



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

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

TEMA:

**“INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS
HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS
EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA
DE TUNGURAHUA”**

AUTOR: Jonathan Stallin Castro Faz

TUTORA: Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano

AMBATO - ECUADOR

Septiembre – 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: “**INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA**”, elaborado por el **Sr. Jonathan Stallin Castro Faz**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 180492266-2, 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 autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

Ing. Mg. Myriam Marisol Bayas Altamirano

TUTORA

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jonathan Stallin Castro Faz** con C.I. 180492266-2 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Jonathan Stallin Castro Faz

C.I: 1804922662

AUTOR

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 patrimoniales 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, Septiembre 2021



Jonathan Stallin Castro Faz

C.I: 180492266-2

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jonathan Stallin Castro Faz de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. López Arboleda Alex Gustavo

Miembro Calificador

Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez Ph.D.

Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mi madre Rosita por darme la vida, por haber inculcado en mis grandiosos valores para ser una persona de bien, por ser mi mayor fortaleza en todas las etapas de mi vida, quien con mucho esfuerzo y sacrificio me apoya siempre, por darme todo su amor, comprensión y consejos. Gracias mamá por su amor infinito, gracias por ser una gran amiga en la cual puedo confiar, gracias por alentarme y darme fuerzas, eres la mejor.

A mis hermanos Bryan y Kevin, por estar conmigo siempre, por compartir momentos de alegrías y tristezas, gracias por su cariño hacia mí los quiero mucho.

Jonathan

AGRADECIMIENTO

A Dios por bendecirme, guiarme e iluminarme en toda mi carrera, por permitirme finalizar esta gran etapa de mi vida.

A mis padres por apoyarme en todo momento, por guiarme y darme sus consejos cuando los necesito.

A toda mi familia por darme siempre consejos, palabras de aliento, por creer en mí y por todo el apoyo que me han brindado para cumplir mis metas.

A mi novia Shirley, quién se convirtió en una de las personas más importante de mi vida, gracias a su amor y apoyo incondicional.

A mi amigo Welington por bríndame su amistad y confianza todo este tiempo.

Al Ingeniero José Alvarado y su familia, por brindarme su ayuda y palabras de aliento.

A la Ingeniera Marisol Bayas con su paciencia y sus conocimientos me ayudó al desarrollo de mi tesis de grado.

A la Universidad Técnica de Ambato, en especial a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a mis profesores por brindarme sus conocimientos para convertirme en un gran profesional.

Jonathan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	viii
ÍNDICE DE IMÁGENES	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xvii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Antecedentes	1
1.1.2. Justificación.....	2
1.1.3 Fundamentación Teórica.....	3
1.1.3.1 Asfalto.....	3

1.1.3.2 Composición química del asfalto	3
1.1.3.3 Propiedades Físicas del asfalto.....	5
1.1.3.4 Clasificación de los asfaltos de pavimentación.....	7
1.1.3.5 Tipos de Asfaltos	11
1.1.3.6 Usos más comunes del asfalto en ingeniería.....	13
1.1.3.7 Agregados Pétreos.....	14
1.1.3.7.1 Tipos de agregados pétreos	15
1.1.3.7.2 Propiedades bajo puntos de vista de los agregados pétreos	15
1.1.3.7.3 Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.....	16
1.1.3.7.4 Gradación del agregado.....	16
1.1.3.7.5 Propiedades de los agregados pétreos	17
1.1.3.7.6 Caracterización de los agregados pétreos	18
1.1.3.7.7 Agregado Grueso y fino	19
1.1.3.8 El polímero.....	25
1.1.3.8.1 Producción de los polímeros	27
1.1.3.8.2 Clasificación por formación y estructura de los polímeros.....	27
1.1.3.8.3 Principales tipos de polímeros	28
1.1.3.8.4 Polímeros modificadores de asfalto según ASTM.....	32
1.1.3.9 Definición de Mezcla Asfáltica.....	35
1.1.3.9.1 Consideraciones para la selección y proyecto de una mezcla asfáltica	36
1.1.3.9.2 Mezcla en planta	37

1.1.3.9.3 Definición de las mezclas asfálticas en caliente	38
1.1.3.9.4 Mezclas modificadas con polímeros	39
1.1.3.10 Método Marshall	40
1.1.3.10.1 Estabilidad Marshall	43
1.1.3.10.2 Flujo	43
1.1.3.10.3 Contenido de vacíos	44
1.1.3.10.4 Contenido de vacíos en el agregado mineral (VAM).....	44
1.1.3.10.5 Contenido de asfalto.....	46
1.1.4 Hipótesis.....	46
1.2 Objetivos	47
1.2.1 Objetivo General	47
1.2.3 Objetivos Específicos.....	47
CAPÍTULO II	48
METODOLOGÍA	48
2.1 Materiales y Equipos.....	48
2.2 Métodos.....	52
2.2.1 Nivel o Tipo de Investigación	52
2.2.2 Población y Muestra.....	52
2.2.3 Plan de Recolección de Datos	53
2.2.4 Plan de Procesamiento y Análisis de Información.....	54
2.2.5 Ensayos realizados a los agregados	55

2.2.5.1	Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.....	55
2.2.5.2	Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos.....	57
2.2.5.3	Gravedad específica y absorción de los agregados finos	58
2.2.5.4	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	59
2.2.5.5	Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso	60
2.2.5.6	Obtención del polímero.....	62
2.2.6	Diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	62
2.2.6.1	Ensayos a las briquetas asfálticas convencionales	64
2.2.6.2	Análisis de la densidad y vacíos de las briquetas asfálticas convencionales .	64
2.2.6.3	Diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros	69
2.2.6.3.1	Ensayos a las briquetas adicionadas con polímeros	71
2.2.6.3.2	Análisis de la densidad y vacíos de las briquetas con adición de polímeros	72
CAPÍTULO III.....		75
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		75
3.1	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	75
3.1.1	Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.....	75
3.1.2	Peso específico y absorción del agregado grueso	80
3.1.3	Peso específico y absorción del agregado fino	82
3.1.4	Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso	83

3.1.5 Porcentaje de caras fracturadas	84
3.1.6 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica convencional	85
3.1.6.1 Gravedad específica de los agregados.....	85
3.1.6.2 Gravedad específica máxima teórica (Ensayo Rice).....	85
3.1.6.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas convencionales	86
3.1.6.3.1 Contenido Óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica convencional.....	87
3.1.7 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición del polímero Polietileno Tereftalato (PET)	91
3.1.7.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímero PET.....	92
3.1.7.2 Ensayo Rice mezcla con adición de polímero PET	92
.....	92
3.1.7.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición del polímero Polietileno Tereftalato (PET).....	93
3.1.7.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con polímero Polietileno Tereftalato PET.....	94
3.1.8 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición del polímero Polipropileno (PP).....	98
3.1.8.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímero PP	98
3.1.8.2 Ensayo Rice mezcla asfáltica con adición de polímero PP.....	98
3.1.8.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición del polímero Polipropileno (PP)	100

3.1.8.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con adición de polímero Polipropileno (PP)	101
3.1.9 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición de polímeros Polietileno Tereftalato (PET) - Polipropileno (PP).....	104
3.1.9.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET-PP.....	104
3.1.9.2 Ensayo Rice mezcla asfáltica con adición de polímeros PET-PP.....	104
3.1.9.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP	106
3.1.9.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con adición de Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP).....	107
3.1.10 Análisis de los resultados	111
3.1.10.1 Análisis de los resultados de la mezcla asfáltica convencional	111
3.1.10.2 Análisis de los resultados de la mezcla asfáltica con adición de polímeros	113
3.1.10.3 Análisis de costos de producción en planta para la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica con adición de polímeros (PET, PP T PET-PP).....	121
3.1.10.4 Cálculo de la dosificación para la mezcla asfáltica convencional	122
3.1.10.5 Cálculo de la dosificación para la mezcla asfáltica con adición de polímeros	123
3.2 Verificación de la hipótesis.....	129
CAPITULO IV.....	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130

4.1 Conclusiones	130
4.2 Recomendaciones.....	132
MATERIALES DE REFERENCIA	133
Referencias Bibliográficas	133
2.ANEXOS	138
2.1 Resultados del ensayo Rice en la mezcla asfáltica con convencional	138
2.4 Resultados del ensayo Rice en la mezcla asfáltica con adición de polímeros ...	140
2.5 Dosificaciones para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con adición de polímeros	144
2.6 Factor de corrección para la Estabilidad Marshall.....	145
2.7 Densidad del agua y factor de corrección k para varias temperaturas	148
2.8 Anexos Fotográficos	149

ÍNDICE DE IMÁGENES

Figura N° 1: Composición química del asfalto.....	4
Figura N° 2: Proceso de polimeración	26
Figura N° 3: Polímeros usados para la modificación de asfaltos.....	29
Figura N° 4: PET (Polietileno tereftalato)	33
Figura N° 5: PP (Polipropileno).....	34
Figura N° 6: Triturados de PET Y PP.....	35
Figura N° 7: Representación de volúmenes en la briqueta	45

Figura N° 8: Planta asfáltica JEAL Construcciones	54
Figura N° 9: Granulometría de los agregados.....	56
Figura N° 10: Gravedad específica del agregado grueso	57
Figura N° 11: Gravedad específica del agregado fino	59
Figura N° 12: Porcentaje de caras fracturadas	60
Figura N° 13: Resistencia al desgaste por abrasión	61
Figura N° 14: Ensayo RICE mezcla asfáltica convencional.....	65
Figura N° 15: Diseño mezcla asfáltica convencional	69
Figura N° 16: Ensayo RICE mezcla asfáltica con adición de polímeros.....	73
Figura N° 17: Diseño mezcla asfáltica con adición de polímeros	74
Figura N° 18: Curva granulométrica agregado grueso 3/4"	76
Figura N° 19: Curva granulométrica agregado intermedio 3/8".....	77
Figura N° 20: Curva granulométrica agregado fino.....	78
Figura N° 21: Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto	87
Figura N° 22: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto	87
Figura N° 23: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto	88
Figura N° 24: Estabilidad vs. Contenido de asfalto	88
Figura N° 25: Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto	89
Figura N° 26: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto	89
Figura N° 27: Polímero Polietileno Tereftalato (PET)	91
Figura N° 28: Estabilidad vs. Contenido de PET.....	94

Figura N° 29: Peso específico Bulk vs. Contenido de PET	95
Figura N° 30: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PET	95
Figura N° 31: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PET	96
Figura N° 32: Flujo o deformación vs. Contenido de PET	96
Figura N° 33: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PET	97
Figura N° 34: Polímero Polipropileno (PP)	98
Figura N° 35: Peso específico Bulk vs. Contenido PP	101
Figura N° 36: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PP	101
Figura N° 37: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PP	102
Figura N° 38: Estabilidad vs. Contenido de PP	102
Figura N° 39: Flujo o deformación vs. Contenido de PP	103
Figura N° 40: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PP	103
Figura N° 41: Peso específico Bulk vs. Contenido de PET-PP	107
Figura N° 42: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PET-PP	107
Figura N° 43: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PET-PP	108
Figura N° 44: Estabilidad vs. Contenido de PET-PP	108
Figura N° 45: Flujo o deformación vs. Contenido de PET-PP	109
Figura N° 46: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PET-PP	109
Figura N° 47: Comparación de resultados de peso específico Bulk de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	113

Figura N° 48: Comparación de resultados de Índice de vacíos con aire de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	114
Figura N° 49: Comparación de resultados de Vacíos en agregados minerales de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	115
Figura N° 50: Comparación de resultados de Estabilidad de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	116
Figura N° 51: Comparación de resultados de Flujo o deformación de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	117
Figura N° 52: Comparación de resultados de Porcentaje de vacíos llenos de asfalto de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Requisitos para cementos asfálticos	9
Tabla N.º 2: Ficha técnica del Asfalto AC-20.....	10
Tabla N.º 3: Requisitos granulométricos	16
Tabla N.º 4: Peso de la muestra de acuerdo a la graduación del material	21
Tabla N.º 5: Número de esferas de acuerdo a la muestra	21
Tabla N.º 6: Tipos de abrasión.....	22
Tabla N.º 7: Cantidades necesarias para ensayo de peso específico del agregado grueso.	23
Tabla N.º 8: Especificaciones para mezclas asfálticas in situ.....	42
Tabla N.º 9: Parámetros de referencia para el Ensayo Marshall.....	42

Tabla N.º 10: Parámetros VAM para el Ensayo Marshall	45
Tabla N.º 11: Equipos y materiales utilizados para el desarrollo del proyecto	48
Tabla N.º 12: Plan de Recolección de Datos	53
Tabla N.º 13: Clasificación de suelos (agregado grueso y fino).....	75
Tabla N.º 14: Granulometría Agregado grueso 3/4".....	76
Tabla N.º 15: Granulometría Agregado Intermedio 3/8".....	77
Tabla N.º 16: Granulometría Agregado Fino.....	78
Tabla N.º 17: Valores de Coeficientes de Curvatura y Uniformidad.....	79
Tabla N.º 18: Gravedad específica agregado grueso 3/4".....	80
Tabla N.º 19: Gravedad específica agregado grueso 3/8".....	81
Tabla N.º 20: Gravedad específica agregado fino.....	82
Tabla N.º 21: Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso	83
Tabla N.º 22: Porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso	84
Tabla N.º 23: Gravedad específica de los agregados	85
Tabla N.º 24: Ensayo Rice para el 5% de cemento asfáltico	85
Tabla N.º 25: Diseño de la mezcla asfáltica convencional por el Método Marshall	86
Tabla N.º 26: Contenido Óptimo de Asfalto de la Mezcla asfáltica convencional..	90
Tabla N.º 27: Resultados obtenidos con porcentaje óptimo	90
Tabla N.º 28: Fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica convencional...	91
Tabla N.º 29: Ensayo Rice para el 1% de polímero PET.....	92

Tabla N° 30: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímero PET por el Método Marshall	93
Tabla N.º 31: Resultados con porcentaje óptimo de PET	97
Tabla N.º 32: Ensayo Rice para el 1% de polímero PP	99
Tabla N° 33: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímero PP por el Método Marshall.....	100
Tabla N.º 34: Resultados con porcentaje óptimo de PP.....	104
Tabla N.º 35: Ensayo Rice para el 1% de polímero PP	105
Tabla N.º 36: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP por el Método Marshall	106
Tabla N.º 37: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP por el Método Marshall	106
Tabla N.º 38: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP por el Método Marshall	106
Tabla N.º 39: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP por el Método Marshall	106
Tabla N.º 40: Resultados con porcentaje óptimo de PET-PP	110
Tabla N.º 41: Fórmula maestra de trabajo para mezclas asfálticas con adición de polímeros.....	111
Tabla N.º 42: Comparación de criterios para la mezcla convencional por el Método Marshall.....	112
Tabla N.º 43: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PET por el Método Marshall	119

Tabla N.º 44: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PP por el Método Marshall	119
Tabla N.º 45: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PET-PP por el Método Marshall	120
Tabla N.º 46: Composición en peso de los agregados para mezcla asfáltica convencional	122
Tabla N.º 47: Dosificación para un Metro Cubico (m3) mezcla asfáltica convencional	123
Tabla N.º 48: Dosificación para un Metro Cubico (m3) mezcla asfáltica con adición de polímeros	124
Tabla N.º 49: Cálculo del precio unitario de 1m3 de mezcla asfáltica convencional con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones.....	125
Tabla N.º 50: Cálculo del precio unitario de 1m3 de mezcla asfáltica con adición del 5% de polímero PET con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones .	126
Tabla N.º 51: Cálculo del precio unitario de 1m3 de mezcla asfáltica con adición del 5% de polímero PP con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones....	127
Tabla N.º 52: Cálculo del precio unitario de 1m3 de mezcla asfáltica con adición del 7.2% de polímeros PET-PP con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones	128
Tabla N.º 53: Ensayo Rice para el 5,5% de cemento asfáltico	138
Tabla N.º 54: Ensayo Rice para el 6% de cemento asfáltico	138
Tabla N.º 55: Ensayo Rice para el 6,5% de cemento asfáltico	139
Tabla N.º 56: Ensayo Rice para el 7% de cemento asfáltico	139
Tabla N.º 57: Ensayo Rice para el 3% de polímero PET.....	140

Tabla N.º 58: Ensayo Rice para el 6% de polímero PET.....	140
Tabla N.º 59: Ensayo Rice para el 9% de polímero PET.....	141
Tabla N.º 60: Ensayo Rice para el 3% de polímero PP	141
Tabla N.º 61: Ensayo Rice para el 6% de polímero PP	142
Tabla N.º 62: Ensayo Rice para el 9% de polímero PP	142
Tabla N.º 63: Ensayo Rice para el 3% de polímeros PET-PP	143
Tabla N.º 64: Ensayo Rice para el 6% de polímeros PET-PP	143
Tabla N.º 65: Ensayo Rice para el 9% de polímeros PET-PP	144
Tabla N.º 66: Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional....	144
Tabla N.º 67: Dosificación para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET, PP y PET, PP.....	145
Tabla N.º 68: Factor de Corrección de la Estabilidad Marshall de acuerdo al espesor de la briqueta.....	145
Tabla N.º 69: Densidad del agua y factor de corrección k para varias temperaturas	148

RESUMEN

El objetivo de este trabajo experimental fue elaborar mezclas asfálticas con adición de polímeros (Polietileno Tereftalato PET, Polipropileno PP separados y en conjunto), en este caso se utilizaron botellas y tapones plásticos respectivamente, los cuales se obtuvieron mediante el proceso de reciclaje. Se utilizó material pétreo obtenido de la planta asfáltica JEAL Construcciones ubicada en el cantón Ambato, con estos se realizaron briquetas de asfalto basado en el Método Marshall para el Diseño de Mezclas Bituminosas Asfálticas con su normativa Norma ASTM D 1559 para evaluar su incidencia contra briquetas asfálticas convencionales.

En primer lugar, se realizaron ensayos a los agregados grueso y fino respectivamente acorde a las especificaciones de las normativas vigentes. Posteriormente se elaboró 15 briquetas convencionales con distintos porcentajes de cemento asfáltico desde el 5 hasta el 7 con intervalos de 0.5, al ensayar estas briquetas, se determinó el porcentaje óptimo de asfalto, con este se elaboró 3 briquetas con adición de polímeros PET, PP y PET-PET con porcentajes de 1,3,6 y 9 respectivamente, adicionados a la mezcla asfáltica como reemplazo parcial del agregado fino. Finalmente se realizó un análisis comparativo de las propiedades de las mezclas asfálticas convencionales y modificadas, determinando que la modificada es una alternativa, la cual dio resultados positivos con relación a la carga, es decir, estabilidad. No obstante, con relación, al flujo o deformación y porcentaje de vacíos, presentando altos niveles de deformación.

PALABRAS CLAVES: Mezclas asfálticas, PET, PP, ASTM D 1559, Niveles de deformación.

ABSTRACT

The objective of this experimental work was to elaborate asphalt mixtures with the addition of polymers (Polyethylene Terephthalate PET, Polypropylene PP separately and together), in this case plastic bottles and caps were used respectively, which were obtained through the recycling process. Stony material obtained from the JEAL Construcciones asphalt plant located in the Ambato canton was used to make asphalt briquettes based on the Marshall Method for the Design of Bituminous Asphalt Mixtures with its standard ASTM D 1559 to evaluate its incidence against conventional asphalt briquettes.

First, tests were performed on the coarse and fine aggregates, respectively, according to the specifications of the standards in force. Subsequently, 15 conventional briquettes were made with different percentages of asphalt cement from 5 to 7 with intervals of 0.5. After testing these briquettes, the optimum percentage of asphalt was determined, with which 3 briquettes were made with the addition of PET, PP and PET-PET polymers with percentages of 1,3,6 and 9 respectively, added to the asphalt mix as a partial replacement of the fine aggregate. Finally, a comparative analysis of the properties of the conventional and modified asphalt mixes was carried out, determining that the modified asphalt mix is an alternative, which gave positive results in relation to the load, i.e., stability. However, in relation to flow or deformation and percentage of voids, it showed high levels of deformation.

KEY WORDS: Asphalt mixes, PET, PP, ASTM D 155, Deformation levels.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

En la actualidad debido a la necesidad creciente de contar con productos que tengan un mejor comportamiento bajo la acción del tránsito vehicular y de los distintos factores ambientales, se han desarrollado procesos y fórmulas los cuales permiten la elaboración de asfaltos de mayor durabilidad, mediante la adición de polímeros.

La técnica de la adición de polímeros en la preparación de mezclas asfálticas convencionales data desde hace más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico, desde entonces en nuestro país se ha mostrado el interés en conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros, a través de pruebas de laboratorio. [1]

En nuestro cantón, debido al exceso de tráfico vehicular existe un gran deterioro de las principales vías de acceso y avenidas, debido a que en su gran mayoría en la construcción de las mismas se utiliza mezclas asfálticas convencionales, a falta de investigación para encontrar técnicas adecuadas que mejoren las propiedades físico/mecánicas de las mezclas asfálticas.

Con el incremento poblacional se ha ido aumentando también el tipo y la cantidad de tráfico, así como también la carga del vehículo, es decir se presenta una mayor exigencia al pavimento asfáltico, por lo tanto, los materiales que se utilizan en la construcción de estos pavimentos son también de mayor exigencia.

La adición de polímeros a los hormigones asfálticos convencionales ha demostrado mejores resultados en comparación con los hormigones asfálticos convencionales, con lo que de esta manera se constituye en una aplicación para obras de pavimentación y dé respuesta a la problemática de la malla vial del cantón.

Actualmente en la localidad se están realizando investigaciones para el mejoramiento del asfalto y así conseguir aplicar este tipo de técnicas ya que se dispone de todos los recursos necesarios para su obtención e implementación en los proyectos. [2]

1.1.2. Justificación

El asfalto es un material de vital importancia en la construcción de carreteras, tiene la capacidad de permitir una excelente unión y cohesión entre los agregados, además es capaz de resistir la acción de presión y disgregación ocasionada por las cargas vehiculares.

