyethylene terephthalate), como alternativa para su gestión,” PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS, Quito, 2017.

- [31] “¿Qué es el caucho de nitrilo / NBR? - ¿Qué hace que el caucho de nitrilo (NBR) sea único?” <https://www.j-flex.com/es/what-is-nitrile-nbr-rubber/> (accessed Mar. 20, 2023).
- [32] “Caucho nitrilo (NBR) | Tecnología de los Plásticos.” <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2012/01/el-caucho-nitrilo-tambien-conocido-como.html> (accessed Mar. 20, 2023).
- [33] Paul Javier León Torres, “Caracterización de agregados de dos minas para el diseño de mezcla asfáltica en caliente que cumplan con especificaciones del MTOP.,” UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Quito, 2019. Accessed: Mar. 21, 2023. [Online]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18434/1/T-UCE-0012-FIG-002%20-%20P.pdf>
- [34] I. De Fallas, E. N. Pavimentos, Y. Técnicas, and D. E. Reparación, “REPUBLICA DOMINICANA MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES ‘Año del Fomento de la Vivienda’”.
- [35] ENKADOR, “Quality.” <https://www.enkador.com/quality/> (accessed Apr. 02, 2023).
- [36] A. Javier, V. Guevara, I. M. Alex, and G. L. Arboleda, “UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL”.

Anexos

Anexo A. Método Marshall

% AC by wt. of mix, Spec. No.	Spec. Height in. (mm)	Mass, grams			Bulk Volume, cc	Bulk S.G. Specimen	Max. S.G. (Loose Mix)	Unit Weight, pcf (Mg/m ³)	% Air Voids	%VMA	%VFA	Stability, lbs. (N)		Flow 0.01 in. (0.25 mm)
		In Air	In Water	Sat. Surface Dry In Air								Measured	Adjusted	
3.5 - A		1240.6	726.4	1246.3	519.9	2.386	148.9					2440	2440	8
3.5 - B		1238.7	723.3	1242.6	519.3	2.385	148.8					2420	2420	7
3.5 - C		1240.1	724.1	1245.9	521.8	2.377	148.3					2510	2510	6
Average						2.383	2.570	148.7	7.3	14.0	48.0		2457	7
4.0 - A		1244.3	727.2	1246.6	519.4	2.396	149.5					2180	2180	7
4.0 - B		1244.6	727.0	1247.6	520.6	2.391	149.2					2260	2260	8
4.0 - C		1242.6	727.9	1244.0	516.1	2.408	150.2					2310	2310	8
Average						2.398	2.550	149.6	6.0	13.9	57.1		2250	7.7
4.5 - A		1249.3	735.8	1250.2	514.4	2.429	151.2					2420	2420	9
4.5 - B		1250.8	728.1	1251.6	523.5	2.389	149.1					2310	2314	9
4.5 - C		1251.6	735.3	1253.1	517.8	2.417	150.8					2340	2340	9
Average						2.412	2.531	150.5	4.7	13.9	66.1		2358	9
5.0 - A		1256.7	739.8	1257.6	517.8	2.427	151.4					2290	2290	10
5.0 - B		1258.7	742.7	1259.3	516.6	2.437	152.0					2190	2190	10
5.0 - C		1258.4	737.5	1259.1	521.6	2.418	150.5					2240	2240	9
Average						2.425	2.511	151.3	3.4	13.8	75.2		2240	9.7
5.5 - A		1263.8	742.6	1264.3	521.7	2.422	151.2					2210	2210	11
5.5 - B		1258.8	741.4	1259.4	518.0	2.430	151.6					2300	2300	10
5.5 - C			742.5	1259.5	517.0	2.435	152.0					2210	2240	10
Average						2.429	2.493	151.6	2.5	14.1	82.1		2240	10.3

Fuente: Manual del Instituto del Asfalto (7ma Edición)

Factor de Corrección de Estabilidad de Marshall

Volumen de probeta (cm3)		Espesor aprox. (mm)	Factor de corrección de Estabilidad
200	213	25.40	5.56
214	225	27.00	5.00
226	237	28.60	4.55
238	250	30.20	4.17
251	264	31.80	3.85
265	276	33.30	3.57
277	289	34.90	3.33
290	301	36.50	3.03
302	316	38.10	2.78
317	328	39.70	2.50
329	340	41.30	2.27
341	353	42.90	2.08
354	367	44.40	1.92
368	379	46.00	1.79
380	392	47.60	1.67
393	405	49.20	1.56
406	420	50.80	1.47
421	431	52.40	1.39
432	443	54.00	1.32
444	456	55.60	1.25
457	470	57.20	1.19
471	482	58.70	1.14
483	495	60.30	1.09
496	508	61.90	1.04
509	522	63.50	1.00
523	535	65.10	0.96
536	546	66.70	0.93
547	559	68.30	0.89
560	573	69.80	0.86
574	585	71.40	0.83
586	598	73.00	0.81
599	610	74.60	0.78
611	625	76.20	0.76

Fuente: INV-E-748-07 Resistencia de Mezclas Asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall.

Anexo B. Elaboración de Briquetas Asfálticas

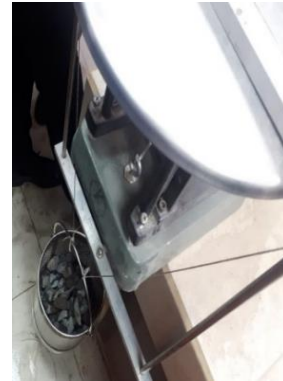
ADQUISICIÓN DE MATERIAL PÉTREO	
	
Agregado fino	Agregado grueso
	
Planta asfáltica JEAL Construcciones	
ENSAYO ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
	
Tamices en pedestal vibratorio	Porcentaje de agregado retenido en el tamiz

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGUA DEL
AGREGADO GRUESO Y FINO**

AGREGADO GRUESO



Peso de la canastilla vacía al aire



Peso de la canastilla más agregado grueso al aire



Peso de la canastilla sumergida más
agregado grueso



Muestra de agregado grueso colocada en el horno

AGREGADO FINO



Peso agua, muestra y picnómetro



Peso muestra después de 24 horas en aire

ELABORACIÓN DE BRIQUETAS



Pesado de los agregados



Calentado de los materiales



Preparación de los agregado y vertido de asfalto (140°C)



Mezclado del asfalto



Compactación de la mezcla



Briquetas elaboradas

Anexo C. Ensayo de Estabilidad y Flujo

ANÁLISIS DE DENSIDAD BULK	
	
Peso Aire	Peso en Agua
	
Peso Superficie Seca Saturada	
ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO	
	
Briqueta colocadas en Baño María a 60°C	Briqueta ensayada en el equipo Marshall

Anexo D. Ensayo Densidad Máxima Teórica (RICE)

ENSAYO DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA (RICE)	
	
<p>Muestra disgregada</p>	<p>Máquina de vacíos – Ensayo RICE</p>
	
<p>Colocación de la muestra más agua</p>	<p>Extracción de aire</p>