Las carreteras para el desarrollo nacional son de gran importancia, ya que estas deben tener la capacidad de proporcionar un tráfico seguro, cómodo y sin problemas. Actualmente los defectos de las carreteras provocan retrasos en el tráfico, el deterioro de vehículos y el costo para los usuarios. Esto, a su vez, se traduce en una reducción en el logro de los objetivos del servicio vial, lo que afecta el desarrollo y el progreso de las áreas que transmite. [3]

En las principales vías de acceso al cantón Ambato, así como en sus avenidas existe un gran deterioro en la capa asfáltica, debido a que en la construcción de las mismas se utilizan mezclas asfálticas convencionales. Las lluvias han generado inundaciones y deslaves, provocando un pésimo estado de las vías, ya que no existe un plan de mantenimiento vial o no se lo aplica, impidiendo resolver el problema mediante la recuperación de la red vial. [4]

Permanentemente el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MOP-001-F 2002) investiga con su equipo técnico sobre los nuevos materiales y tipos de revestimientos asfálticos, cada vez de mejor desempeño para garantizar la calidad y seguridad de las carreteras ecuatorianas. [5]

Con el desarrollo de la investigación se buscará aportar con datos y resultados comparativos de diferentes ensayos de laboratorio, que busquen mejorar las propiedades del hormigón asfáltico mediante la adición de polímeros a la mezcla asfáltica convencional, ya que debido a los factores climatológicos y a las diferentes

condiciones de carga que se presentan en el cantón Ambato, se genera un problema característico en la carpeta asfáltica como es el envejecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento de la carpeta asfáltica, la aparición de baches entre otros problemas, provocando molestias a la población. [6]

1.1.3 Fundamentación Teórica

Para el sustento de este trabajo experimental, se procedió a la revisión de varios trabajos investigativos anteriores. Este proyecto se sustenta en la incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mediante la elaboración de briquetas. Para la elaboración de estas es necesario conocer conceptos y definiciones de cada uno de los componentes de la mezcla para ser ensayadas en el laboratorio.

1.1.3.1 Asfalto

Es un material viscoso, de color negro a pardo oscuro y pegajoso, se aplica en mezclas asfálticas como un aglomerante, para la construcción de obras viales. Es muy útil al ser empleado en impermeabilizantes. [7]

También se lo puede definir como un material bituminoso, aglomerado sólido o semisólido, está compuesto de minerales y betún, la obtención es mediante la destilación del petróleo o en yacimientos naturales en los cuales la destilación se ha producido naturalmente. Al realizar la destilación fraccionada del petróleo se logra separar sus distintos grupos de hidrocarburos de diferente volatilidad, llamados también productos, entre los cuales se obtiene el asfalto. [8]

1.1.3.2 Composición química del asfalto

Está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunos residuos de azufre, oxígeno, nitrógeno, y otros elementos.

Cuando el asfalto es diluido en un solvente como el heptano, este se separa en dos fases principales que son: asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos no se disuelven en el

heptano, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color negro o pardo oscuro y se parece al polvo grueso de grafito. Los asfaltenos le dan al asfalto su color y dureza.

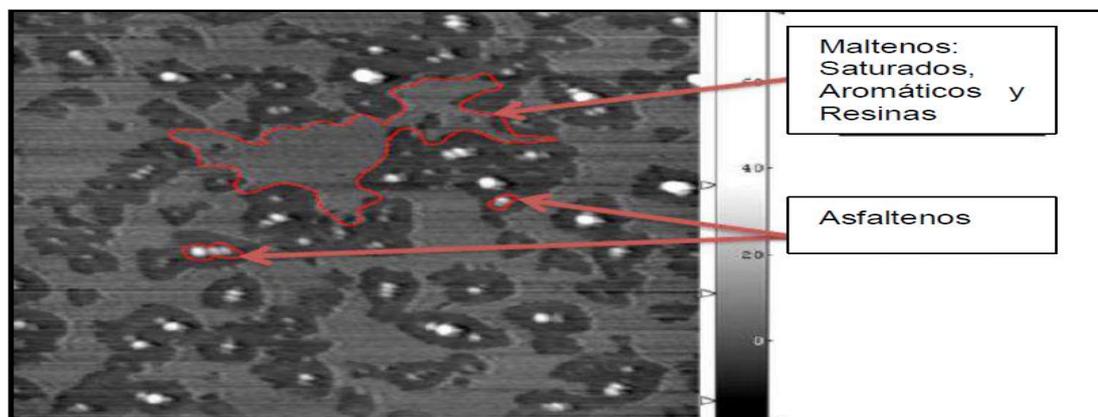
Los maltenos se disuelven en el heptano. Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar o pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro.

Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas en el asfalto, mientras que los aceites actúan como un medio de transporte para los asfaltenos y las resinas. La proporción de los asfaltenos y maltenos en los asfaltos puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y el oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla del pavimento y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado.

Aromáticos son líquidos de color amarillo o rojo a temperatura ambiente, estos poseen estructuras que contienen anillos aromáticos mono, di y polinucleares con conjuntos condensados de anillos nafténicos y cadenas parafinitas asociadas.

La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto pueden variar a un sin número de factores, incluyendo altas temperaturas, exposición de luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla de pavimento, y espesor de la película de asfalto en la partícula de los agregados. [9]

Figura N° 1: Composición química del asfalto



Fuente: Múnera Camilo, Modificación polimérica de asfaltos. [33]

1.1.3.3 Propiedades Físicas del asfalto

Las propiedades mayor consideración para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

Durabilidad: Es la medida de que tanto puede conservar un asfalto sus características originales cuando es sometido a procesos normales de degradación y envejecimiento.

Esta propiedad es considerada especialmente por el comportamiento del pavimento por lo que es complejo definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Se debe a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Adhesión y cohesión: La adhesión se define como capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Mientras que la cohesión define como la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto las partículas de agregado en el pavimento terminado.

Susceptibilidad a la temperatura: Todos los asfaltos son termoplásticos, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto.

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, pero aun así los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

Es primordial conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues indica la temperatura adecuada a la cual se debe mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a la cual se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Debe entenderse que es de muy importante conocer las características de viscosidad de un asfalto en todo el rango de temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto a otras durante

la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

Endurecimiento y envejecimiento: Durante la construcción y en el pavimento terminado, los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica. El endurecimiento es provocado especialmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado). [10]

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras que está revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado, esto hace que la oxidación y el endurecimiento sean más severos en la etapa de mezclado.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantienen en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado. [9]

Pureza: El asfalto está compuesto en gran mayoría parte por bitumen, este es un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes.

Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que esta fue perdida durante el proceso de refinación. Cuando el asfalto no pierde toda el agua se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores de 100°C. La pureza de un cemento asfáltico está definida por la carencia de humedad, así como de cualquier impureza.

Seguridad: Capacidad de manejar el asfalto a altas temperaturas sin peligros de inflamación. [11]

1.1.3.4 Clasificación de los asfaltos de pavimentación

De acuerdo a la American Society for Testing and Materials (ASTM), los asfaltos de pavimentación se clasifican en tres grupos:

Cementos asfálticos: Los cementos asfálticos se dividen en tres grupos, cada uno abarca diferentes grados con distintos rangos de consistencia.

Caracterización por penetración: Se aplica la norma ASTM D - 946 (clasificación estándar por grado de penetración para cementos asfálticos utilizados en pavimentación). Esta norma abarca los siguientes grados de penetración.

- 40 – 50
- 60 – 70
- 85 – 100
- 120 – 150
- 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en decimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200 – 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto BLANDO, un grado 40 – 50 es indicador de un asfalto DURO. [11]

Caracterización por viscosidad: Se aplica la norma ASTM D - 3381 (Clasificación estándar por grado de viscosidad para cementos asfálticos utilizados en pavimentación), esta norma clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican de la siguiente manera:

- **AC- 5 (500 ± 100):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- **AC- 10(1000 ± 200):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.
- **AC- 20 (2000 ± 400):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezcla en frío.
- **AC- 30 (3000 ± 600):** Este asfalto es utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

Caracterización por comportamiento: Este sistema fue elaborado por el Instituto de Asfalto de Estados Unidos y propuesto en el programa SHRP (Strategic Highway Research Program), además también está incluido en la norma ASTM D - 6373 (Especificación Estándar por Grado de Comportamiento), incluye el conocimiento de las temperaturas máximas y mínimas del pavimento en función de la temperatura del aire y la latitud geográfica. La ventaja de este sistema es que predice como se va a comportar el asfalto al envejecer a corto o largo plazo y posteriormente se mide su viscosidad.

Asfaltos rebajados: Conocidos como asfaltos diluidos, son cementos asfálticos que han sido mezclados con solventes de petróleo. Existen tres tipos:

- **Asfalto de curado rápido (RC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y un disolvente tipo nafta o gasolina de alta volatilidad.
- **Asfalto de curado medio (MC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y disolvente como el queroseno de media volatilidad.
- **Asfaltos de curado lento (SC):** Es el asfalto diluido, compuesto de cemento asfáltico y aceites pesados de baja volatilidad.

Asfaltos emulsificados: Es una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de un agente emulsionante. Es un sistema heterogéneo que normalmente contiene dos fases inmiscibles (asfalto y agua), en donde el agua forma la fase continua de la emulsión y pequeños glóbulos de asfalto forman la fase discontinua. La emulsión de asfalto puede ser:

- **Emulsión aniónica:** Los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.
- **Emulsión catiónica:** Los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

[11]

Tabla N° 1: Requisitos para cementos asfálticos

ENSAYOS	60-70		85-100	
	mínimo	máximo	mínimo	máximo
Betún original				
Penetración (25° C, 100 gr, 5 s), mm/10.	60	70	85	100
Punto de ablandamiento A y B, °C.	48	57	45	53
Índice de penetración (*)	-1,15	1,5	-1,5	1,5
Ductilidad (25° C, 5 cm/minuto), cm.	100	---	100	---
Contenido de agua (en volumen), %.	---	0,2	---	0,2
Solubilidad en Tricloroetileno, %.	99	---	99	---
Punto de inflamación, Copa Cleveland. °C.	232	---	232	---
Densidad relativa, 25°C/25 °C	1,00	---	1,00	---
Ensayo de la mancha (**)	NEGATIVO		NEGATIVO	
Contenido de parafinas, %.	---	2,2	---	2,2
Ensayos al residuo del TFOT:				
Variación de masa, %.	---	0,8	---	1
Penetración, % de penetración original.	54	---	50	---
Ductilidad, cm	50	---	75	---
Resistencia al endurecimiento (***)	---	5,0	---	5,0

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. [15]

En el presente trabajo experimental se utilizará el asfalto Tipo AC-20, ya que es el más utilizado en el país para la elaboración de mezclas asfálticas en calientes emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío. Este tipo de asfalto obtenido posee una ficha técnica en donde se especifican sus propiedades.

Tabla N.º 2: Ficha técnica del Asfalto AC-20

FICHA TÉCNICA ASFALTO AC-20		
PRUEBA	ANÁLISIS TÍPICO	NORMA
Viscosidad rotacional a 60 °C. máximo, poises	200 ± 40	ASTMD 2171
Viscosidad Cinemática a 135 °C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	300	ASTMD 2170
Penetración a 25 °C, 100 gr. 5 s, mínimo.	60	NTE INEN 917
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo.	232	NTE INEN 808
Solubilidad, %, mínimo.	99	NTE INEN 915
DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELÍCULA DELGADA		
Pérdida por calentamiento; %, máximo.	0,5	ASTMD 1754-97
Viscosidad dinámica a 60 °C, Poises, máximo.	8000	ASTMD 2171
Ductilidad a 25 °C y 5 cm/min, cm, mínimo.	50	NTE INEN 916

Fuente: NTE INEN 2515:2010 [32]

1.1.3.5 Tipos de Asfaltos

Asfalto natural

Se encuentra en algunas lagunas de cuencas petroleras formando una mezcla de hidrocarburos sólidos muy compleja.

Asfalto de petróleo

Este tipo de asfalto se consigue con la destilación del petróleo en crudo. Está caracterizado por su gran durabilidad y por ser refinado consiguiendo una condición uniforme. Es de gran utilización en pavimentos. [7]

Asfaltos Oxidados o Soplados

Son sometidos a un proceso de deshidrogenación de polimeración. Con una alta temperatura se le hace pasar una corriente de aire con el propósito de mejorar sus características y adaptarlos a aplicaciones más especializadas. El proceso de oxidación produce en los asfaltos las siguientes modificaciones físicas:

- Aumento del peso específico.
- Aumento de la viscosidad.

Asfaltos Sólidos o Duros

Tienen una penetración a temperatura ambiente menor que 10. Además de sus propiedades aglutinantes e impermeabilizantes, posee características de flexibilidad, durabilidad y alta resistencia a la acción de la mayoría de los ácidos, sales y alcoholes.

Asfaltos Líquidos

También se los conoce como asfaltos rebajados o cutbacks, son materiales asfálticos de consistencia blanda o fluida por lo que se salen del campo en el que normalmente se aplica el ensayo de penetración, cuyo límite máximo es 300.

Asfalto de Curado Rápido: cuando el disolvente es del tipo de la nafta o gasolina, se obtienen los asfaltos rebajados de curado rápido y se designan con las letras RC (Rapid

Curing), seguidos por un número que indica el grado de viscosidad cinemática en centiéstokes.

Asfalto de Curado Medio: si el disolvente es queroseno, se designa con las letras MC (Medium Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiéstokes.

Asfalto de Curado Lento: su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (SlowCuring), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiéstokes. Road oil: Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC). [12]

Asfaltos fluxante

Es una parte de petróleo que presenta poca volatilidad que se utiliza para ablandar el asfalto consiguiendo una adecuada consistencia. Se lo utiliza en la elaboración de materiales asfálticos que serán usados en revestimientos de cubiertas.

Asfalto fillerizado

Se caracterizan por tener un peso específico mucho mayor que el asfalto oxidado convencional, se obtiene del cemento asfáltico, a este se le adiciona una carga mineral inerte después del proceso de oxidación. Está compuesto por materias minerales muy molidas que suelen pasar por un tamiz número 200.

Debe aplicarse a una temperatura caliente, entre los 150 y los 220 grados C. Su grado dependerá directamente del trabajo que se realizará.

Emulsiones asfálticas

Se trata de la mezcla de emulsificantes y asfalto que al unirse con el agua da a lugar una emulsión estable que permite aplicar las carpetas asfálticas a una temperatura no mayor de 100 grados C, o sea se pueden tender en frío.

Gilsonita

Se trata de una resina de hidrocarburos natural, que se parece mucho al asfalto duro o al carbón, pero que presenta propiedades distintas como la consistencia dura y quebradiza. [7]

1.1.3.6 Usos más comunes del asfalto en ingeniería

Entre sus usos más comunes del asfalto en ingeniería se encuentran los siguientes:

Pavimentos

Se los utiliza como material aglutinante en la elaboración de carpetas asfálticas para la construcción de pavimentos flexibles.

Tratamientos superficiales

Es un tipo de carpeta económica con buenos resultados durante un cierto límite de tiempo, la cual consiste en una delgada capa de desgaste, de espesor comúnmente menor de 2.5 cm, compuesta de dos o más aplicaciones de asfalto líquido cubierto con áridos, es adecuada para el tráfico ligero.

Impermeabilizantes

Los asfaltos soplados u oxidados se producen cuando pasa aire a través de los asfaltos calentados, esto con el fin de darle las características necesarias para ciertos usos especiales.

Tienen un punto de reblandecimiento superior a los asfaltos normalmente refinados de penetración comparable, lo que los hace adecuados para revestimientos de techos y otras aplicaciones similares.

Su uso en carreteras está limitado en gran medida a la impermeabilización de estructuras y al relleno de juntas de los pavimentos de concreto hidráulico. También es común utilizarlo como impermeabilizante en la construcción de cimentaciones en obras civiles.

Obras hidráulicas

Principalmente se lo utiliza como relleno en las juntas en la construcción de canales.

En las estructuras hidráulicas cumplen varios objetivos:

- Evitar la pérdida de agua
- Proteger las laderas de la erosión
- Disminuir el rozamiento
- Reducir el servicio de conservación

Para obtener buenos resultados, el revestimiento debe ser resistente, duradero, tener estabilidad mecánica y superficie lisa, suficientemente flexible para admitir pequeñas deformaciones y ser impermeable.

Otros tipos de aplicaciones:

Revestimientos de canales con membrana enterrada:

Se utiliza para evitar las pérdidas de agua en los canales, especialmente cuando se construyen en terrenos arenosos permeables o materiales semejantes.

Revestimiento de presas:

Permiten conseguir una capa impermeable a precio muy económico. [13]

1.1.3.7 Agregados Pétreos

Se entiende por agregados pétreos a los materiales granulares sólidos inertes, son producto de la erosión o trituración de rocas que se utilizan en los firmes de las carreteras con granulometrías adecuadas, de acuerdo a estas se las puede denominar como grava, arena, piedra triturada, escoria y polvo de roca, los cuales pueden clasificarse en normales, ligeros y pesados, según su peso específico.

1.1.3.7.1 Tipos de agregados pétreos

Se los clasifica de acuerdo a la técnica de empleo y a la procedencia.

Agregados Naturales. Se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

Agregados de Trituración. Se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

Agregados Artificiales. Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

Agregados Marginales. Engloban a todos los materiales que no cumplen alguna de las especificaciones vigentes.

1.1.3.7.2 Propiedades bajo puntos de vista de los agregados pétreos

Se pueden conceptuar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados, o individuales, y otro como conjunto.

Propiedades individuales

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo, presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

Propiedades de conjunto

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado. [14]

1.1.3.7.3 Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño

Agregado grueso. Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado grueso, también conocido como grava, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz #4. Para la construcción debe estar libre de materia orgánica y de otras impurezas que afecten a la mezcla.

Agregado fino. Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino también conocido como arena, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #4 y queda retenido en el tamiz #200. Al igual que el agregado grueso deben estar libres de impurezas para el proceso de construcción. [14]

1.1.3.7.4 Gradación del agregado

Los agregados estarán compuestos de partículas de piedra triturada, grava triturada, grava o piedra natural, arena, etc. De tal manera que cumplan los requisitos establecidos en la tabla, que corresponde a la tabla 405-5.1 (página VIII-85) del MOP-001-F 2002, según corresponda se clasifican en “A”, “B”, “C”.

Tabla N.º 3: Requisitos granulométricos

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	N.º 4
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	100
N.º 4 (4.75 mm.)	35-65	44-74	55-85	80-100
N.º 8 (2.36 mm.)	23-49	28-58	32-67	65-100
N.º 16 (1.18 mm.)	----	----	----	40-80
N.º 30 (0.60 mm.)	----	----	----	25-65
N.º 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 -- 21	7 - 23	7 - 40
N.º 100 (0.15 mm.)	----	----	----	3 - 20
N.º 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 -- 10	2 -- 10	2 - 10

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002 [15]

Agregados tipo A: Son aquellos en los cuales todas las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino puede ser arena natural o material triturado y, de requerirse, se puede añadir relleno mineral para cumplir las exigencias de graduación antes mencionadas. Este relleno mineral puede ser inclusive cemento Portland, si así se establece para la obra.

Agregados tipo B: Son aquellos en los cuales por lo menos el 50% de las partículas que forman el agregado grueso se obtienen por trituración. El agregado fino y el relleno mineral pueden ser triturados o provenientes de depósitos naturales, según la disponibilidad de dichos materiales en la zona del proyecto.

Agregados tipo C: Los agregados tipo C para hormigón asfáltico son aquellos provenientes de depósitos naturales o de trituración, según las disponibilidades propias de la región, siempre que se haya verificado que la estabilidad, medida en el ensayo de Marshall, se encuentre dentro de los límites fijados en la Tabla 405-5.2(página VIII-86) de estas especificaciones. [15]

1.1.3.7.5 Propiedades de los agregados pétreos

Los agregados conforman entre el 90% y el 95%, en peso, de la mezcla de pavimentación; esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Para una buena calidad e la mezcla de pavimentación deben poseer ciertas propiedades las cuales son:

Limpieza

Los agregados no deben poseer cantidades excesivas de materiales indeseables (vegetación, partículas blandas, arcillas, etc.) ya que pueden afectar en el comportamiento del asfalto.

Dureza

Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de la mezcla de pavimentación y durante la

vida de servicio del pavimento. La resistencia de un agregado al desgaste y a la abrasión se lo realiza en la Máquina de Los Ángeles.

Forma de la Partícula

La forma de la partícula afecta a la trabajabilidad de la mezcla en su fase de colocación, en la resistencia del pavimento en su vida útil.

Textura superficial

Es un factor que determina la trabajabilidad, la resistencia al desplazamiento en la superficie del pavimento y la resistencia final de la mezcla.

Una textura de superficie áspera aumenta la resistencia en el pavimento debido a que se evitan que las partículas se mueven una con respecto a la otra y a la vez provee un coeficiente alto de fricción superficial que hace que el movimiento del tránsito sea más seguro.

Capacidad de absorción

Para determinar porosidad de un agregado es a través de la cantidad de líquido que absorbe, un agregado más poroso absorberá cantidades mayores de asfalto después del mezclado inicial que las que requiere un agregado menos poroso.

Afinidad por el asfalto

Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de asfalto. [16]

1.1.3.7.6 Caracterización de los agregados pétreos

Para la realización del presente trabajo experimental se trabajó con agregados provenientes de las canteras de la empresa JEAL Construcciones ubicada en el sector Las Viñas, provincia de Tungurahua. Estos agregados fueron sometidos a diferentes ensayos de laboratorio con el fin de cumplir los requerimientos para la elaboración de mezclas asfálticas, los cuales se detallan a continuación.

1.1.3.7.7 Agregado Grueso y fino

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Este ensayo esta normado por la norma **ASTM D 5821-95**, la cual tiene el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación.

La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida de servicio.

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes puntiagudos y de forma cúbica, producidas, casi siempre por trituración.

Este ensayo describe la determinación del porcentaje, en peso, de una muestra de agregado grueso que presenta una, dos o más caras fracturadas.

El número especificado de caras fracturadas, se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P = \left[\frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$$

Donde:

P = Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas.

F = Peso o cantidad de partículas fracturadas con al menos el número especificado de caras fracturadas.

Q = Peso o cantidad de partículas cuestionables.

N =Peso o cantidad de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen el criterio de fractura. [17]

Abrasión de agregado grueso máquina de los Ángeles

Este ensayo es realizado bajo las normas ASTM-C131 y INEN-860 El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la máquina de Los Ángeles la cual que posee un tambor giratorio metálico, donde se genera una carga abrasiva por medio de esferas metálicas contenidas en el tambor para ensayar la muestra. El principio de análisis es la cantidad de material fino que se produce por efecto del golpeteo producto de dicha carga abrasiva. Esta resistencia al desgaste es un índice de calidad del agregado, ya que aporta datos sobre la capacidad o resistencia que posee.

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

El resultado del ensayo se expresa en porcentaje de desgaste, calculándose como la diferencia entre el peso inicial y final de la muestra de ensayo con respecto al peso inicial.

Entre menor sea el porcentaje de desgaste obtenido en el ensayo, mayor será la resistencia de los materiales para soportar la abrasión producida por efecto de las cargas del tránsito vehicular. De acuerdo a la normativa el MOP-001-F 2002, para hormigón asfáltico, el desgaste no puede ser mayor al 40% en relación al peso de la muestra.

La carga a producir depende del número de esferas utilizadas, mismo que depende directamente de la graduación del material a ensayar. [18] A continuación, se detallan las cantidades de muestra y el número de esferas necesarias de acuerdo a la normativa:

Tabla N.º 4: Peso de la muestra de acuerdo a la graduación del material

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños indicados, g			
Pasa	Retenido	Granulometría			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1.250 ± 25	...	...	...
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1.250 ± 25	...	...	...
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1.250 ± 10	2.500 ± 10	...	...
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1.250 ± 10	2.500 ± 10		...
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	...	...	2.500 ± 10	...
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N.º4)	...	...	2.500 ± 10	...
4,75 mm (N.º4)	2,36 mm (N.º8)	...	...		5.000 ± 10
Total		5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10

Fuente: Tabla 1 de la norma ASTM C-131. [34]

Tabla N.º 5: Número de esferas de acuerdo a la muestra

Granulometría	N.º de esferas	Masa de la carga, g.
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15

Fuente: Nota 4 de la norma ASTM C-131. [34]

El Porcentaje de Desgaste se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{B - C}{B} * 100$$

Donde:

D = valor de la degradación (%)

B = masa inicial de la muestra de ensayo (Kg)

C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1.70 mm, después del ensayo. [18]

Tabla N.º 6: Tipos de abrasión

TIPO	RETENIDO	PESO gr.	# DE ESFERAS	REVOLUCIONES	TIEMPO min.
A	1", 3/4", 1/2" Y 3/8"	1250	12	500	17
B	1/2" Y 3/8"	2500	11	500	17
C	1/4" Y #4	2500	8	500	17
D	#8	2500	6	500	17

Fuente: Adaptacion de Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO 1998. VOL. 2

Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso

Este ensayo es realizado bajo las normas ASTM-C127 y INEN-857. El método se emplea para determinar la porción sólida de un número grande de partículas de árido y proporcionar un valor promedio, que representa la muestra.

El ensayo tiene por objeto la determinación de la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso lo mismo que la capacidad de agua que se absorbe en el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un

periodo de 24 horas (para lograr la saturación de los poros del agregado), expresada como un porcentaje en peso. [19]

Las cantidades mínimas para este ensayo se indican en la Tabla 7, en función del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla N.º 7: Cantidades necesarias para ensayo de peso específico del agregado grueso.

Tamaño nominal máximo		Cantidad de material para el ensayo
in.	mm	Kg.
1	25.0	4
3/4"	19.0	3
1/2"	12.7	2
3/8"	9.5	1

Fuente: Norma INEN 857.

En la tabla se muestran solo los tamaños de agregado grueso a utilizar para el ensayo Marshall. Las fórmulas utilizadas para calcular el peso específico y la absorción son las siguientes:

Peso Específico Bulk

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

Peso Específico Aparente

$$PEa = \frac{A}{A - C}$$

Peso Específico Saturado

$$PEs = \frac{B}{B - C}$$

Porcentaje de Absorción

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

Donde:

A = Peso del material seco en horno.

B = Peso del material saturado con superficie seca.

C = Peso del material en el agua.

Determinación del peso específico del agregado fino

Para la realización de este ensayo se utilizará la norma **ASTM C-128** y norma **INEN 856**, la cual tiene como objetivo la determinación del peso específico aparente, lo mismo que la cantidad de agua que se absorbe en el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, expresada como un porcentaje en peso.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos. [20]

Las ecuaciones utilizadas para calcular el peso específico y la absorción:

Gravedad Específica Aparente

$$G_{sA} = \frac{A}{A + B - C}$$

Porcentaje de Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{S - A}{A}$$

Donde:

G_{sA} = Gravedad específica aparente.

A = Peso del material seco en el horno.

B = Peso del matraz lleno con agua.

C = Peso del matraz +agregado + agua.

S = Masa de muestra saturada superficialmente seca.

Análisis granulométrico

Las normativas para este ensayo son la norma ASTM D-422 y norma INEN 696. Esta norma para determinar la distribución granulométrica de las partículas de los agregados fino y grueso por tamizado. La granulometría permite normar el rango de tamaño de las partículas dentro de la mezcla, además de garantizar que cada tamaño de partícula esté presente en un porcentaje determinado. Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de los materiales con el fin de utilizarlos para la elaboración de hormigones y para otros propósitos. [21]

Según las Especificaciones Generales para la Construcción de puentes y Caminos del MOP-001-F 2002, en el Capítulo 800: MATERIALES, sección 811-2(página VIII-81) Agregados para mezcla en sitio. Los agregados son de tipo A, los mismos que serán sometidos a las exigencias de calidad requeridas en las especificaciones del MOP-001-F 2002. La granulometría a utilizarse para los materiales en este trabajo experimental está expuesta de acuerdo a la Tabla N.º 3 página 16 del presente documento.

1.1.3.8 El polímero

Los polímeros son sustancias macromoleculares naturales o sintéticas formadas por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden

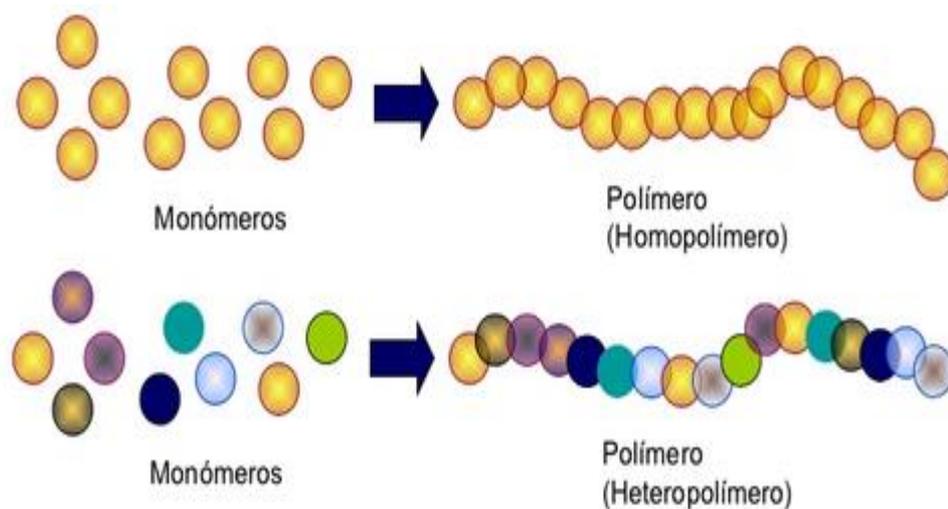
ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas. Algunos modificadores poliméricos que han dado buenos resultados, se enlistan a continuación:

- Homopolímeros: Que tienen una sola unidad estructural (monómero).
- Copolímeros: Tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS).
 - Elastómeros: Al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tiene deformaciones pseudo plásticas con poca elasticidad. [22]

El principal objetivo con la adición de polímeros al asfalto es el de mejorar su reología, buscando:

- Disminuir la susceptibilidad térmica. Disminuir la fragilidad en climas fríos y aumentar la cohesión en tiempos de calor.
- Disminuir la susceptibilidad a los tiempos de aplicación de carga
- Aumentar la resistencia a la deformación permanente y a la rotura en un rango más amplio de temperaturas, tensiones y tiempo de carga.
- Mejorar la adherencia a los agregados.

Figura N° 2: Proceso de polimerización



Fuente: Goconqr,2016 [23]

1.1.3.8.1 Producción de los polímeros

Se obtienen a partir de materia prima en plantas especializadas. El proceso para producir un polímero es llamado polimerización, existen dos tipos:

Polimerización en cadena: el material inicial para la polimerización en cadena con frecuencia es un monómero, en el que hay un enlace doble que se puede abrir con la ayuda de un compuesto llamado iniciador (sustancia orgánica o inorgánica o también puede ser un catalizador que no se consume en la reacción). Se lleva a cabo utilizando temperatura elevada y presión baja, este proceso es conocido también como polimerización por adición.

Polímeros de reacciones por pasos: en este caso se unen dos monómeros en grupos cortos que crecen gradualmente, pero también se libera un derivado de bajo peso molecular, por ello se le llama también reacción por condensación. [2]

1.1.3.8.2 Clasificación por formación y estructura de los polímeros

Los polímeros se pueden caracterizar por el tipo de estructura que crean, el modo en que se unen y su origen, permitiendo clasificarlos de manera general en los siguientes grupos:

Por su origen

- **Polímeros Naturales:** También conocidos como biopolímeros, son los que se formaron de manera natural y se encuentran en plantas o animales, pueden ser de estructura muy compleja como el ADN o las proteínas, o más sencillas como la celulosa o el látex.
- **Polímeros Semisintéticos:** Formados por la modificación de un polímero natural. Un ejemplo de polímero semisintético es la vulcanización del caucho natural, que es un procedimiento que consiste en la adición de azufre para modificar sus propiedades, principalmente la dureza.

- **Polímeros Sintéticos:** Son polímeros formados por enlaces químicos inducidos por medio de un proceso denominado reacción de polimerización.

Por la variedad de monómeros

- **Homopolímeros:** Son aquellos polímeros formados por un solo tipo de moléculas.
- **Copolímeros:** Son polímeros formados por más de un tipo de moléculas, permitiendo combinar las propiedades de cada una formando una sola estructura.

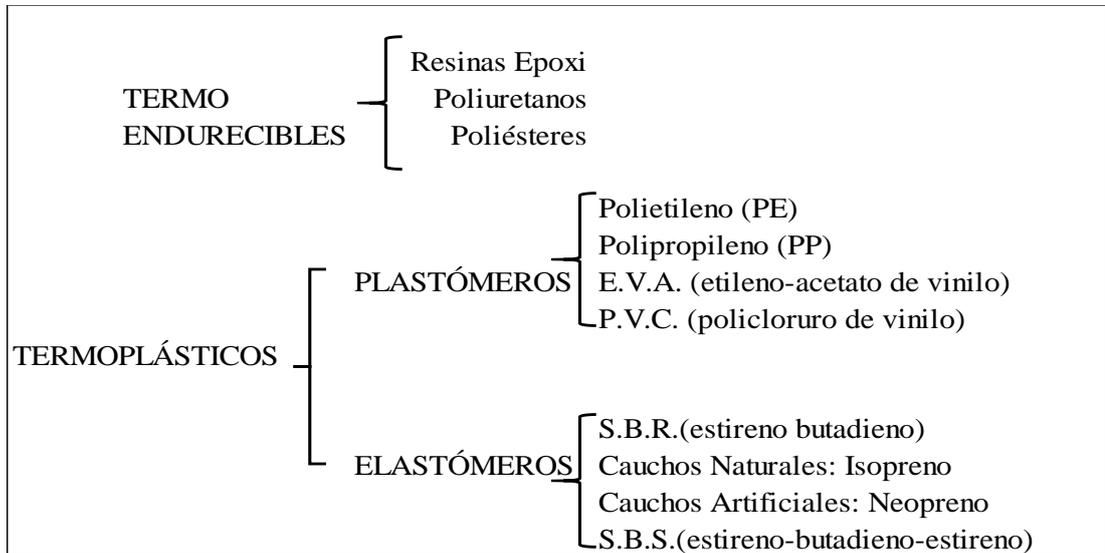
Por el tipo de estructura

- **Lineales:** Se forman por una sola reacción de polimerización, creando cadenas que no presenta ramificaciones, son polímeros de alta densidad y funden por calentamiento. Ejemplo: polietileno de alta densidad (HDPE).
- **Ramificados:** Inicialmente son polímeros lineales, que, bajo algunas consideraciones en el proceso de polimerización, se pueden obtener ramificaciones en su estructura, aumentando la distancia entre cadenas y otorgando mayor volumen. Forman polímeros de baja densidad. Ejemplo: Polietileno de baja densidad (LDPE).
- **Entrecruzados:** Forman una red tridimensional, compuesta por la unión de cadenas cercanas con iguales o diferentes propiedades, forman un polímero rígido, insoluble y resistente a la fundición. [24]

1.1.3.8.3 Principales tipos de polímeros

Debido a la gran cantidad de materiales poliméricos hace que su clasificación y sistematización sea compleja; se ha considerado su agrupación principalmente por su estructura y propiedades plásticas, se clasifican para su uso vial como se presenta en la Figura N° 3. [25]

Figura N° 3: Polímeros usados para la modificación de asfaltos



Fuente: MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. [25]

Termo endurecibles

Estos polímeros presentan una estructura entrecruzada, formados por la reacción química de un componente base y un endurecedor, se convierten en elementos más rígidos luego de aplicarles calor, no tiene capacidad de recuperarse para ser transformados nuevamente, y por lo general son resistentes a los disolventes.

Las resinas epoxi son las más utilizadas y su empleo son en zonas de alta carga pesada, es muy costosa y se aplica en porcentajes mayores al 20%, además el poliuretano con similares características al anterior, pero para aplicarlos a bajas temperaturas, y los poliésteres que casi no son utilizados.

Termoplásticos

Son polímeros lineales o suavemente ramificados, su característica principal es que reblandecen con el calor y son fácilmente moldeables, luego de enfriarse recuperan sus propiedades iniciales. Estos polímeros se dividen en plastómeros y elastómeros.

• **Plastómeros**

Aumentan la resistencia del asfalto aportando mayor rigidez, pero disminuyendo su capacidad de deformación (reducción de elasticidad), y una vez superado el esfuerzo de fluencia, el asfalto no retorna a su longitud inicial. Entre estos polímeros tenemos:

Polietileno: Es un polímero poco compatible con el asfalto, su utilización aparece por la necesidad de desechar adecuadamente los residuos de este material. Los asfaltos modificados con este polímero, presentan baja viscosidad, buena resistencia al calor, y al envejecimiento; en cuanto a las características mecánicas, aumenta la resistencia a esfuerzos de tracción, mejora su respuesta a flexión en bajas temperaturas y disminuyen las deformaciones permanentes a altas temperaturas.

Polipropileno: Se lo aplica en combinación con algún tipo de elastómero para darle mayor flexibilidad. El asfalto modificado con este polímero aumenta su flexión, presenta mayor resistencia al calor y a sustancias químicas.

E.V.A. (Etil Vinilo Acetato): Es un copolímero, formado por monómeros de Etileno y Vinil Acetato, tiene alta compatibilidad con el asfalto y la modificación se lo hace a 160°C, sin necesidad de aplicar aditivos. Dependiendo del porcentaje de concentración de los monómeros de Vinil Acetato, entre 33 y 40 %, el asfalto puede variar sus características, de manera que, si la concentración de este monómero es alta, aportará mayor flexibilidad y estabilidad térmica, otra ventaja son los costos de aplicación, que son relativamente bajos, pudiendo variar el porcentaje de polímero entre 3 y 10%.

P.V.C (Policloruro de Vinilo): Usado principalmente por su resistencia a los disolventes, se lo aplica en sitios con presencia de químicos o combustibles, como estaciones de servicio y pistas de aterrizaje, no se requieren altas temperaturas para incorporarlo en el asfalto, se lo puede hacer a 130°C, y únicamente incrementado levemente la viscosidad. Se lo aplica en variaciones del 2 al 6%.

• **Elastómeros**

Son polímeros con gran elasticidad, se caracterizan por su alta deformación recuperable, manteniendo su forma original y sin presentar deformaciones permanentes. También conocidos como cauchos, pueden ser de origen sintético o natural, estos últimos se obtienen luego de someter los polímeros de origen natural a un proceso de vulcanización, entrecruzado o curado, convirtiendo su estructura original lineal a entrecruzada, siendo esta configuración la que confiere gran elasticidad a los elastómeros tanto naturales como sintéticos.

Isopreno: Inicialmente obtenido del caucho natural, posteriormente con la demanda de estos productos, el proceso se invierte y se descubre el isopreno sintetizado para luego polimerizarlo y fabricar el caucho sintético, que se utiliza principalmente en neumáticos, y mediante procesos de reciclaje adecuados se los puede emplear como modificadores de asfalto.

Neopreno: Usado para fabricar caucho sintético de neopreno, por su resistencia a las agresiones atmosféricas, se lo utiliza para juntas y apoyos de vigas en estructuras y puentes. Es también un polímero lineal, usado como monómero para la obtención de copolímeros del tipo elastómero empleados para la modificación de asfaltos.

SBR y SBS: Los copolímeros formados por Estireno Butadieno (SBR) y Estireno Butadieno Estireno (SBS), son parte del grupo de elastómeros más utilizados tanto para la modificación de asfaltos como para procesos industriales, tanto así que cerca del 60% de la demanda de cauchos sintéticos es cubierta por el SBR, principalmente para la fabricación de neumáticos.

En asfaltos modificados, ambos polímeros confieren mayor recuperación elástica, mejor flexibilidad y reduce los efectos de la variación térmica. El beneficio del SBR, es su mayor dispersión en el ligante asfáltico, permitiendo una modificación más homogénea, principalmente por su consistencia lechosa, sin embargo, se la utiliza mayoritariamente para la modificación de emulsiones y asfaltos líquidos, no obstante, el SBS es el polímero más utilizado incluso sobre el polvo de neumáticos, para la

modificación de cementos asfálticos semisólidos, fundamentalmente por sus propiedades similares al caucho de hule.

1.1.3.8.4 Polímeros modificadores de asfalto según ASTM

La ASTM (American Society for Testing and Materiales), establece una clasificación para evaluar las principales propiedades de los asfaltos modificados, en función del polímero modificador, dividiéndolos en cuatro tipos. Sin embargo, la misma normativa establece que cualquier polímero puede ser utilizado, siempre y cuando, los resultados esperados estén entre los parámetros de referencia que señale alguno de los tipos.

Polímero tipo I

Es un modificador en base a copolímeros de bloques formados de Estireno Butadieno o Estireno Butadieno Estireno, con estructura radial que crean uniones en cruz, mejora el comportamiento del ligante a altas y bajas temperaturas, su aplicación se da en la construcción de capas de rodadura para vías de alto tráfico o con gran número de circulación de vehículos pesados.

Polímero tipo II

Es un modificador en base a polímeros elastoméricos de estructura lineal formados con caucho de Estireno-Butadieno-Látex o Estireno-Neopreno-Látex, mejora el comportamiento del ligante a bajas temperaturas por lo que su aplicación se da en la construcción de pavimentos para climas fríos y templados.

Polímero tipo III

Corresponde a modificadores tipo plastómeros, formados en base a polímeros de Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietilenos tanto de alta densidad (HDPE) como de baja densidad (LDPE), mejoran el comportamiento del ligante a altas temperaturas, disminuyendo los daños por ahuellamiento, su principal aplicación se da en la construcción de capas de rodadura para vías de alto tráfico en climas calientes.

Polímero tipo IV

Es un modificador formado por copolímeros de bloques de Estireno-Butadieno-Estireno con estructura lineal, añadidos por dispersión sin entrecruzamientos obteniendo cementos con menor viscosidad en relación a los del Tipo I. [24]

Hule molido de neumáticos: Es un modificador de asfaltos que mejora la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta, tratamientos superficiales. [22]

En el presente trabajo experimental se realizará mezclas asfálticas con la adición de 2 polímeros que se obtendrán por un proceso de reciclaje, los cuales se detallan a continuación:

Polietileno tereftalato (PET) Botellas plásticas recicladas, es un polímero plastómero-termoplástico. Este tipo de material es el que más circula en nuestra sociedad, el cual fue obtenido mediante un proceso de reciclaje, es un material liviano, semirrígido, es utilizado para la fabricación de botellas translúcidas para el envasado de diferentes productos como aguas, bebidas, entre otros. Este polímero en una mezcla asfáltica mejora las propiedades mecánicas y reológicas del mismo.

Densidad: 1.38 ± 2 g/cm³. Punto de fusión: 250 – 260 °C.

Figura N° 4: PET (Polietileno tereftalato)



Fuente: Jonathan Castro

Polipropileno (PP) Tapones plásticos reciclados, es un polímero plastómero-termoplástico, el cual fue obtenido mediante un proceso de reciclaje. Es un material menos rígido a comparación de otros plásticos, es utilizado para la fabricación de envases como contenedor de alimentos, tapas de botella, entre otros. El asfalto modificado con este polímero aumenta su flexión, presenta mayor resistencia al calor y a sustancias químicas.

Densidad: $0.905 \pm 2 \text{ g/cm}^3$.

Punto de fusión: 160 – 170 °C

Figura N° 5: PP (Polipropileno)



Fuente: Jonathan Castro

Estos polímeros serán utilizados con el fin de promover nuevas técnicas que mejoren las características de desempeño de los pavimentos y que a su vez sean amigables con el medio ambiente. De tal forma que pueda ser ésta una manera de aumentar los niveles de reciclaje de productos plástico teniendo como pilar fundamental la reducción de desechos plásticos en las calles del cantón.

Serán utilizados como reemplazo parcial del agregado fino en la mezcla asfáltica, cada uno y en conjunto en diferentes porcentajes 1%,3% ,6% y 9%.

Figura N° 6: Triturados de PET Y PP



Fuente: Jonathan Castro

Se obtuvo un material de tamaño adecuado de 0.6 mm a 15 mm, para ser utilizado en la mezcla asfáltica como reemplazo de un porcentaje parcial del agregado fino.

1.1.3.9 Definición de Mezcla Asfáltica

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan. (Kraemer et al., 2004). Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos. Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90 % de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total. [26]

1.1.3.9.1 Consideraciones para la selección y proyecto de una mezcla asfáltica

Se requiere de un estudio minucioso de todos los factores involucrados para la realización de una mezcla asfáltica, con el objetivo de garantizar un comportamiento idóneo de la mezcla y un ahorro económico. Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:

- Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. Asimismo, hay que distinguir si se trata de un firme nuevo o de una rehabilitación.
- Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.
- Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.
- Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.
- Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.
- Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un huso previamente seleccionado.
- Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del firme, Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento

(topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje, Consideraciones económicas. [26]

1.1.3.9.2 Mezcla en planta

Es la mezcla de agregados y del asfalto en planta central, generalmente de alto rendimiento. Los aspectos más comunes para clasificar una planta de asfalto son:

- El tipo de proceso: Esta se dividen en plantas continuas y discontinuas (“bachada”).
- El sentido del secado: Las plantas pueden ser en sentido o flujo paralelo o contra-flujo.
- La forma del secado: existen las plantas de mezcla en frío y mezcla en caliente.

Según el tipo de proceso:

Plantas continuas: El proceso de elaboración en este sistema consiste en los siguientes pasos: Dosificación de agregados, homogeneización, secado, inyección de asfalto, mezclado, elevación, almacenamiento y carga al camión. Delo descrito en este proceso, todo es continuo hasta antes de la carga al camión que depende de condiciones especiales del tendido de la mezcla, como puede ser: temperatura del ambiente, distancia de traslado, facilidad de colocación, número de camiones disponibles, etc.

Plantas discontinuas: Los agregados son alimentados en cantidades controladas, seguidamente pasados por un tambor en donde son secados y calentados, después, los agregados pasan por una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños y lo deposita en tolvas para su almacenaje caliente. Luego, los agregados y el relleno mineral (cuando este es usado) son pesados, combinados con el asfalto y mezclados en su totalidad para formar una carga. La mezcla es luego cargada y transportada hasta el lugar de pavimentación. En las plantas asfálticas discontinuas se pesan los materiales cada vez que se inicia una amasada.

Según el sentido del secado:

Sentido o flujo paralelo: En las plantas de secado por sentido o flujo paralelo, los materiales ingresan al tambor secador en el sentido de ingreso de la llama y fluyen en sentido paralelo al tránsito de los gases.

Plantas de secado a contraflujo: Sucede todo lo contrario, los agregados ingresan al tambor secador por el extremo opuesto a la llama y fluyen en contrasentido de los gases del sistema, estos sistemas tienen la particularidad de permitir que el secado se realice a menores temperaturas y por ende consumiendo menor cantidad de combustible.

Según la forma del secado:

Mezcla en frío: se usan asfaltos líquidos, por lo cual la mezcla se efectúa sin calentar los agregados y el asfalto se calienta a una temperatura relativamente baja, solo para obtener la viscosidad necesaria de mezclado.

Mezcla en caliente: Como es de conocimiento general, un concreto asfáltico en caliente convencional es una mezcla de áridos gruesos y finos de alta calidad con cemento asfáltico, densamente graduada. Los áridos y el cemento asfáltico, calentados individualmente entre 130 y 160°C, son mezclados en planta, aplicados con máquinas terminadoras y compactadas en caliente. [27]

1.1.3.9.3 Definición de las mezclas asfálticas en caliente

Mezclas asfálticas en caliente es la unión de áridos pétreos (incluido polvo mineral) de distinta graduación o tamaño combinado con asfalto, los cuales son mezclados en una planta dosificadora a elevadas temperaturas. Las proporciones se definen de acuerdo a un diseño que se lo realiza en laboratorio, el cual nos sirve para determinar el contenido óptimo de asfalto, la granulometría exacta, así como también las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla, que la hacen apta para satisfacer las necesidades de un proyecto. Para la fabricación de la mezcla asfáltica se debe calentar el agregado pétreo y el ligante a alta temperatura, muy superior a la ambiental. Enseguida esta mezcla es colocada en la obra. Esta mezcla proveerá al pavimento una

capa de rodadura que tendrá por objetivo transmitir de forma eficiente las cargas producidas por el tráfico a la estructura en la que esta soportada, logrando seguridad y comodidad para los usuarios de la vía.

Este diseño tiene la finalidad de determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados dentro de los límites de las especificaciones del proyecto como son:

- Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- Buena estabilidad para satisfacer las demandas de transito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de colocación.
- Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

Dentro de las “Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y puentes” año 2001, sección 401 (Pavimentos) y de acuerdo a la normativa AASHTO y ASTM, se utiliza el diseño Marshall, generalmente es el más económico y cumple las especificaciones detalladas anteriormente, mismo que se utilizará en este trabajo experimental. [2]

1.1.3.9.4 Mezclas modificadas con polímeros

Esta técnica es utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías, la cual consiste en la adición de polímeros a los asfaltos tradicionales con el objetivo de mejorar sus características como es la resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito.

Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos, un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos.

Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según la temperatura a la que se encuentren, es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se determina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de carga, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de carga, sean resistentes a las deformaciones.

En general un agente modificador logra:

- Mejorar el comportamiento a fatiga.
- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento.
- Aumentar la cohesión y adhesión interna.
- Aumentar la adhesividad árido – ligante.
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas. [2]

Los polímeros pueden ser agregados durante la preparación de la solución jabonosa o pueden ser mezclados con el cemento asfáltico en la planta de emulsión, antes del proceso de emulsificación. La cantidad mínima y el tipo del polímero modificador deberá ser determinada por el laboratorio responsable del diseño de mezcla. La cantidad de polímeros sólidos deberá basarse en el contenido del residuo asfáltico en peso; para mezclas de micro-pavimentos se especifica esta cantidad en un porcentaje del 3 al 4%. [15]

1.1.3.10 Método Marshall

Este método se lo aplica mediante las Normas AASHTO T 245, ASTM D 1559, AASHTO T 225. Este método fue desarrollado por Bruce Marshall, Ingeniero de mezclas asfálticas en el departamento de Carreteras del Estado de Mississippi.

Este método solo es aplicable para las mezclas asfálticas en caliente de agregados pétreos y cemento asfálticos, puede emplearse para proyectos de laboratorio y para controles de campo.

El objetivo principal de este método es el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados para garantizar la suficiente estabilidad y satisfacer las exigencias del servicio sin desplazamiento y que la mezcla tenga buena trabajabilidad permitiéndola colocar fácilmente en obra, conteniendo los vacíos suficientes con aire en la mezcla compactada para así se impida exudaciones y pérdidas de estabilidad. Una ventaja de este método es que el equipamiento requerido no es caro y es muy transportable, por ello este método ha sobrevivido más allá de su utilidad como moderno método de diseño de mezclas asfálticas. [28]

Se utiliza el método Marshall para mezclas con agregados cuyo tamaño máximo sea 25mm (1") o menos. Los especímenes o probetas de ensayo son de 64 mm (2 ½") de alto por 102 mm (4") de diámetro, para cada briqueta se necesitará aproximadamente 1200 gr de mezcla. El método Marshall usa probetas normalizadas cada una preparada con la misma combinación de agregados, pero con distintos porcentajes de asfalto. El diseño se elabora con cinco porcentajes de cemento asfáltico por lo cual se obtiene 3 briquetas por cada porcentaje de asfalto teniendo como resultado un total de 15 briquetas. Por lo general se empieza desde el 4.5% o del 5% con incrementos de 0.5%.

Los agregados deberán superar una temperatura de 20°C a la del cemento asfáltico durante la mezcla, el asfalto y los agregados se calientan y se mezclan hasta que todas las partículas estén completamente revestidas de asfalto, la temperatura de la mezcla asfáltica preparada para la compactación no debe ser menor a 135°C.

Luego de haber mezclado, es colocada en los moldes para su respectiva compactación, dependiendo el proyecto serán el número de golpes por último se procede a dejarlas enfriar para así determinar el peso específico total, medir la estabilidad y la fluencia Marshall. [29]

Para el desarrollo de este trabajo experimental se relaborarán briquetas con 5 porcentajes de asfalto, con una variación de 0.5% entre cada porcentaje. Para cada porcentaje de asfalto se elaborará 3 probetas (muestras), con la finalidad de obtener un valor promedio para cada porcentaje analizado. Los porcentajes de cemento asfáltico que se utilizará para los diferentes grupos de briquetas son: 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, 7%.

Tabla N.º 8: Especificaciones para mezclas asfálticas in situ

Ensayos de acuerdo al método Marshall	TRÁFICO					
	PESADO		MEDIO		LIVIANO	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
N.º de golpes	75		50		35	
Estabilidad (libras)	1.800	--	1.200	--	750	--
Flujo(in/100)	8	16	8	18	8	20
% vacíos con aire:						
Carpeta	3	5	3	5	3	5
Base	3	8	3	8	3	8

Fuente: Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP-001-F 2002. [15]

Tabla N.º 9: Parámetros de referencia para el Ensayo Marshall

Criterios para la mezcla del Método Marshall	Tráfico Liviano Carpeta y Base		Tráfico Mediano Carpeta y Base		Tráfico Pesado Carpeta y Base	
	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX	MÍN	MÁX
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad lb	750	-----	1200	-----	1800	-----
Kg	340,91	-----	545,45	-----	818,18	-----
Flujo, 0.25 mm (0,01 in)	8	20	8	18	8	16
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla N.º 10 pág. 45					
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

Fuente: Cátedra de Pavimentos Ing.Fricson Moreira

Peso específico Bulk: Se define como la relación existente entre el peso en el aire de la probeta y su volumen, esto incluye los vacíos permeables.

$$PE\ Bulk = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = Masa de la probeta al aire

B = Masa de la probeta en condición SSS

C = Masa de la probeta sumergida

1.1.3.10.1 Estabilidad Marshall

Es la máxima resistencia soportada por la muestra ensayada bajo carga diametral a 60° C y expresada en lb. Si en el ensayo resulta un valor demasiado alto de estabilidad provoca una reducción en la durabilidad de la mezcla, ya que ocasiona excesiva rigidez en la mezcla. La estabilidad Marshall depende de dos factores significativos:

- La fricción interna, la cual depende de las características que presenten los agregados utilizados; la forma y textura de estos define una buena fricción entre partículas. Es decir, entre más angulares y ásperas sean las fracciones del agregado se obtendrá mayor estabilidad.
- La cohesión interna, siendo ésta el resultado de la capacidad ligante del asfalto utilizado.

1.1.3.10.2 Flujo

Es la deformación total ocurrida en la probeta una vez que se ha llegado al punto máximo de carga durante el ensayo de estabilidad. Se mide en unidades de 0.01” (0.25 mm).

1.1.3.10.3 Contenido de vacíos

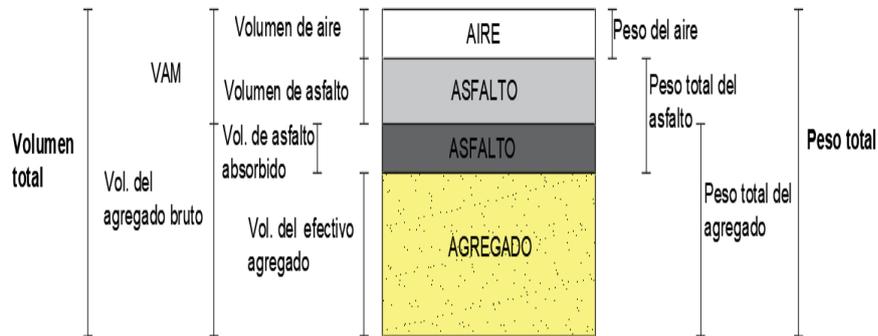
Son espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada, que no han sido llenados por el ligante durante el mezclado. Necesariamente debe existir un porcentaje de estos vacíos en la mezcla final para permitir una ligera compactación adicional que puede producirse bajo la acción del tráfico, ofreciendo un sitio para que el asfalto pueda fluir al producirse dicha compactación. Se tolera un porcentaje entre 3 y 5% de contenido de vacíos para evitar la presencia de callejones y aberturas que vuelvan a la mezcla vulnerable ante la acción del agua y el aire. Menos vacíos significa menor permeabilidad.

Por otro lado, un porcentaje menor a los especificados puede producir un efecto de exudación del asfalto (sale a la superficie), lo que también provoca daño a la capa asfáltica. En la realidad, al momento de la puesta en obra se controla que el contenido de vacíos sea de preferencia menor al 8%.

1.1.3.10.4 Contenido de vacíos en el agregado mineral (VAM)

Son los espacios de aire que existen entre las partículas del agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfaltos decir, es el espacio aprovechable para contener tanto el volumen efectivo de asfalto (cantidad total de asfalto menos lo perdido por absorción del agregado) como el volumen necesario de aire. El VAM influye en la durabilidad de la mezcla, ya que entre mayor sea el grosor de la película de asfalto que cubra a los agregados mayor será la dureza de la mezcla. [1]

Figura N° 7: Representación de volúmenes en la briqueta



Fuente: Romero Cristina, comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA),2017. [30]

En la tabla siguiente se presentan los valores mínimos de vacíos en el agregado mineral (VAM) que deben cumplir para evitar películas delgadas de asfalto, lo provocaría en una disminución en la durabilidad del asfalto:

Tabla N.º 10: Parámetros VAM para el Ensayo Marshall

Tamaño máximo en mm		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de diseño, por ciento		
mm	in	3	4	5
1,18	N.º 16	21,5	22,5	23,5
2,36	N.º 8	19	20	21
4,75	N.º 4	16	17	18
9,5	3/8	14	15	16
12,5	1/2	13	14	15
19	¾	12	13	14
25	1	11	12	13
37,5	5	10	11	12
50	2	9,5	10,5	11,5
63	2,5	9	10	11

1.1.3.10.5 Contenido de asfalto

El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios dictados por el método de diseños seleccionado.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción.

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto.

Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir uniformemente todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral.

La capacidad de absorción del agregado utilizado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se pueda cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

La capacidad de absorción de las partículas debe tomarse en cuenta al momento de determinar el contenido óptimo de asfalto, de manera que sea suficiente para permitir la absorción del mismo sin dejar de cubrir completamente las partículas. [2]

1.1.4 Hipótesis

Mediante la adición de polímeros Polietileno Tereftalato (PET), Polipropileno (PP) y PET-PP, en remplazo parcial del agregado fino a las mezclas asfálticas convencionales, se mantienen o mejoran sus propiedades físico-mecánicas ante las deformaciones por factores climatológicos y de peso vehicular.

1.1.4.1 Variable independiente

Adición de polímeros a las mezclas asfálticas convencionales.

1.1.4.2 Variable dependiente

Propiedades físico-mecánicas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Analizar la incidencia de la adición de polímeros en hormigones asfálticos convencionales mezclado en planta.

1.2.3 Objetivos Específicos

- Elaborar briquetas de mezcla asfáltica convencional por cada porcentaje de cemento asfáltico y briquetas de mezcla asfáltica modificada con diferentes porcentajes de polímeros.
- Determinar un porcentaje óptimo de polímero para el diseño de la nueva mezcla asfáltica.
- Aplicar el ensayo Marshall en las briquetas elaboradas con mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica modificada con polímero.
- Realizar un análisis comparativo de los valores obtenidos entre las dos mezclas; como la estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1 Materiales y Equipos

Tabla N.º 11: Equipos y materiales utilizados para el desarrollo del proyecto

ENSAYO	NORMA	EQUIPO	MATERIALES
-Análisis granulométrico	ASTM D-422; INEN-696	-Tamizadora - Juego de tamices - Brocha - Balanza electrónica digital - Recipientes plásticos y metálicos -Mandil -Mascarilla -Guantes	-Agregado fino y agregado grueso.
-Gravedad específica y absorción de los agregados finos.	ASTM C-128; INEN-856	- Balanza electrónica digital - Recipientes metálicos -Picnómetro -Termómetro -Pipeta -Embudo -Horno de secado	-Agregado fino -Agua.

		<ul style="list-style-type: none"> -Mandil -Mascarilla -Guantes 	
-Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos	ASTM C-127; INEN- 857	<ul style="list-style-type: none"> - Balanza electrónica digital -Franela -Recipientes, plásticos y metálicos. -Canastilla metálica -Horno de secado -Mandil -Mascarilla -Guantes 	<ul style="list-style-type: none"> -Agregado grueso -Agua.
-Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso.	ASTM C-131; INEN -860	<ul style="list-style-type: none"> -Máquina de los Ángeles - Balanza electrónica digital - Juego de tamices -Horno de secado 	<ul style="list-style-type: none"> -Agregado grueso. -Agua
-Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.	ASTM D S 821-95	<ul style="list-style-type: none"> - Juego de tamices -Recipientes -Mandil 	<ul style="list-style-type: none"> -Agregado grueso.
-Método Marshall de diseño para mezcla asfáltica convencional y modificada	ASTM 1559	<ul style="list-style-type: none"> -Máquina Marshall 	<ul style="list-style-type: none"> -Mezcla de agregados

		<p>-Balanza con precisión de 0.1 gr de sensibilidad.</p> <p>50</p> <p>-Martillo de compactación con una zapata circular de 3 7/8" - (10 libras de peso y 18" de altura de caída)</p> <p>-Pedestal de compactación.</p> <p>-Moldes de compactación especial de 4" de diámetro y 3" de altura con su collar.</p> <p>-Extractor de probetas.</p> <p>- Equipo para baño María.</p> <p>-Recipientes metálicos.</p> <p>-Bandeja para calentamiento.</p> <p>-Horno que mantenga una temperatura constante de 110 ± 5 °C.</p> <p>-Cucharon de tamaño conveniente para llenar el molde de medida.</p> <p>-Termómetro digital.</p>	-Asfalto
--	--	---	----------

		<ul style="list-style-type: none"> -Espátula y guantes de cuero -Soplador y gas -Recipientes -Mandil -Mascarilla -Guantes 	
<p>-Análisis de la densidad y vacíos de las briquetas asfálticas convencionales y modificadas. ENSAYO RICE</p>	<p>ASTM D 2041</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Máquina de extracción de vacíos. -Frasco volumétrico capacidad 2000ml. - Balanza electrónica digital -Termómetro. -Mandil -Guantes 	<p>-Muestra para el ensayo (briqueta disgregada).</p>

Fuente: Jonathan Castro

Polímeros a utilizarse:

- Polietileno tereftalato (PET) Botellas plásticas recicladas
- Polipropileno (PP) Tapones plásticos reciclados

Equipos adicionales

- Computador portátil
- Dispositivo móvil (cámara fotográfica, reloj).

2.2 Métodos

2.2.1 Nivel o Tipo de Investigación

En el presente trabajo experimental se emplearán los niveles de investigación detallados a continuación:

Bibliográfica

La investigación bibliográfica es necesaria en este trabajo experimental ya que aporta la información requerida a través de investigaciones anteriores relacionadas con el tema como tesis, libros, artículos técnicos, que servirán de guía para el desarrollo de este trabajo.

Descriptiva: Porque para la elaboración de las mezclas asfálticas se utilizará diferentes materiales y polímeros en diferentes porcentajes, al culminar el trabajo experimental se contará con datos, que servirán de estadística para el análisis en la utilización de las mezclas asfálticas modificadas.

Exploratoria: Debido a que la utilización de polímeros en mezclas asfálticas no es común en nuestro medio, el propósito es analizar el comportamiento de estas mezclas asfálticas adicionando polímeros.

Experimental: Ya que se realizan ensayos Marshall de estabilidad y flujo de las muestras compactadas en diversas briquetas de asfalto modificadas con la adición de distintos porcentajes de polímeros para así obtener información y resultados concluyentes de la investigación.

2.2.2 Población y Muestra

Debido a que este trabajo se basa en lo experimental, el cual tienen por objeto la elaboración de briquetas de asfalto, por lo cual no se puede cuantificar. Para obtener resultados confiables este trabajo experimental está basado en el Método Marshall bajo la norma AASHTO T 245, ASTM D 1559. Se procederá a la elaboración de tres briquetas de asfalto convencional por cada porcentaje de cemento asfáltico y briquetas

adicionando polímeros en diferentes porcentajes, estas briquetas serán ensayadas en laboratorio. Esto permitirá realizar una comparación de resultados y determinar la incidencia de polímeros en las propiedades de las muestras compactadas.

2.2.3 Plan de Recolección de Datos

Tabla N.º 12: Plan de Recolección de Datos

Preguntas Básicas	Explicación
¿Para qué?	Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de los valores obtenidos entre la mezcla convencional y las mezclas modificadas con polímeros.
¿De qué personas u objetos?	De briquetas de mezcla asfáltica convencional y mezclas asfálticas modificadas adicionadas con distintos porcentajes de polímeros.
¿Sobre qué Aspectos?	La influencia sobre la estabilidad y el flujo de las briquetas de asfalto modificado con polímeros.
¿Quién?	Jonathan Stallin Castro Faz
¿Dónde?	Laboratorio Estudios de Ingeniería Civil Labsah.
¿Cómo?	Mediante pruebas y ensayos de laboratorio, así como investigaciones bibliográficas.

Fuente: Jonathan Castro

2.2.4 Plan de Procesamiento y Análisis de Información

Plan de Procesamiento

- Revisión y clasificación puntualizada de la información obtenida.
- Tabulación de los datos obtenidos en los ensayos acorde a las variables de la hipótesis.
- Representación gráfica de los resultados.

Plan de Análisis de Información

- Tomando como base la hipótesis y objetivos planteados analizar e interpretar de los resultados obtenidos de la investigación.
- Verificar la hipótesis planteada en base a los resultados obtenidos.
- Determinar las conclusiones y recomendaciones.

Ubicación de la procedencia de agregados minerales a utilizarse

Para la realización del ensayo se procedió a tomar muestras de los agregados de la planta de asfalto JEAL CONSTRUCCIONES, la misma que provee agregado triturado de distintos tamaños para la elaboración de asfaltos y hormigones, está ubicada en el sector de Las Viñas de la Ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

Figura N° 8: Planta asfáltica JEAL Construcciones



Fuente: Jonathan Castro

2.2.5 Ensayos realizados a los agregados

Para la elaboración de las briquetas de asfalto se procederá a ensayar los agregados grueso y fino en el Laboratorio Estudios de Ingeniería Civil Labsah ubicado en la ciudad de Ambato.

Los ensayos se realizarán bajo las normas mencionadas anteriormente, con el objetivo de determinar si los agregados son aptos para la elaboración de las briquetas de asfalto.

Agregado grueso

- Análisis granulométrico ASTM D 422 – INEN 896
- Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos ASTM C-127; INEN- 857.
- Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso ASTM C-131; INEN-860.
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados. ASTM D S 821-95.

Agregado fino

- Análisis granulométrico ASTM D 422 – INEN 896
- Gravedad específica y absorción de los agregados finos. ASTM C-128; INEN -856.

2.2.5.1 Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

Objetivo:

Este ensayo tiene como objetivo determinar la distribución por tamaño de las partículas tanto del agregado grueso y fino, para ello se utilizará un juego de tamices de abertura cuadrada.

Procedimiento:

Se realizó el análisis granulométrico del agregado grueso de 3/4", agregado de 3/8" y agregado fino, mediante el procedimiento de secado y tamizado con una previa selección de material representativo por cuarteo.

Luego, la muestra escogida, se coloca en la torre de tamices en el siguiente orden 1", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°50, N°200, que corresponden a la faja de agregado 3/4" para mezclas asfálticas según las especificaciones del MOP-001-F 2002, detallado en la Tabla N.º 3 pág.16 del presente documento. La operación del tamizado será llevada manualmente mediante movimientos vertical y lateral del tamiz, también se puede realizar este movimiento mediante de un agitador mecánico.

Los resultados se dan en porcentajes del peso total del material que pasa cada tamiz, se pesan las cantidades retenidas y sumadas en forma acumulativa a las anteriores de tamaño mayor. Se realiza el mismo procedimiento para el agregado intermedio de 3/8" y agregado fino.

Figura N° 9: Granulometría de los agregados

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO						
Origen:						
Ensayado por:						
Fecha:						
Norma:						
Masa del agregado:						
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (gr)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F
		Parcial	Acumulado			
1"						
3/4"						
1/2"						
3/8"						
#4						
#8						
#50						
#200						
Fuente						

Fuente: Jonathan Castro

2.2.5.2 Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos

Objetivo:

Este ensayo tiene como objetivo determinar el peso específico nominal, peso específico aparente y absorción.

Procedimiento:

Se realizó este ensayo con agregado grueso de 3/4" y agregado intermedio 3/8". Inicialmente el agregado deberá estar sumergido en agua por un periodo de 24 ± 4 horas, después de haber transcurrido este tiempo, se retira la muestra y se procede a secarlas con un paño absorbente (franela), frotándolas hasta que se elimine el agua superficial visible. Se tomará la debida precaución para evitar evaporaciones de la superficie de los agregados. A continuación, se determina el peso de la muestra ensayada en condición saturada con superficie seca (S.S.S.). Luego colocamos las muestras en condición (S.S.S.) en la canastilla metálica que esta sumergida y pesamos su masa aparente en agua a $23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, agitando el recipiente para expulsar el aire atrapado. Después procedemos a insertar la muestra en el horno a una temperatura constante de $110 \text{ }^\circ\text{C}$ durante un periodo de 24 ± 4 horas, finalmente pesar la muestra seca.

Figura N° 10: Gravedad específica del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO			
Origen:			
Ensayado por:			
Fecha:			
Norma:			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso de la canastilla al aire			
Peso de la canastilla + agregado SSS en el aire			
Peso del agregado S.S.S en el aire			
Peso de la canastilla +agregado SSS en agua			
Peso de la canastilla sumergida			
Peso del agregado en agua			
Peso del recipiente + suelo seco			
Peso del recipiente vacío			
Peso del suelo seco en horno			
Temperatura del agua y suelo en $^\circ\text{C}$			
Factor de corrección de temperatura			
Densidad aparente de los sólidos			
Gravedad específica GS			
Porcentaje de absorción			

Fuente: Jonathan Castro

2.2.5.3 Gravedad específica y absorción de los agregados finos

Objetivo:

Este ensayo tiene como objetivo determinar la gravedad específica y absorción de agua del agregado fino.

Procedimiento:

Primero, se selecciona una cantidad de muestra aproximadamente 1000 gr, a continuación, se cubre la muestra completamente con agua y se deja reposar sumergida durante 24 ± 4 horas. Después de este periodo de tiempo, se retira el agua cuidadosamente para evitar la pérdida de fino, se extiende la muestra sobre una bandeja y se realiza el secado de la muestra, se somete a una corriente de aire caliente para secar la superficie mientras se frota con las manos para que el secado sea uniforme.

Cuando se observe visualmente que la muestra está en condición (S.SS.), se coloca la mezcla en un embudo una cantidad de mezcla suficiente, que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, se levanta cuidadosamente el molde en forma vertical. Si las partículas aún conservan humedad, el cono mantendrá su forma, por lo que se debe seguir frotando la muestra con las manos hasta conseguir que se produzca un primer desmoronamiento superficial, verificando que la muestra ha alcanzado la condición de superficie seca.

El siguiente paso es el de introducir la mezcla en el picnómetro, el cual debe estar previamente pesado, se pesa 500 g de muestra en el picnómetro y se vierte agua hasta la marca de aforo y se pesa el conjunto. Para eliminar el aire atrapado se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, agitando o dándole vueltas con la mano, después se mide la temperatura del conjunto, se vierte el contenido en un recipiente dejándolo depositar para que se separe la muestra del agua y determinamos el peso. A continuación, se introduce la muestra en el horno 24 ± 4 horas, y finalmente se saca la muestra de horno y se pesa.

Las fórmulas para realizar los cálculos se presentaron anteriormente en el literal de Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.

Figura N° 11: Gravedad específica del agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO			
Origen:			
Ensayado por:			
Fecha:			
Norma:			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Temperatura del agua y suelo en °C			
Peso del recipiente			
Recipiente+agregado seco			
Peso del agregado SSS al aire			
Peso del suelo seco al horno			
Peso picnómetro + agua			
Peso suelo seco+peso pic+agua			
Pic+agua+suelo(sumergido)			
Desplazamiento del agua			
Factor de corrección de temperatura			
Gravedad específica GS			
Capacidad de Absorción			

Fuente: Jonathan Castro

2.2.5.4 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados

Objetivo:

Este ensayo tiene como objetivo determinar el porcentaje en peso del material que presente una o más caras fracturadas de la muestra del agregado grueso.

Procedimiento:

Se separa por tamizado la fracción de la muestra comprendida entre los tamaños 25,4 mm y 19,0 mm (1" y 3/4"), se extiende la muestra sobre una superficie lisa para inspeccionar cada partícula. A continuación, se separa las partículas que tengan una o más caras fracturadas. Si una partícula redondeada presenta una fractura muy pequeña, no será considerada como "partícula fracturada". Para considerar que una partícula como fracturada es cuando un 25% o más del área de la superficie aparece fracturada. Las fracturas deberán ser recientes y por medio de procesos de trituración.

Figura N° 12: Porcentaje de caras fracturadas

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS		
Origen:		
Ensayado por:		
Fecha:		
Norma:		
Peso de la muestra:		
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso de partículas fracturadas		
Peso de partículas cuestionables		
Peso partículas no fracturadas		
% de caras fracturadas	$P = \left[\frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$	

Fuente: Jonathan Castro

2.2.5.5 Determinación de la resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso

Objetivo:

Este ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados, empleando la Máquina de los Ángeles con una carga abrasiva.

Procedimiento:

Para la realización de este ensayo, la muestra de agregado debe estar lavado y secado al horno a una temperatura constante de 110 °C, separada por fracciones de cada tamaño para posteriormente ser mezcladas con una de las granulometrías especificadas anteriormente.

Para este ensayo se realizará el tipo A, la muestra será pesada con una aproximación de ± 10 gr.

La muestra y la carga abrasiva correspondiente, serán colocadas en la Máquina de los Ángeles y se hace girar al cilindro de la máquina a una velocidad comprendida entre 30 a 33 rpm, el número total de vueltas será 500. La máquina deberá girar y mantener una velocidad constante, una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y las esferas.

El material más grueso será separado y pesado; el porcentaje de material fino será tamizado empleando el tamiz de 1.70 mm (N.- 12) para luego ser pesado y utilizado en los respectivos cálculos.

De acuerdo a la normativa el MOP-001-F 2002, para hormigón asfáltico, el desgaste no puede ser mayor al 40% en relación al peso de la muestra.

Figura N° 13: Resistencia al desgaste por abrasión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN			
Origen:			
Ensayado por:			
Fecha:			
Norma:			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso del agregado antes del ensayo			
Peso del agregado no gastado después del ensayo			
Pérdida por desgaste			
Desgaste del agregado			

Fuente: Jonathan Castro

2.2.5.6 Obtención del polímero

Para la obtención de los polímeros PET (Polietileno tereftalato) y PP (Polipropileno), en este caso botellas y tapones plásticos triturados, los cuales reemplazarán parcialmente al agregado fino en la elaboración de la mezcla asfáltica modificada. La obtención de este material se da gracias al apoyo de la empresa ENKADOR, quien otorga las cantidades necesarias de cada uno de los polímeros para la ejecución de este trabajo experimental. Resaltando que esta prestigiosa empresa apoya a los estudiantes investigadores.

Las botellas son conseguidas mediante el proceso del reciclaje, son lavadas, secadas. Se retiran las tapas y etiquetas para proceder a triturarlas en partículas de tamaño pequeño mediante una planta procesadora, posteriormente se vuelve a lavar y secar.

2.2.6 Diseño de la mezcla asfáltica convencional

El diseño se realizará por medio del Método Marshall con normativa **ASTM D 1559**, (descrito anteriormente en el literal 1.1.3.10 Método Marshall). Este diseño se realizará con cemento asfáltico y con los agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones del Cantón Ambato, con franjas granulométricas 3/4" y 3/8", que son materiales que se dispone y que se ajustan a las exigencias del MOP-001-F 2002.

Preparación de las briquetas

Los porcentajes de asfalto con los que se trabajará para los diferentes grupos de briquetas son el 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7%.

Para obtener resultados adecuados se realizarán tres briquetas para cada contenido de asfalto.

Procedimiento

Antes de preparar la mezcla, se limpian el molde y la base de compactación que deben estar calentados a una temperatura entre 120 y 150°C.

Se pesa en bandeja los porcentajes de agregado calculando para un grupo de briquetas, luego se los coloca en la bandeja de calentamiento a una temperatura de 140 a 180 °C.

Por otra parte, se calienta el cemento asfáltico a una temperatura de 120 a 150 °C. Durante este proceso de calentamiento tanto los agregados y el asfalto deben ser mecidos para así evitar sobrecalentamientos locales.

Luego se coloca sobre la bandeja las diversas fracciones de agregados calientes de acuerdo con los pesos acumulativos, se mezclan perfectamente y se forma un cráter en la mezcla para luego verter el asfalto caliente hasta completar el total de peso calculado de agregados más asfalto.

Se mezcla los agregados con el asfalto lo más pronto posible hasta obtener una mezcla homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 120 °C, en ningún caso someterse a recalentamiento.

El siguiente paso será introducir la mezcla asfáltica en caliente en el interior del molde, con la espátula redondeada se aplicarán 25 taqueadas o pinchazos 15 alrededor y 10 al azar, con el objetivo que el compactado sea lo más homogénea posible y eliminar los huecos existentes.

Posteriormente, se coloca el molde en el pedestal de compactación y se compacta la mezcla aplicando 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del pistón se mantenga siempre de forma vertical. Se elaboraron 15 briquetas (3 por cada porcentaje)

A continuación, la mezcla compactada se la retira y se deja enfriar con un lapso de 2 horas y luego extraerla. A cada briketa se someterá a los siguientes ensayos:

- Determinación del peso específico “Bulk”.
- Ensayos de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

2.2.6.1 Ensayos a las briquetas asfálticas convencionales

Ensayo de estabilidad y flujo

Antes de proceder al ensayo, a las briquetas se las sumerge en el recipiente de baño María una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de tiempo de 30 a 40 minutos.

Se tomará tres pesos distintos de las briquetas de cada una de las 15 briquetas.

Peso en el aire: este peso se lo tomará al momento de retirar la briqueta del molde y se anotará su peso respectivo.

Peso saturado superficie seca: se sumerge la briqueta en agua, retirarla, secarla con un paño absorbente y anotar su peso.

Peso sumergido: cuando la briqueta esta sumergida en agua, dejar que se estabilice la lectura y tomar su peso.

Siguiendo con el procedimiento, se debe limpiar y lubricar con aceite las superficies de las mordazas, antes de la aplicación de la carga se verifica que el indicador del dial de carga se encuentre en cero El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL; se anota la lectura de flujo de la briqueta, expresado en centésimas de pulgada.

Se coloca la briqueta en las mordazas y se aplica la carga a una velocidad de deformación constante hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida.

2.2.6.2 Análisis de la densidad y vacíos de las briquetas asfálticas convencionales

Para la realización de este análisis será con el **ENSAYO RICE ASTM D 2041**, que tiene como fin, determinar el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados para de esta manera conocer la cantidad efectiva de cemento asfáltico requerida para el diseño de la mezcla asfáltica y el volumen real de vacíos en las mezclas asfálticas no compactadas a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

Se calibra el frasco para determinar exactamente su peso más agua a una temperatura de 25°C. Se disgregan y pesan las briquetas para luego ser colocadas en el frasco volumétrico, luego se agrega agua suficiente para cubrir la muestra.

Se remueve el aire atrapado mediante el dispositivo agitador durante un periodo de 15 minutos, a continuación, se libera lentamente la presión y 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 N° 14: Ensayo RICE mezcla asfáltica convencional

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE			
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:			
Ensayado por:			
Fecha:			
Norma:			
Peso de la muestra:			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C			
Peso frasco			
Peso muestra + frasco			
Peso muestra			
Peso muestra +frasco+agua a 25°C			
Gmm			

Fuente: Jonathan Castro

Procedimiento de Cálculo para el Diseño de Mezclas Marshall

Los cálculos se realizarán con ayuda del formulario indicado, cuyo detalle de propiedades se describe a continuación.

A: Identificación del número de muestras.

B: Porcentaje de cemento asfáltico para un grupo de tres briquetas, empezando desde el 5% hasta llegar al 7% con incrementos de 0,5%.

C: Espesor de cada biqueta medido en centímetros.

D: Peso en el aire de la probeta en gramos.

E: Peso en el aire de la probeta saturada y superficialmente seca en gramos.

F: Peso en gramos de la probeta en el agua.

G: Determinación del peso específico Bulk (densidad aparente). Este valor se determina en las probetas compactadas, es la relación entre su peso en el aire y el peso en agua incluyendo los vacíos permeables. Si la probeta tiene una textura superficial densa e impermeable, su peso específico Bulk se determina mediante la siguiente expresión:

$$G = \frac{D}{E - F}$$

H: Se calcula el peso específico máximo teórico de la muestra para cada porcentaje de asfalto, el cual corresponde al que teóricamente se obtendrá si fuera posible comprimir la muestra hasta obtener una masa de asfalto y de agregados carente de vacíos con aire:

$$H = \frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gasf}}$$

I: El peso específico máximo medido de una mezcla asfáltica sin vacíos con aire (no compactada), se determina por medio del método desarrollado por James Rice y su valor es necesario para conocer porcentajes de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de los vacíos con aire que tendrá cuando se encuentre compactada.

J: Se calcula el porcentaje de absorción de asfalto por peso del agregado seco, para cada porcentaje de cemento asfáltico utilizado:

$$J = \frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$$

K: Calculamos el porcentaje en volumen que ocupa el agregado con respecto al volumen total de la probeta:

$$K = \frac{\%Agreg * G}{Gagr}$$

L: Se calcula el porcentaje de vacíos con aire con respecto al volumen total de la probeta:

$$L = \left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$$

M: Calculamos el volumen de asfalto efectivo como porcentaje del volumen total de la probeta:

$$100 - K - L$$

N: Determinamos el porcentaje de vacíos que contiene los agregados minerales en la mezcla compactada:

$$100 - K$$

O: Determinamos el contenido de asfalto efectivo con respecto al peso de la mezcla:

$$O = \%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$$

P: Calculamos el porcentaje de vacíos llenos de asfalto:

$$P = \left(\frac{N - L}{N}\right) * 100$$

Q: En este apartado se coloca la lectura que marca el dial de la Estabilidad Marshall al realizar el ensayo de la probeta de acuerdo al procedimiento indicado. El valor de la estabilidad se registra en libras.

R: Registramos el factor de corrección que depende del espesor de las briquetas, de acuerdo a la tabla correspondiente.

S: Con los factores de corrección, rectificamos los valores de la estabilidad de cada probeta:

$$Q * R$$

Q=Factor de corrección por espesor de la briketa.

R=Valor correspondiente a la estabilidad en libras.

T: Representa el flujo que es el movimiento o deformación total que se produce en la briketa desde el inicio de la carga, hasta que se consigue la máxima, viene expresado en centésimas de pulgada.

Preparación de datos

Se obtiene el promedio de los valores de flujo y estabilidad, corregido para todas las briquetas con un contenido de asfalto determinado, los valores evidentemente erróneos, no deben considerarse.

Con los valores obtenidos, se preparan seis gráficos diferentes (curvas) a las mezclas asfálticas convencionales, para las siguientes relaciones:

- Peso específico Bulk (G) vs. Contenido de asfalto (B).
- Índice de vacíos con aire (L) vs. Contenido de asfalto (B).
- Vacíos en agregados minerales (N) vs. Contenido de asfalto (B).
- Estabilidad (S) vs. Contenido de asfalto (B).
- Flujo o deformación (T) vs. Contenido de asfalto (B).

Las mezclas asfálticas con adición de polímeros (PET, PP Y PET-PP), respectivamente son reciclados y triturados, es una mezcla de cemento asfáltico, áridos, y un porcentaje de polímero triturado en reemplazo parcial de la arena, con el objeto de analizar su influencia en la estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

Procedimiento

Antes de preparar la mezcla, se limpian el molde y la base de compactación que deben estar calentados a una temperatura entre 120 y 150°C.

Se pesa en bandeja los porcentajes de agregado calculando para un grupo de briquetas, luego se los coloca en la bandeja de calentamiento a una temperatura de 140 a 180 °C.

Por otra parte, se calienta el cemento asfáltico y se añade el porcentaje de polímero triturado (PET, o PP, según el caso) en reemplazo parcial del agregado fino a una temperatura de 120 a 150 °C. Durante este proceso de calentamiento tanto los agregados y el asfalto deben ser mecidos para así evitar sobrecalentamientos locales.

Luego se coloca sobre la bandeja las diversas fracciones de agregados calientes de acuerdo con los pesos acumulativos y el porcentaje de polímero en reemplazo parcial del agregado fino, se mezclan perfectamente y se forma un cráter en la mezcla para luego verter el asfalto caliente hasta completar el total de peso calculado de agregados más asfalto.

Se mezcla los agregados con polímero más el asfalto lo más pronto posible hasta obtener una mezcla completa y homogénea, la temperatura de la mezcla no debe ser inferior a 120 °C, en ningún caso someterse a recalentamiento.

El siguiente paso será introducir la mezcla asfáltica en caliente en el interior del molde, con la espátula redondeada se aplicarán 25 taqueadas o pinchazos 15 alrededor y 10 al azar, con el objetivo que el compactado sea lo más homogénea posible y eliminar los huecos existentes.

Posteriormente, se coloca el molde en el pedestal de compactación y se compacta la mezcla aplicando 75 golpes a caída libre y cuidando que el vástago del pistón se

mantenga siempre de forma vertical. Se elaborarán 36 briquetas (3 por cada porcentaje de polímero) PET, PP Y PET-PP: 1%,3%,6% y 9%, respectivamente.

A continuación, la mezcla compactada se la retira y se deja enfriar con un lapso de 2 horas y luego extraerla. A cada briketa se someterá a los siguientes ensayos:

- Determinación del peso específico “Bulk”.
- Ensayos de estabilidad y flujo.
- Análisis de la densidad y vacíos.

2.2.6.3.1 Ensayos a las briquetas adicionadas con polímeros

Ensayo de estabilidad y flujo

Antes de proceder al ensayo, a las briquetas se las sumerge en el recipiente de baño María una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de tiempo de 30 a 40 minutos.

Se tomará tres pesos distintos de las briquetas de cada una de las 27 briquetas.

Peso en el aire: este peso se lo tomará al momento de retirar la briketa del molde y se anotará su peso respectivo.

Peso saturado superficie seca: se sumerge la briketa en agua, retirarla, secarla con un paño absorbente y anotar su peso.

Peso sumergido: cuando la briketa esta sumergida en agua, dejar que se estabilice la lectura y tomar su peso.

Siguiendo con el procedimiento, se debe limpiar y lubricar con aceite las superficies de las mordazas, antes de la aplicación de la carga se verifica que el indicador del dial de carga se encuentre en cero El número total de libras necesarias para producir la rotura de la muestra a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ se anota como valor de ESTABILIDAD MARSHALL; se anota la lectura de flujo de la briketa, expresado en centésimas de pulgada.

Se coloca la briqueta en las mordazas y se aplica la carga a una velocidad de deformación constante hasta que se produzca la rotura. El punto de rotura se define por la carga máxima obtenida.

2.2.6.3.2 Análisis de la densidad y vacíos de las briquetas con adición de polímeros

Para la realización de este análisis será con el **ENSAYO RICE ASTM D 2041**, que tiene como fin, determinar el porcentaje de asfalto absorbido por los agregados y el volumen real de vacíos en las mezclas asfálticas con adición de polímeros (PET, PP y PET-PP) no compactadas a 25 °C.

Procedimiento

Se calibra el frasco para determinar exactamente su peso más agua a una temperatura de 25°C. Se disgregan y pesan las briquetas para luego ser colocadas en el frasco volumétrico, luego se agrega agua suficiente para cubrir la muestra.

Se remueve el aire atrapado mediante el dispositivo agitador durante un periodo de 15 minutos, a continuación, se libera lentamente la presión y 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 N° 16: Ensayo RICE mezcla asfáltica con adición de polímeros

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE			
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:			
Ensayado por:			
Fecha:			
Norma:			
Peso de la muestra:			
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C			
Peso frasco			
Peso muestra + frasco			
Peso muestra			
Peso muestra +frasco+agua a 25°C			
Gmm			

Fuente: Jonathan Castro

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se procede a dibujar las curvas correspondientes a las mezclas asfálticas adicionadas con el 1%,3%,6% y 9% con polímeros (PET PP y PET-PP) respectivamente, para las siguientes relaciones

- Peso específico Bulk (G) vs. Contenido de asfalto (B).
- Índice de vacíos con aire (L) vs. Contenido de asfalto (B).
- Vacíos en agregados minerales (N) vs. Contenido de asfalto (B).
- Estabilidad (S) vs. Contenido de asfalto (B).
- Flujo o deformación (T) vs. Contenido de asfalto (B).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos en cada uno de los ensayos realizados en laboratorio, mismos que permitieron el desarrollo del presente trabajo experimental y así cumplir con el objetivo planteado.

3.1.1 Análisis granulométrico del agregado grueso y fino

Se realizó ensayos de granulometría a los agregados grueso y fino, mediante tablas y gráficos se determinó las curvas granulométricas respectivas para analizar si los agregados son aptos para ser utilizados en la mezcla asfáltica.

Además, se realizó cálculos del Coeficiente de Uniformidad con el fin de evaluar la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo y Coeficiente de Curvatura para diferenciar entre suelos seleccionados (o bien graduados) y pobremente seleccionados (o mal graduados).

Tabla N.º 13: Clasificación de suelos (agregado grueso y fino)

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
GRAVA	G	Bien Graduado	W
ARENA	S	Pobremente Graduado	P

Fuente: Sistema Unificado de clasificación de suelos (SUCS)

Coeficiente de uniformidad: $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$

Coeficiente de curvatura: $Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$

SW: $Cu > 6; 1 \leq Cc \leq 3$

GW: $Cu > 4; 1 \leq Cc \leq 3$

Tabla N.º 14: Granulometría Agregado grueso 3/4"

Tamiz		Abertura (mm)	Peso Retenido en (gr)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
			Parcial	Acumulado			
1"		25,4	0,00	0,00	0,00	100,00	100
3/4"		19,0	73,00	1,46	1,46	98,54	90-100
3/8"		9,5	1114,50	22,30	23,76	76,24	56-80
#4		4,8	564,50	11,30	35,06	64,94	35-65
#8		2,36	1179,50	23,60	58,66	41,34	23-49
#50		0,3	1758,50	35,19	93,84	6,16	5,-19
#200		0,075	231,50	4,63	98,47	1,53	2,-8
Fuente			76,24	1,53	100,00	-	
		Σ=	4997,74				
D10			0,41	Cu		13,14	
D30			1,93	Cc		1,73	
D60			5,32				

Figura N° 18: Curva granulométrica agregado grueso 3/4"

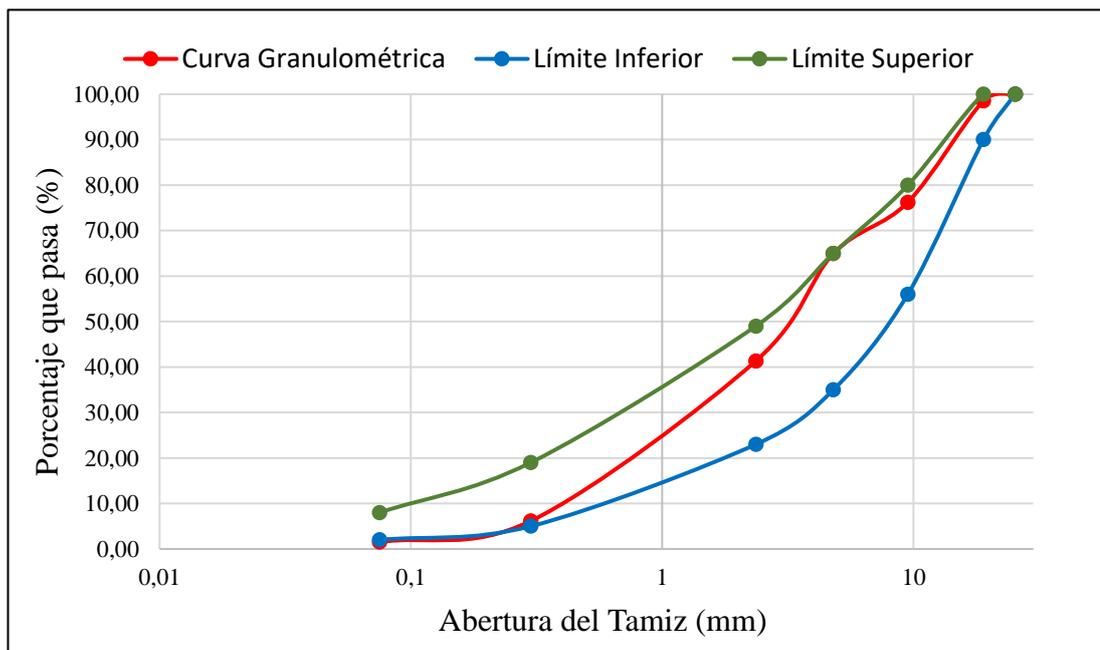


Tabla N.º 15: Granulometría Agregado Intermedio 3/8”

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO INTERMEDIO 3/8”						
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua					
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz					
Fecha:	Jueves 04 de marzo de 2021					
Norma:	INEN 696					
Masa del agregado:	1000 gr					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (gr)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
		Parcial	Acumulado			
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00	--
3/4"	19,0	0	0,00	0,00	100,00	--
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00	100
3/8"	9,5	8,4	0,84	0,84	99,16	90-100
#4	4,8	286,3	28,66	29,50	70,50	55-85
#8	2,36	189,6	18,98	48,48	51,52	32-67
#50	0,3	364,9	36,52	85,00	15,00	7,-23
#200	0,075	84,5	8,46	93,46	6,54	2,-10
Fuente		65,37	6,54	100,00		
	Σ=	999,07				
D10		0,13		Cu		24,52
D30		0,7		Cc		1,14
D60		3,24				

Figura N.º 19: Curva granulométrica agregado intermedio 3/8”

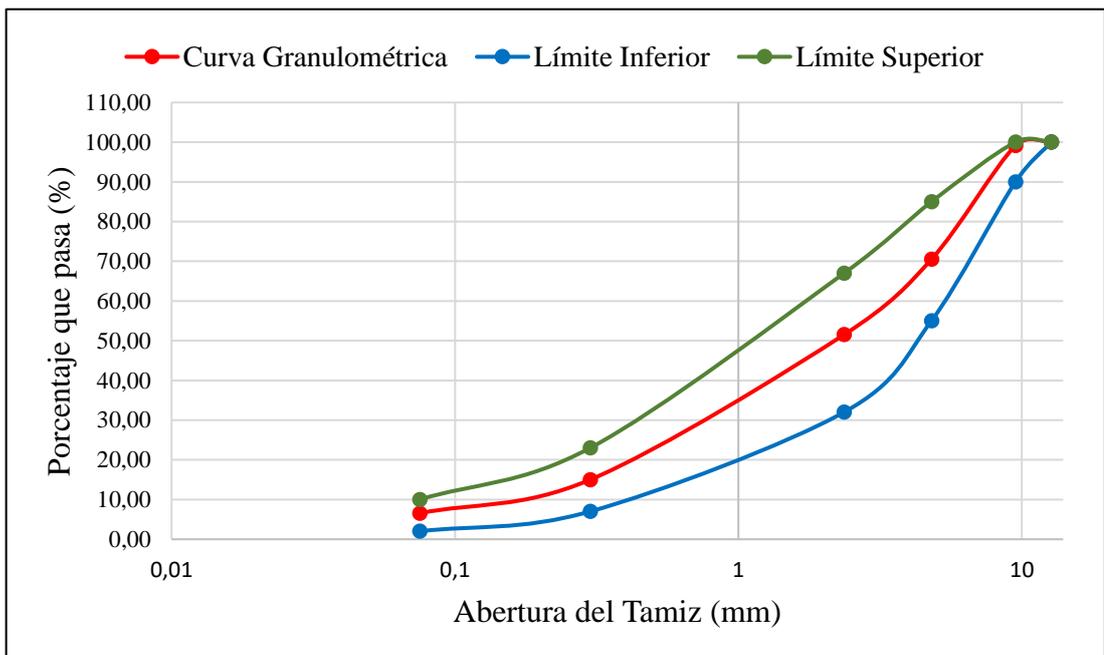
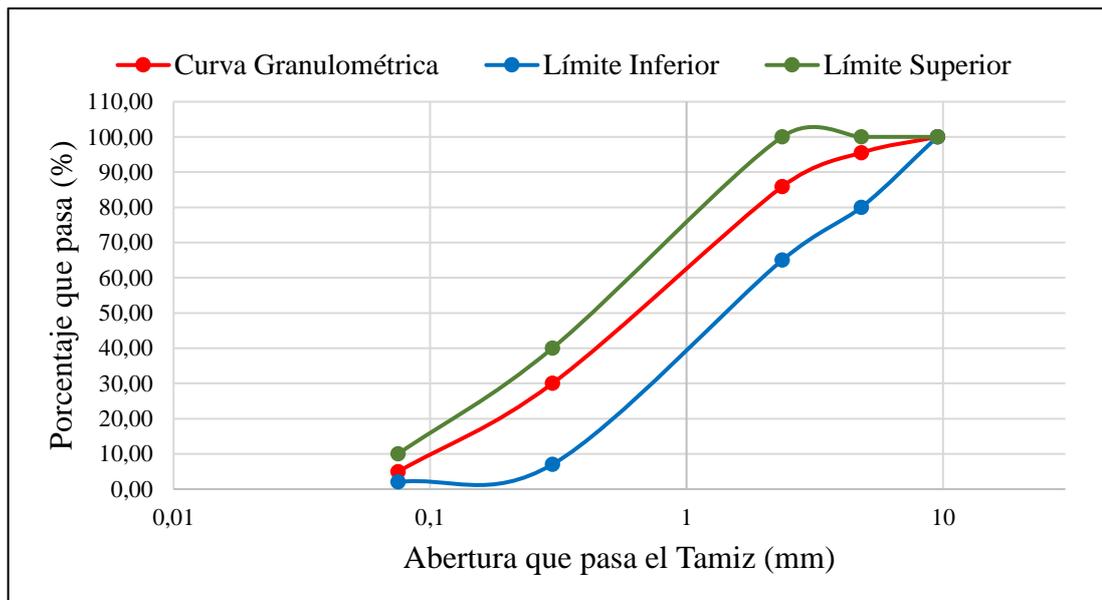


Tabla N.º 16: Granulometría Agregado Fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA						
GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO						
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua					
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz					
Fecha:	Jueves 04 de marzo de 2021					
Norma:	INEN 696					
Masa del agregado:	1000 gr					
Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido en (gr)		% Retenido acumulado	% que pasa	Límites MOP-001-F 2002
		Parcial	Acumulado			
1"	25,4	0	0,00	0,00	100,00	--
3/4"	19,0	0	0,00	0,00	100,00	--
1/2"	12,7	0	0,00	0,00	100,00	--
3/8"	9,5	0	0,00	0,00	100,00	100
#4	4,8	44,9	4,49	4,49	95,51	80-100
#8	2,36	96,4	9,64	14,14	85,86	65-100
#50	0,3	558,5	55,87	70,01	29,99	7,-40
#200	0,075	250,4	25,05	95,06	4,94	2,-10
Fuente		49,36	4,94	100,00	-	
	Σ=	999,56				
D10		0,1		Cu		9,15
D30		0,3		Cc		1,00
D60		0,91		Módulo de finura		2,84

Figura N° 20: Curva granulométrica agregado fino



Fuente: Jonathan Castro

Agregados Pétreos provenientes de la Planta asfáltica JEAL Construcciones (Pág. 54)

- El tamaño nominal máximo para el agregado grueso fue de **1/2"**, valor que está dentro del rango permitido por la norma MOP-001-F 2002.
- Las curvas obtenidas están también dentro de los límites exigidos por la norma.
- El módulo de finura el agregado fino fue de **2.87 %**, valor que está dentro del rangos permitidos ($2.1 \leq MF \leq 3.1$) por la norma INEN 696.
- Los coeficientes de curvatura y uniformidad para los agregados fueron:

Tabla N.º 17: Valores de Coeficientes de Curvatura y Uniformidad

Materiales Pétreos	Cc	Cu	Criterio
Agregado Grueso	1.73	13.14	GW
Agregado Intermedio	1.14	24.52	GW
Agregado Fino	1.00	9.15	SW

Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: De los datos obtenidos, se observa que los agregados grueso y fino están dentro de los requerimientos de las especificaciones de MOP-001-F 2002, CAPÍTULO 400, detallados en la Tabla N.º 3 pág.16 del presente documento, por consiguiente, los materiales ensayados son aptos para la elaboración de las mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas con adición de polímeros.

3.1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso

En la realización de este ensayo, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N.º 18: Gravedad específica agregado grueso 3/4"

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO 3/4"			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Viernes,12 de marzo de 2021		
Norma:	INEN 857		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso de la canastilla al aire		g	1232,0
Peso de la canastilla + agregado SSS en el aire		g	4732,0
Peso del agregado S.S.S en el aire	B	g	3500,0
Peso de la canastilla +agregado SSS en agua		g	3240,2
Peso de la canastilla sumergida		g	1105,0
Peso del agregado en agua	C	g	2135,2
Peso del recipiente + suelo seco		g	3775,4
Peso del recipiente vacío		g	344,6
Peso del suelo seco en horno	A	g	3430,8
Temperatura del agua y suelo en °C	K	°C	20
Factor de corrección de temperatura		g/cm ³	0,998
Densidad aparente de los sólidos		g/cm ³	2,65
Gravedad específica GS	$GS=(A-K)/(B-C)$	g/cm ³	2,513
Porcentaje de absorción	$\% Abs=((B-A)/A)*100$	%	2,017

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 19: Gravedad específica agregado grueso 3/8"

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO INTERMEDIO 3/8"			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Viernes, 12 de marzo de 2021		
Norma:	INEN 857		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso de la canastilla al aire		g	1232,0
Peso de la canastilla + agregado SSS en el aire		g	4732,0
Peso del agregado S.S.S en el aire	B	g	3500,0
Peso de la canastilla +agregado SSS en agua		g	3261,4
Peso de la canastilla sumergida		g	1105,0
Peso del agregado en agua	C	g	2156,4
Peso del recipiente + suelo seco		g	3703,0
Peso del recipiente vacío		g	344,6
Peso del suelo seco en horno	A	g	3358,4
Temperatura del agua y suelo en °C	K	°C	20
Factor de corrección de temperatura		g/cm ³	0,998
Densidad aparente de los sólidos		g/cm ³	2,79
Gravedad específica GS	$GS=(A-K)/(B-C)$	g/cm ³	2,499
Porcentaje de absorción	$\% Abs=((B-A)/A)*100$	%	4,216

Fuente: Jonathan Castro

Los pesos específicos y capacidad de absorción fueron para los agregados fueron:

Agregado Grueso 3/4": $G_s = 2.153 \text{ g/cm}^3$; $Abs = 2.017 \%$

Agregado Intermedio 3/8": $G_s = 2.499 \text{ g/cm}^3$; $Abs = 4.216\%$

3.1.3 Peso específico y absorción del agregado fino

En la realización de este ensayo, se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N.º 20: Gravedad específica agregado fino

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Lunes,08 de marzo de 2021		
Norma:	INEN 856		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Temperatura del agua y suelo en °C		°C	25,72
Peso del recipiente		g	94,0
Recipiente+agregado seco		g	344,0
Peso del agregado SSS al aire	S	g	250,0
Peso del suelo seco al horno	A	g	245,8
Peso picnómetro + agua	B	g	650,4
Peso suelo seco+peso pic+agua		g	896,2
Pic+agua+suelo(sumergido)	C	g	802,6
Desplazamiento del agua		g	93,6
Factor de corrección de temperatura	T=K	g/cm ³	0,997
Gravedad específica GS	$G_{sA} = ((A * K) / (A + B - C))$	g/cm ³	2,618
Capacidad de Absorción	% Absorción = $(S - A) / A$	%	1,709

Fuente: Jonathan Castro

El peso específico obtenido fue de **2.618 gr/cm³**, valor que pertenece a un material granular y la capacidad de absorción fue de **1.709 %**.

Interpretación: Las especificaciones del MOP-001-F 2002 no determinan un valor mínimo ni un rango en especial que deben tener los agregados para un diseño de una mezcla asfáltica, por lo cual estos resultados no están sujetos a verificación con alguna especificación.

3.1.4 Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso

En este ensayo se obtuvo los siguientes resultados mediante el empleo de la Máquina de los Ángeles:

Tabla N.º 21: Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Viernes 05 de marzo de 2021		
Norma:	INEN 0860		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso del agregado antes del ensayo	A	g	5000
Peso del agregado no gastado después del ensayo	B	g	3118
Pérdida por desgaste	C=A-B	g	1882
Desgaste del agregado	$D=(C/A) * 100$	%	37,64

Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: El valor obtenido fue de **37.64%**, lo que determina que es un agregado de buena calidad (grava bien graduada) resistente a la abrasión superficial, el valor es aceptable ya que está dentro del valor de desgaste máximo permisible (40%) por la MOP-001-F 2002 CAPÍTULO 811-2. Agregados para Mezcla en Planta pág. VIII-82.

3.1.5 Porcentaje de caras fracturadas

Al realizar este ensayo con el agregado grueso se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla N.º 22: Porcentaje de caras fracturadas del agregado grueso

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Lunes, 15 de marzo de 2021		
Norma:	ASTM D 5821-95		
Peso de la muestra:	1500 gr		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso de partículas fracturadas	F	g	1059
Peso de partículas cuestionables	Q	g	441
Peso partículas no fracturadas	N	g	7
% de caras fracturadas	$P = \left[\frac{F + \frac{Q}{2}}{F + Q + N} \right] * 100$		85

Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: El valor del porcentaje de caras fracturadas en el agregado grueso fue de **85%**, valor que cumple con los requisitos de la MOP-001-F 2002, donde determina que las partículas del agregado grueso deben tener una cierta angularidad propia del material triturado, señalando que el 85% del material grueso debe tener al menos una cara fracturada y el 80% al menos dos caras fracturadas. La angularidad del agregado grueso permite una mejor adherencia entre sus partículas y el cemento asfáltico aumentando su resistencia a esfuerzos cortantes.

3.1.6 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica convencional

3.1.6.1 Gravedad específica de los agregados

$$\frac{100}{\frac{53}{Gs.Fino} + \frac{47}{Gs.Grueso}}$$

Tabla N.º 23: Gravedad específica de los agregados

Gs Agregado Grueso	2,506
Gs Agregado Fino	2,618
Gs agregados	2,564

Fuente: Jonathan Castro

3.1.6.2 Gravedad específica máxima teórica (Ensayo Rice)

Se presenta el cálculo típico correspondiente al valor más alto que corresponde al 5 % cemento asfáltico.

Tabla N.º 24: Ensayo Rice para el 5% de cemento asfáltico

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
ENSAYO RICE PARA EL 5% CEMENTO ASFÁLTICO GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA		
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz	
Fecha:	Jueves,20 de mayo de 2021	
Norma:	ASTM D 2041	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g
Peso frasco		g
Peso muestra + frasco		g
Peso muestra	A	g
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g
Gmm	A/A-(E-D)	2,345

Fuente: Jonathan Castro

3.1.6.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas convencionales

Tabla N° 25: Diseño de la mezcla asfáltica convencional por el Método Marshall

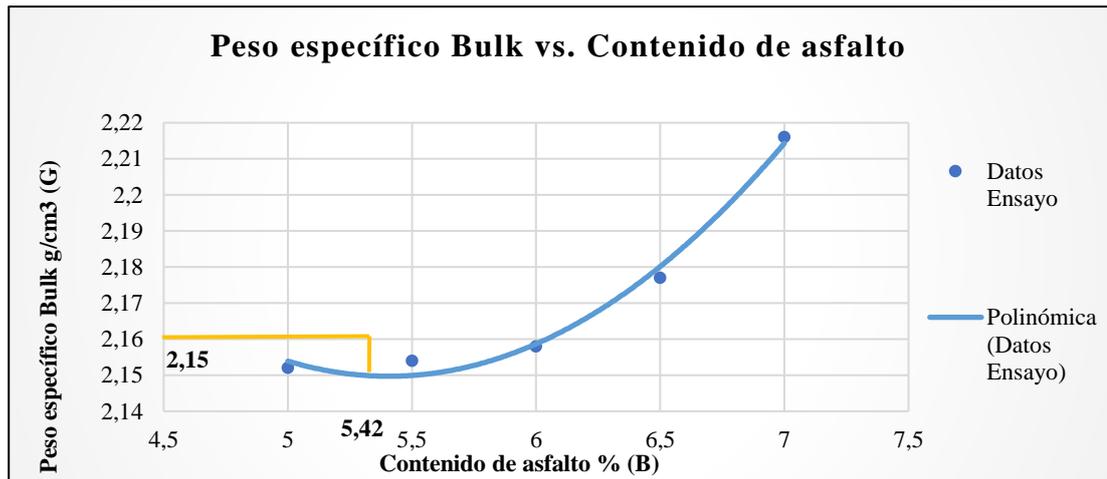
N° Golpes: 75 Gravedad específica asf: 1,0239 Gravedad específica agregados para diseño: 2,564

MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL																			
MUESTRA N°	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR PROBETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100
			SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
						$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{G_{agr}} + \frac{\%CA}{G_{asf}}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{G_{agr}}$	$\left(1 - \frac{G}{I}\right) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{\%CA - \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			$Q * R$	
1,1	5	7,15	1181,0	1196,2	634,8	2,104										1903	0,830	1579,490	14,30
1,2		5,35	940,4	946,6	517,2	2,190										1516	1,342	2034,204	15,60
1,3		6,4	1113,4	1119,6	604,8	2,163										2878	0,988	2843,069	11,80
PROMEDIO						2,152	2,385	2,345	-0,746	79,741	8,223	12,036	20,259	5,709	59,409			2152,254	13,050
2,1	5,5	7,2	1258,0	1259,8	681,6	2,176										2594	0,824	2137,291	15,50
2,2		7,15	1246,8	1248,2	673,8	2,171										3351	0,830	2780,998	15,20
2,3		7,1	1212,6	1214,6	641,8	2,117										2347	0,838	1967,121	14,00
PROMEDIO						2,154	2,368	2,332	-0,692	79,405	7,614	12,981	20,595	6,154	63,028			2295,137	14,900
3,1	6	7,55	1335,8	1338,2	727,4	2,187										3775	0,769	2903,129	16,00
3,2		7,25	1257,8	1262,8	676,8	2,146										2972	0,818	2431,260	13,40
3,3		6,15	1063,0	1068,2	571,6	2,141										1516	1,056	1600,685	13,70
PROMEDIO						2,158	2,352	2,310	-0,818	79,115	6,581	14,304	20,885	6,769	68,490			2667,194	14,700
4,1	6,5	5,95	1062,6	1068,8	582,2	2,184										1951	1,118	2181,665	15,80
4,2		6,05	1066,6	1068,4	581,8	2,192										2002	1,087	2176,174	11,80
4,3		6,15	1074,2	1076,6	578,00	2,154										1969	1,056	2079,264	13,10
PROMEDIO						2,177	2,336	2,283	-1,056	79,377	4,656	15,967	20,623	7,487	77,423			2145,701	13,567
5,1	7	6,55	1161,2	1161,6	644,0	2,243										2702	0,953	2574,625	14,40
5,2		6,15	1101,2	1103,00	605,8	2,215										2554	1,056	2697,235	13,40
5,3		6,05	1073,4	1075,6	585,6	2,191										2376	1,087	2582,712	16,50
PROMEDIO						2,216	2,320	2,263	-1,162	80,388	2,064	17,548	19,612	8,081	89,474			2618,191	14,767

3.1.6.3.1 Contenido Óptimo de asfalto de la mezcla asfáltica convencional

Mediante un análisis gráfico se interpretó los valores obtenidos de la mezcla asfáltica convencional:

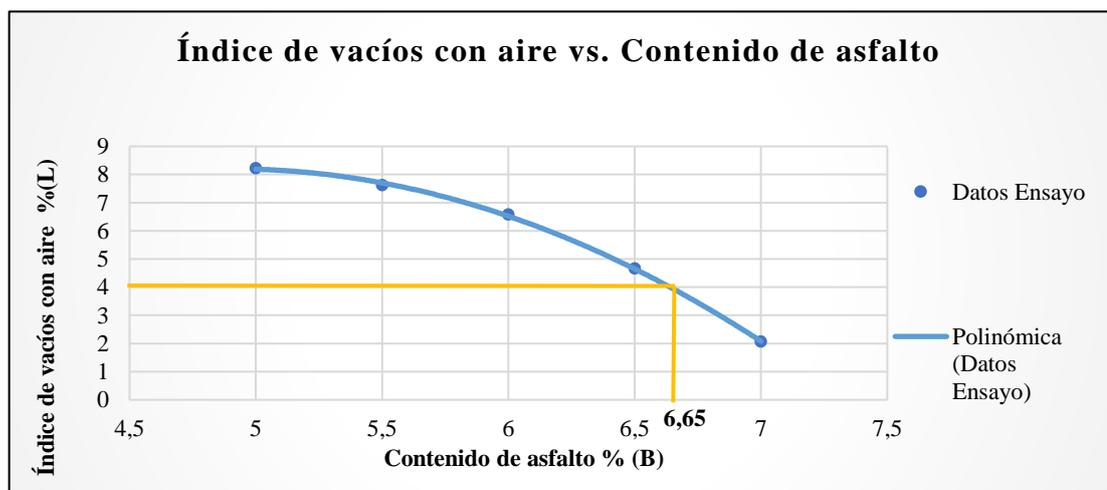
Figura N° 21: Peso específico Bulk vs. Contenido de asfalto



Interpretación: A medida que aumenta el porcentaje de asfalto, el peso específico Bulk aumenta, esto se debe a que al aumentar el asfalto en la mezcla y al compactarla se tiene menor cantidad de vacíos de aire.

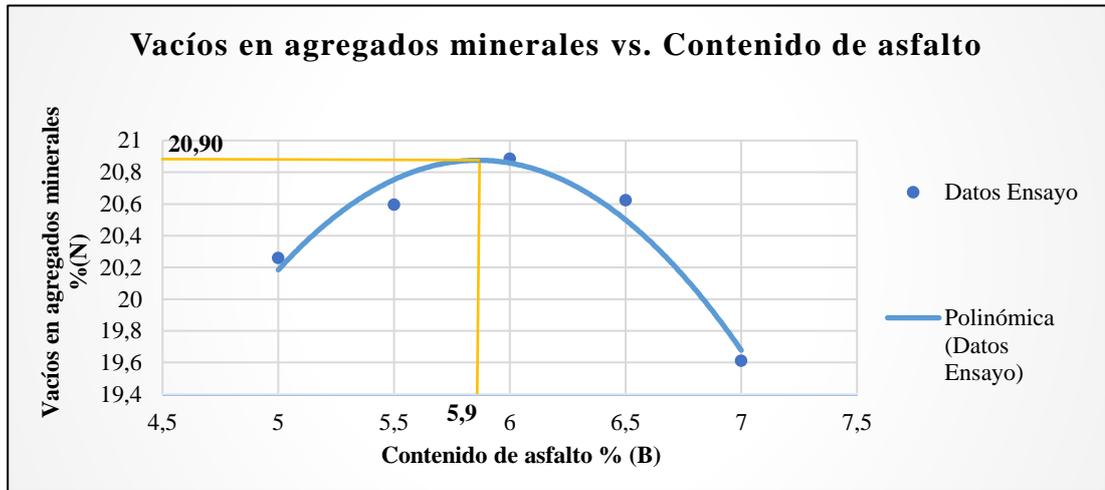
El valor de la gravedad específica Bulk fue de 2.15 g/cm³

Figura N° 22: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de asfalto



Interpretación: Dentro de la briqueta asfáltica, los vacíos son inversamente proporcionales a la cantidad de asfalto que se coloque.

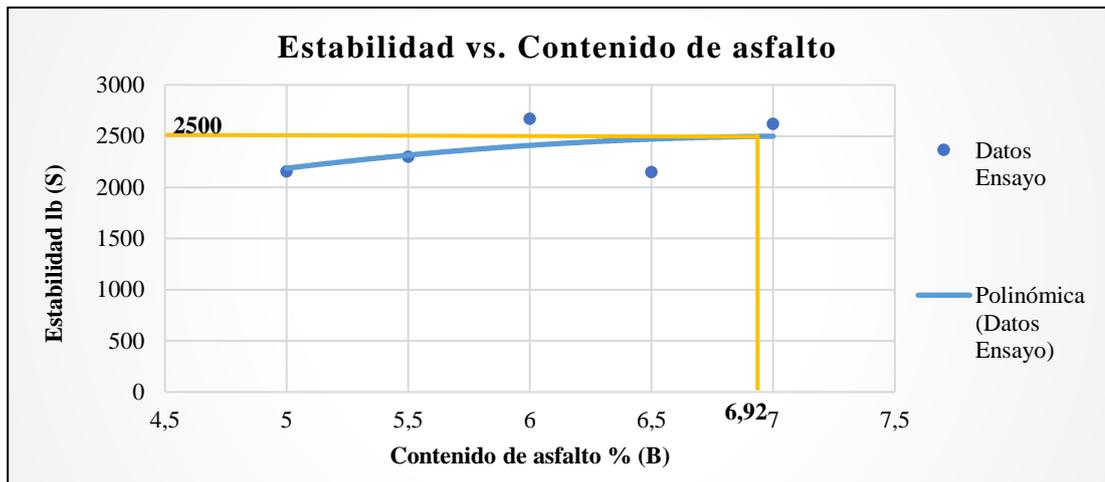
Figura N° 23: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de asfalto



Interpretación: Los vacíos en agregados minerales en la briqueta asfáltica tienden a disminuir a medida que se coloca una mayor cantidad de asfalto, esto se debe a que se produce una mejor compactación en la mezcla.

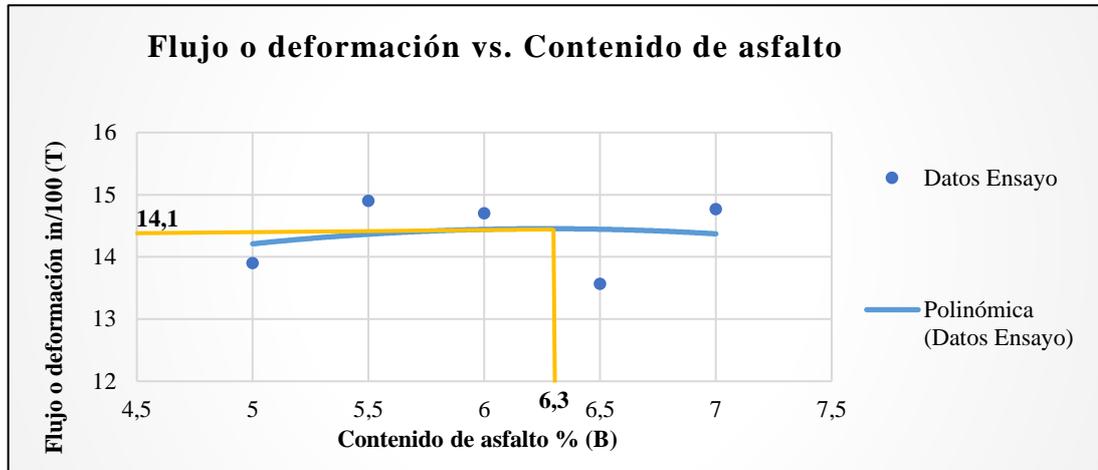
El valor de vacíos en agregados minerales fue de 20.90%.

Figura N° 24: Estabilidad vs. Contenido de asfalto



Interpretación: La estabilidad en la briqueta tiende a elevarse a medida que se aumenta la cantidad de asfalto, sin embargo, esto se produce hasta llegar a un punto máximo, después de este punto la estabilidad de las briquetas disminuye sin importar el aumento de asfalto en la mezcla. El valor de estabilidad para fue de 2500 lb.

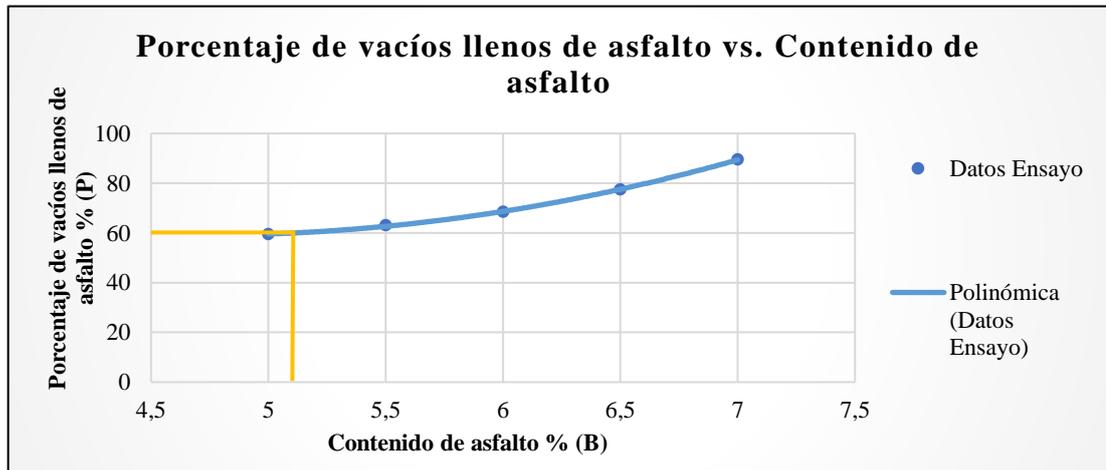
Figura N° 25: Flujo o deformación vs. Contenido de asfalto



Interpretación: El flujo en la briqueta asfáltica es directamente proporcional a la cantidad de asfalto que se coloque esto se debe a que, al aumentar el asfalto en la mezcla, esta se vuelve más flexible o deformable.

El valor de flujo o deformación fue de 14.1 pul/100.

Figura N° 26: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de asfalto



Interpretación: Los vacíos llenos con asfalto dentro de la briqueta son directamente proporcionales a la cantidad de asfalto.

El valor de vacíos llenos fue de 60 %.

Para determinar el contenido óptimo de la mezcla asfáltica convencional se toman en cuenta tres de las curvas representadas en los gráficos, a partir de los cuales se obtiene los contenidos de asfalto de acuerdo al siguiente detalle:

- El porcentaje de cemento asfáltico para la máxima densidad o peso específico: valor de 5.42 %
- El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde al 4% del índice de vacíos: valor de 6.65 %
- El porcentaje de cemento asfáltico que corresponde a la máxima estabilidad: valor de 6,92 %

El resultado del promedio de estos valores es **6.3%**, valor que equivale al porcentaje óptimo de asfalto para los agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones.

Tabla N.º 26: Contenido Óptimo de Asfalto de la Mezcla asfáltica convencional

Peso específico	5,42
4% del Índice de Vacíos	6,65
Estabilidad	6,9
Contenido Óptimo de Asfalto	6,3

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 27: Resultados obtenidos con porcentaje óptimo

% Asfalto	6,3
Densidad Bulk (gr/cm ³)	2,17
VA %	5,4
VAM %	20,7
Estabilidad (lb)	2450
Flujo (in/100)	14,42
VAF %	73,00

Fuente: Jonathan Castro

Fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica convencional

La fórmula maestra de trabajo indica las proporciones de agregados pétreos y de cemento asfáltico que se empleará para el diseño de la mezcla asfáltica, de los resultados obtenidos en el diseño de la mezcla asfáltica convencional empleando agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones de la ciudad de Ambato.

Tabla N.º 28: Fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica convencional

Fórmula maestra de trabajo mezcla Asfáltica Convencional		
Materiales	Porcentaje (%)	Peso (g)
Agregado Grueso	17	191,15
Agregado Intermedio	32	359,81
Agregado Fino	51	573,44
Cemento Asfáltico	6,3	75,6
	TOTAL	1200

Fuente: Jonathan Castro

3.1.7 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición del polímero Polietileno Tereftalato (PET)

Figura N° 27: Polímero Polietileno Tereftalato (PET)



Fuente: Jonathan Castro

3.1.7.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímero PET

- Se utilizará la misma granulometría empleada para la elaboración mezcla asfáltica convencional, detallada en la Tabla N.º3 pág.16 del presente documento.

3.1.7.2 Ensayo Rice mezcla con adición de polímero PET

En este ensayo se elaboraron briquetas con el **6.3%** de asfalto y diferentes porcentajes de polímero **Polietileno Tereftalato (PET)** botellas recicladas, se obtuvo los siguientes resultados:

Se presenta el cálculo típico correspondiente al valor más alto que corresponde al 1 % de polímero PET.

Tabla N.º 29: Ensayo Rice para el 1% de polímero PET

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 1% DE POLÍMERO PET GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10030
Peso muestra	A	g	960,2
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14650,4
Gmm	A/A-(E-D)		2,237

Fuente: Jonathan Castro

3.1.7.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición del polímero Polietileno Tereftalato (PET)

Tabla N° 30: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímero PET por el Método Marshall

N° Golpes:

75

Gravedad específica asf:

1,0239

Gravedad específica agregados para diseño:

2,564

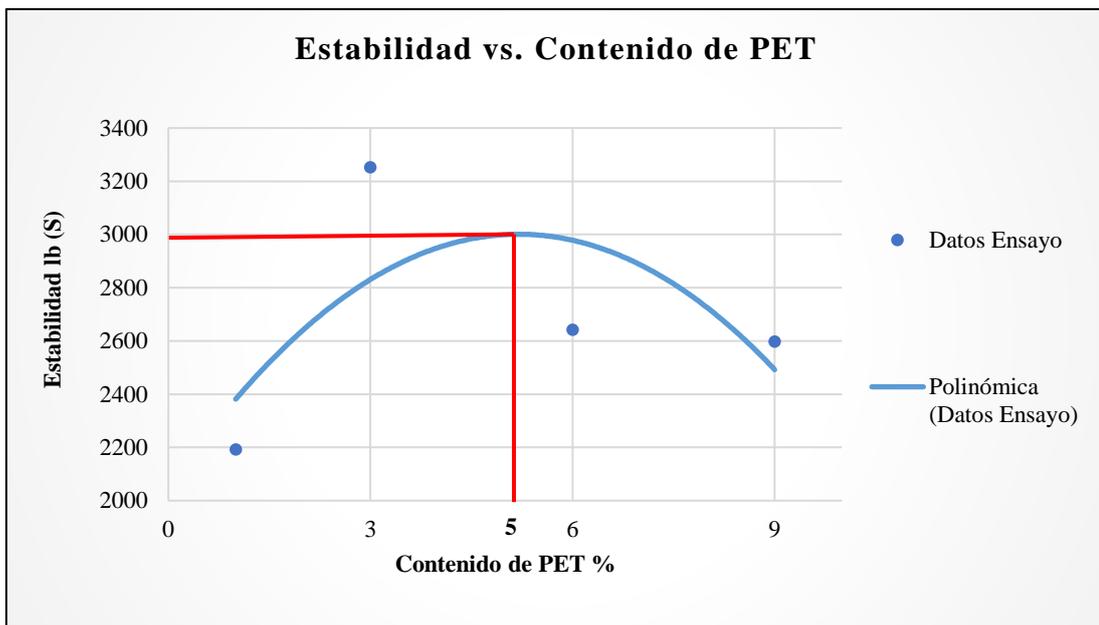
MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO PET (POLIETILENO TEREFTALATO)																							
MUESTRA N°	PET (POLIETILENO TEREFTALATO) %	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR PROBETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100			
				SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T				
							$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gast}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%CA - \frac{J * \%Agreg}{100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			$Q * R$				
1.1	1	6,3	6,65	1053,4	1073,0	549,0	2,010											1331,0	0,934	1243,154	17,30		
1.2			6,70	1087,8	1106,0	568,8	2,025												1757,8	0,923	1622,449	11,60	
1.3			6,70	1124,2	1134,0	587,0	2,055													2992,0	0,923	2761,616	12,50
PROMEDIO							2,030	2,342	2,237	-2,140	74,191	9,247	16,563	25,809	8,305	64,173			2192,033	12,050			
2.1	3	6,3	6,05	991,0	1002,4	513,6	2,027											1988,8	1,087	2161,826	14,80		
2.2			6,90	1165,2	1171,0	608,2	2,070												3709,2	0,877	3252,968	18,50	
2.3			6,75	1143,6	1147,4	597,0	2,078													3572,8	0,910	3251,248	15,20
PROMEDIO							2,059	2,342	2,204	-2,854	75,227	6,601	18,172	24,773	8,975	73,354			3252,108	16,850			
3.1	6	6,3	7,10	1068,2	1096,2	539,6	1,919											3091,0	0,839	2593,349	38,10		
3.2			7,10	1061,2	1089,8	541,6	1,936												3139,4	0,839	2633,957	41,30	
3.3			6,50	992,0	1013,2	503,2	1,945													2800,6	0,963	2696,978	30,90
PROMEDIO							1,933	2,342	2,199	-2,969	70,653	12,073	17,274	29,347	9,082	58,862			2641,428	36,767			
4.1	9	6,3	7,40	1130,8	1156,2	572,0	1,936											3979,8	0,792	3152,002	34,40		
4.2			7,30	1085,8	1111,0	550,2	1,936													1559,8	0,811	1264,998	31,70
4.3			7,05	1058,0	1082,0	532,2	1,924														2406,8	0,849	2043,373	35,70
PROMEDIO							1,932	2,342	2,026	-7,109	70,606	4,637	24,757	29,394	12,961	84,223			2597,687	35,050			

Fuente: Jonathan Castro

3.1.7.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con polímero Polietileno Tereftalato PET

Igualmente se realizó un análisis para interpretar los valores obtenidos:

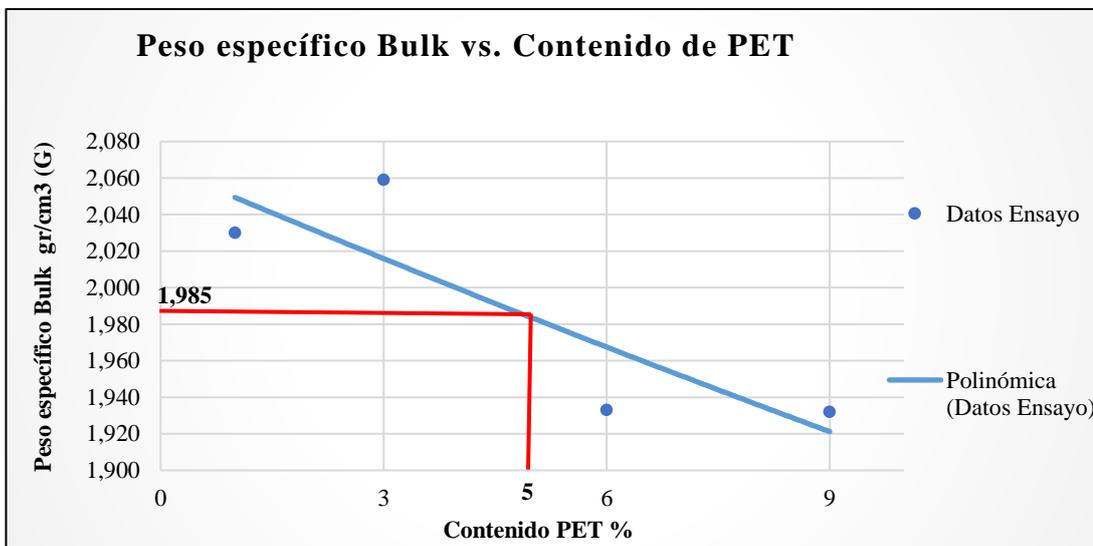
Figura N° 28: Estabilidad vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

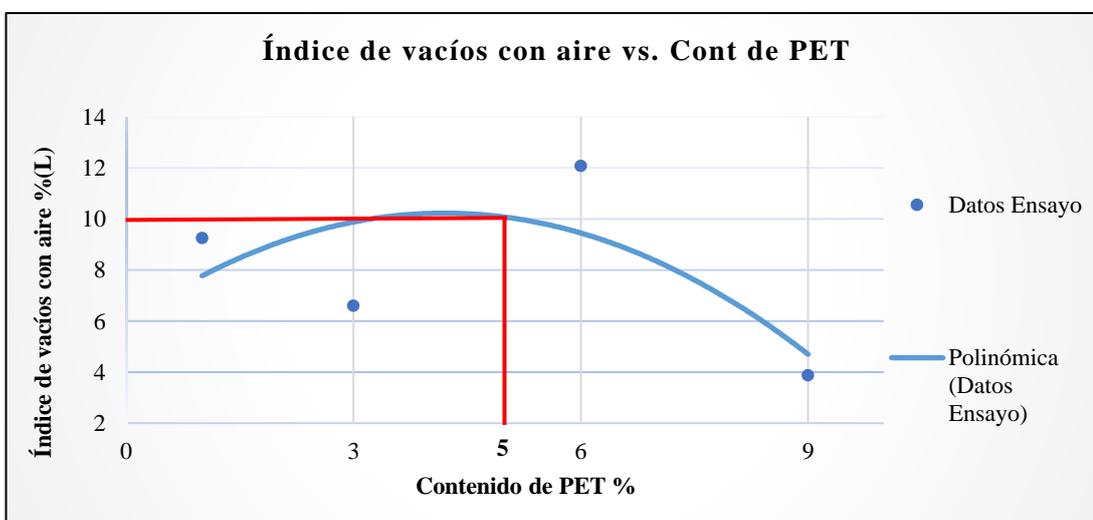
Interpretación: El porcentaje óptimo de PET se determina desde el punto más alto de la curva de Estabilidad vs. Contenido de PET, de esta manera se obtuvo, para un valor de estabilidad de 3000 lb, el porcentaje de PET fue de **5%**, siendo este el porcentaje óptimo de polímero para la mezcla.

Figura N° 29: Peso específico Bulk vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

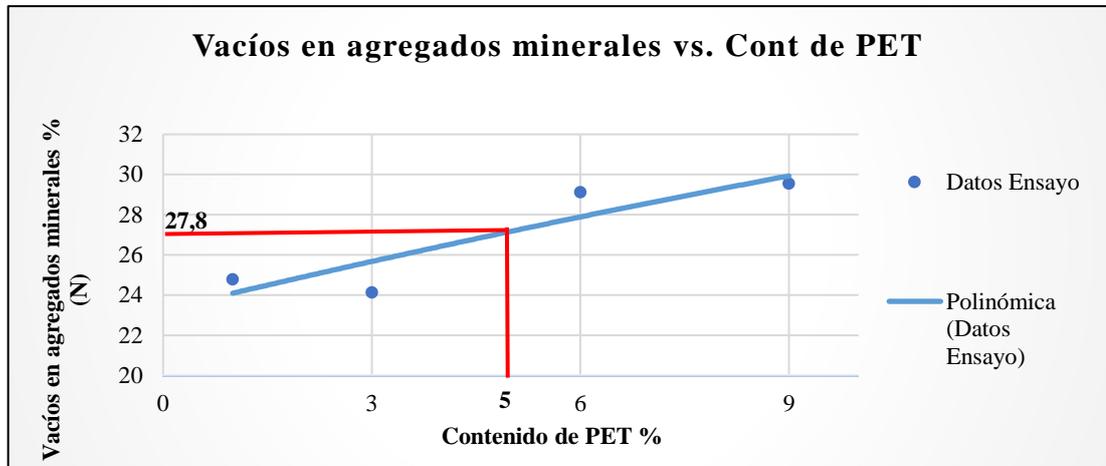
Figura N° 30: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: Existe una relación directamente proporcional entre el flujo y la cantidad de polímero PET hasta cierto porcentaje, pues empieza a descender la curva después del óptimo. Para una mezcla asfáltica con el 5% de PET el valor de índice de vacíos fue de 10%.

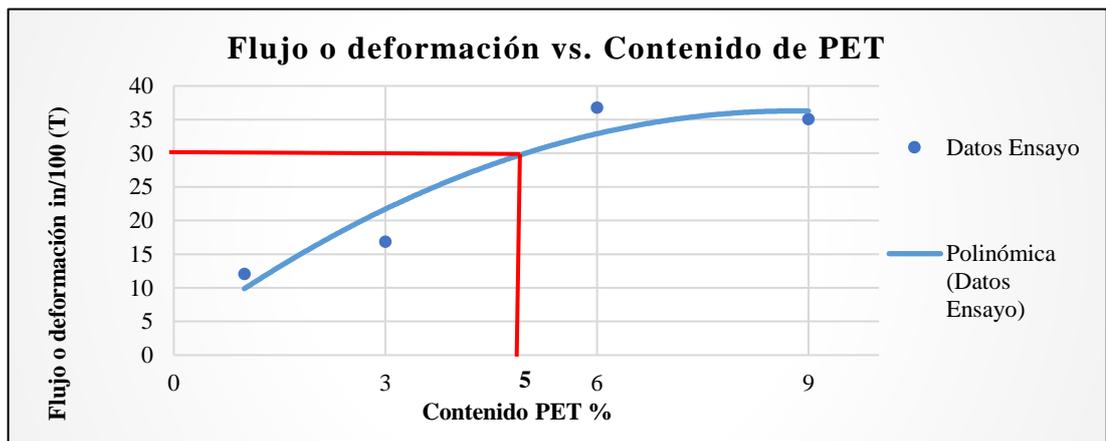
Figura N° 31: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: Los vacíos de agregado mineral (VAM) dentro de una briqueta modificada con plástico es directamente proporcional a la cantidad de PET que se coloque. Para una mezcla asfáltica con el 5% de PET el valor de VAM fue de 27.8%.

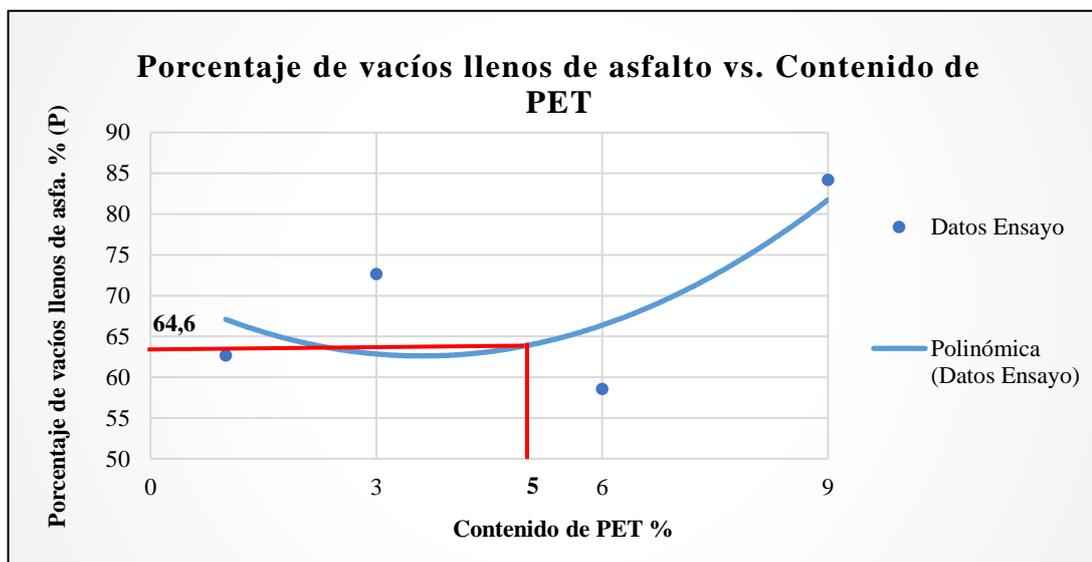
Figura N° 32: Flujo o deformación vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: El flujo en la briqueta es directamente proporcional a la cantidad de asfalto que se coloque. Para la mezcla asfáltica con el 5% de PET el flujo fue de 30 in/100.

Figura N° 33: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PET



Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: Existe una relación inversamente proporcional entre el flujo y la cantidad de polímero PET hasta cierto porcentaje, pues empieza a ascender la curva conforme aumenta el porcentaje de polímero. Para una mezcla asfáltica con el 5% de VAF fue de 64.6%.

De esta manera, los valores obtenidos con el porcentaje óptimo de polímero PET son:

Tabla N.º 31: Resultados con porcentaje óptimo de PET

% Asfalto	6,3
% PET	5
Densidad Bulk (gr/cm ³)	1,985
VA %	10
VAM %	27,8
Estabilidad (lb)	3000
Flujo (in/100)	30
VAF %	64,6

Fuente: Jonathan Castro

Se considera que los valores obtenidos vienen relacionados directamente de las gráficas que se generaron a partir de los datos obtenidos en los ensayos anteriores.

3.1.8 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición del polímero Polipropileno (PP)

Figura N° 34: Polímero Polipropileno (PP)



Fuente: Jonathan Castro

3.1.8.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímero PP

- Se utilizará la misma granulometría empleada para la elaboración mezcla asfáltica convencional, detallada en la Tabla N.º3 pág.16 del presente documento.

3.1.8.2 Ensayo Rice mezcla asfáltica con adición de polímero PP

En este ensayo se elaboraron briquetas con el **6.3%** de asfalto y diferentes porcentajes de polímero **Polipropileno (PP)** tapones plásticos reciclados, se obtuvo los siguientes resultados:

Se presenta el cálculo típico correspondiente al valor más alto que corresponde al 1 % de polímero PP.

Tabla N.º 32: Ensayo Rice para el 1% de polímero PP

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</p> <p style="text-align: center;">CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL</p> 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 1% DE POLÍMERO PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10317,8
Peso muestra	A	g	1248
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	E	g	14810,2
Gmm	A/A-(E-D)		2,240

Fuente: Jonathan Castro

3.1.8.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición del polímero Polipropileno (PP)

Tabla N° 33: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímero PP por el Método Marshall

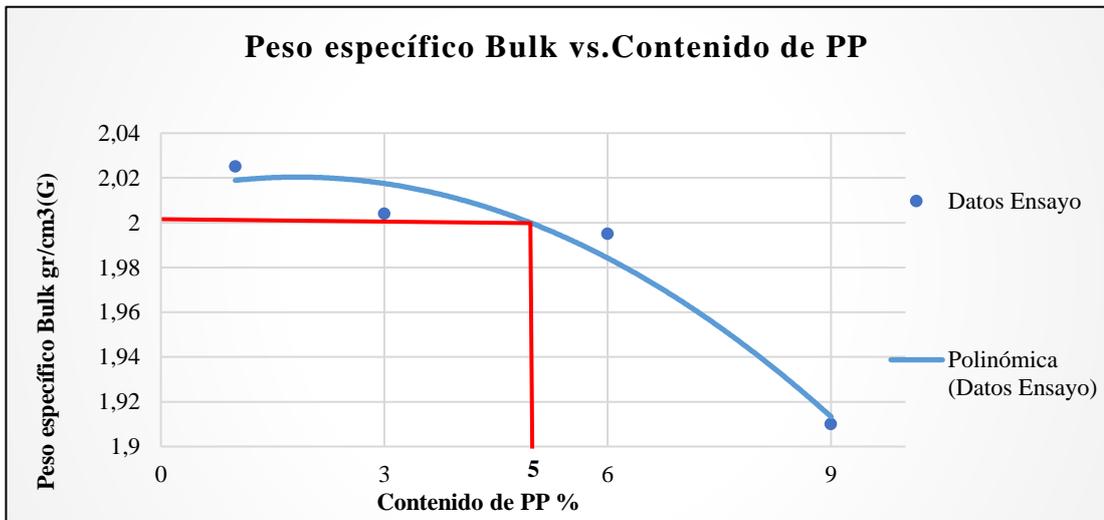
N° Golpes: 75 Gravedad específica asfalto: 1,0239 Gravedad específica agregados para diseño: 2,564

MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO PP(POLIPROPILENO)																							
MUESTRA N°	PP (POLIPROPILENO) %	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR PROBETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100			
				SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA				
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T				
							$\frac{D}{E - F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gast}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I - H) * 10^4}{I * H * \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg * G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) * 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\frac{J * \%Agreg}{\%CA * 100}$	$\frac{N - L}{N} * 100$			$Q * R$				
1,1	1	6,3	7,20	1182,6	1200,8	621,4	2,041												4142,6	0,824	3413,502	24,00	
1,2			7,60	1244,6	1269,6	651,8	2,015													4111,8	0,763	3137,303	22,60
1,3			7,40	1186	1206,2	619,2	2,020													4756,4	0,792	3767,069	26,80
PROMEDIO							2,025	2,342	2,240	-2,083	74,016	9,570	16,414	25,984	8,251	63,170			3439,292	24,467			
2,1	3	6,3	7,15	1160,4	1175,4	601,8	2,023												5682,6	0,830	4716,558	19,20	
2,2			6,30	1019,6	1035,0	529,4	2,017													5167,8	1,013	5234,981	13,60
2,3			7,07	1099,4	1117,4	559,8	1,972													5546,2	0,845	4686,539	23,50
PROMEDIO							2,004	2,342	2,192	-3,128	73,226	8,571	18,203	26,774	9,231	67,988			4879,359	18,767			
3,1	6	6,3	6,70	1105,6	1113,4	572,2	2,043												8133,4	0,923	7507,128	26,90	
3,2			6,70	1062,8	1082,6	546,2	1,981													4622,2	0,923	4266,291	16,10
3,3			7,05	1074,2	1094	546,2	1,961													5330,6	0,849	4525,679	45,30
PROMEDIO							1,995	2,342	2,164	-3,750	72,908	7,807	19,285	27,092	9,813	71,183			4395,985	30,700			
4,1	9	6,3	6,60	1044,4	1049,6	519,8	1,971												8159,8	0,943	7694,691	25,80	
4,2			6,70	995,0	1009,2	488,2	1,910													7264,4	0,923	6705,041	47,20
4,3			7,15	971,2	996,4	471,0	1,848													4734,4	0,830	3929,552	50,40
PROMEDIO							1,910	2,342	2,057	-6,315	69,795	7,153	23,052	30,205	12,217	76,319			6109,762	41,133			

3.1.8.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con adición de polímero Polipropileno (PP)

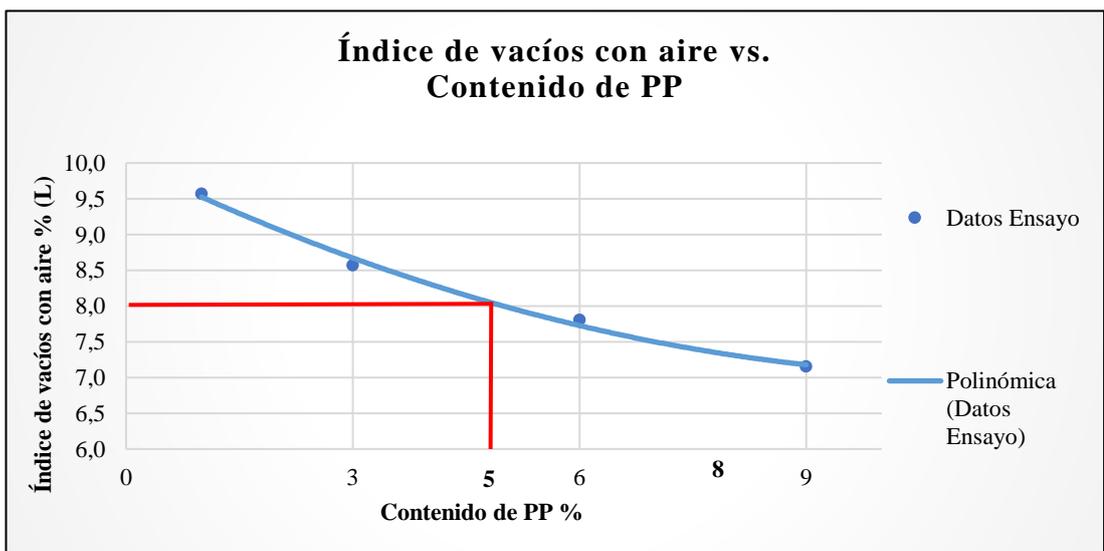
De la misma manera, se realizó las mismas interpretaciones de las gráficas para la mezcla asfáltica con polímero PP:

Figura N° 35: Peso específico Bulk vs. Contenido PP



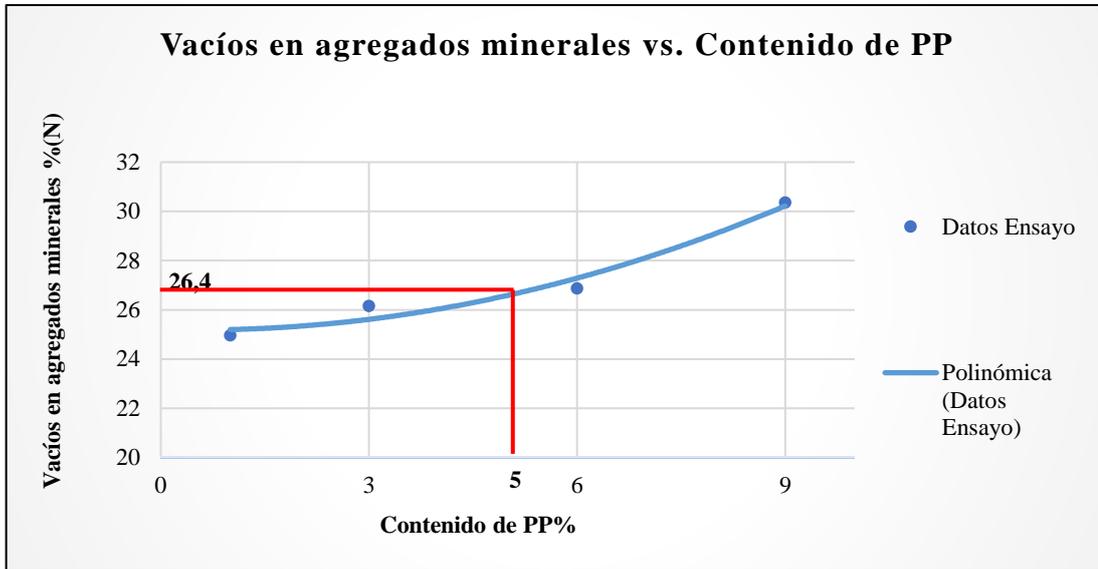
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 36: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PP



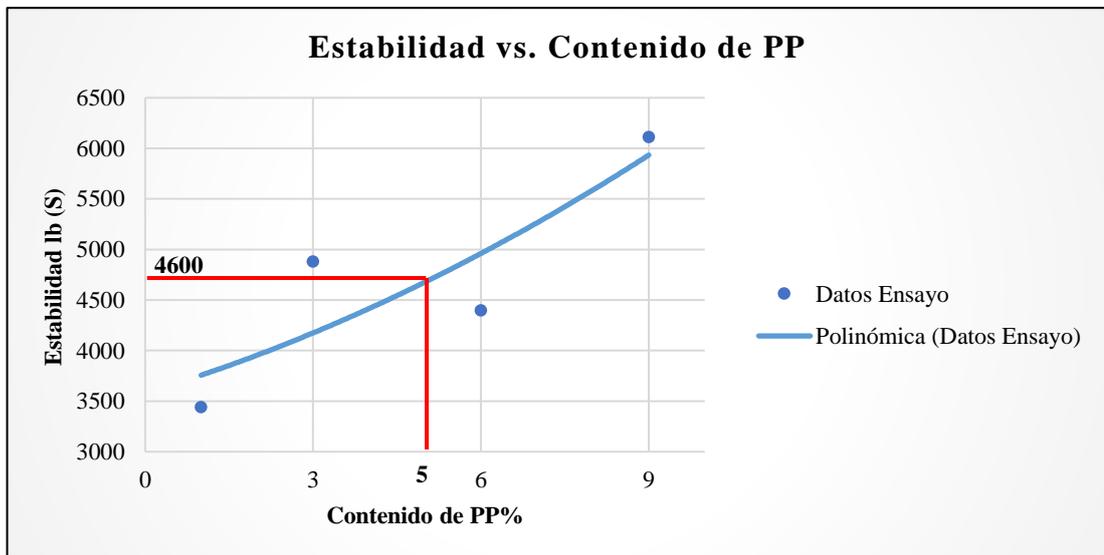
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 37: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PP



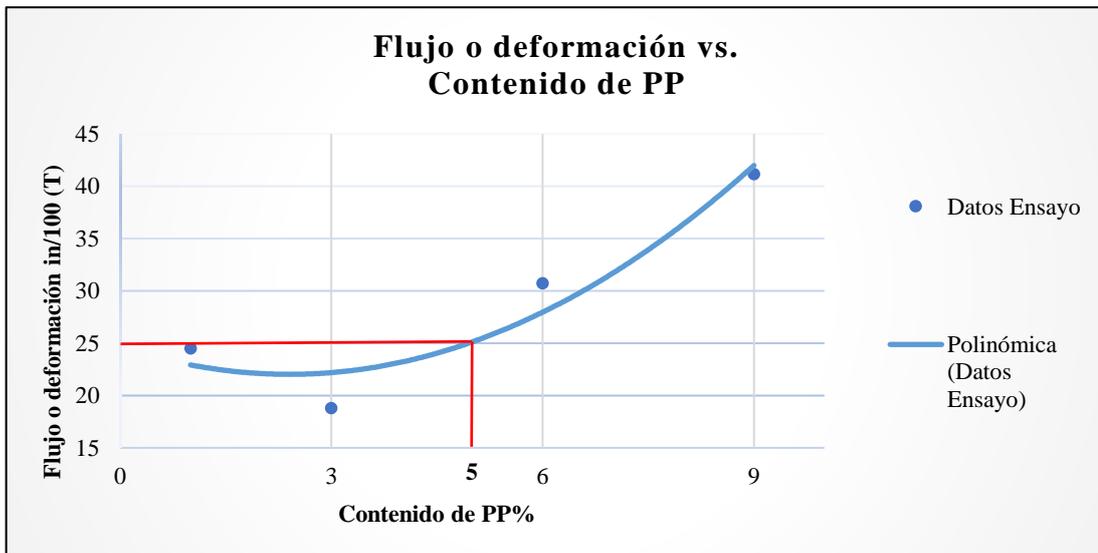
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 38: Estabilidad vs. Contenido de PP



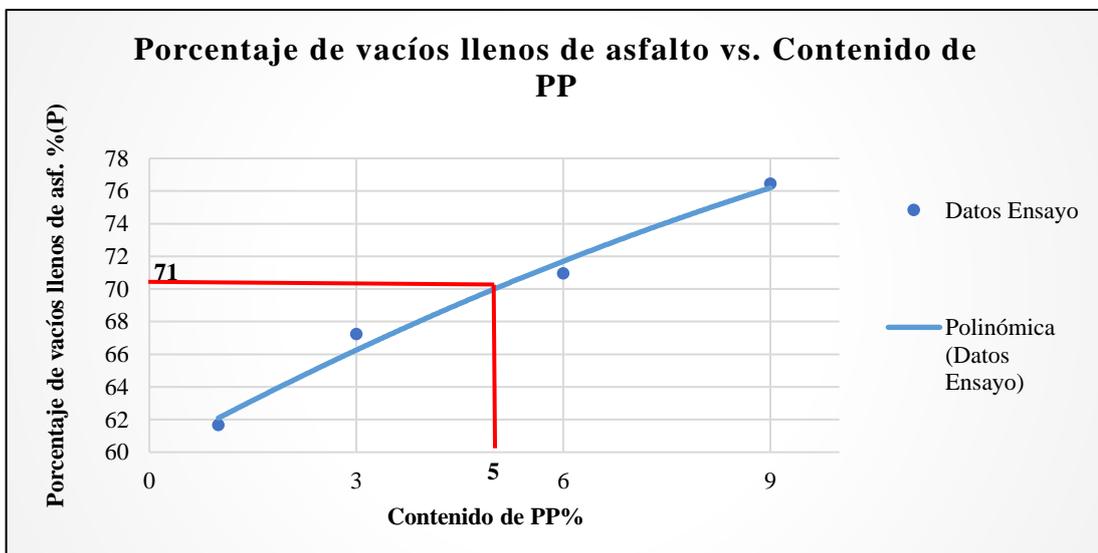
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 39: Flujo o deformación vs. Contenido de PP



Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 40: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PP



Fuente: Jonathan Castro

De igual manera, el porcentaje óptimo de PP se determina desde el punto más alto de la curva de Estabilidad vs. Contenido de PP, de esta manera se obtuvo, para un valor de estabilidad de 4600 lb, el porcentaje de PP es **5%**, siendo este el porcentaje óptimo de polímero para la mezcla.

De esta manera, los valores obtenidos con el porcentaje óptimo de polímero PP son:

Tabla N.º 34: Resultados con porcentaje óptimo de PP

% Asfalto	6,3
% PP	5
Densidad Bulk (gr/cm ³)	2,00
VA %	8,00
VAM %	26,4
Estabilidad (lb)	4600
Flujo (in/100)	25
VAF %	71

Fuente: Jonathan Castro

3.1.9 Análisis de los ensayos en la mezcla asfáltica con adición de polímeros Polietileno Tereftalato (PET) - Polipropileno (PP)

3.1.9.1 Granulometría para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET-PP

- Se utilizará la misma granulometría empleada para la elaboración mezcla asfáltica convencional, detallada en la Tabla N.º3 pág.16 del presente documento.

3.1.9.2 Ensayo Rice mezcla asfáltica con adición de polímeros PET-PP

En este ensayo se elaboraron briquetas con el **6.3%** de asfalto y diferentes porcentajes de los polímeros **Polietileno Tereftalato (PET) - Polipropileno (PP)**, se obtuvo los siguientes resultados:

Se presenta el cálculo típico correspondiente al valor más alto que corresponde al 1 % de polímeros PET-PP

Tabla N.º 35: Ensayo Rice para el 1% de polímero PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 1% DE POLÍMEROS PET- PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10159,8
Peso muestra	A	g	1090
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14718
Gmm	A/A-(E-D)		2,218

Fuente: Jonathan Castro

3.1.9.3 Análisis del Ensayo Marshall en las briquetas de mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP

Tabla N.º 36: Diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP por el Método Marshall

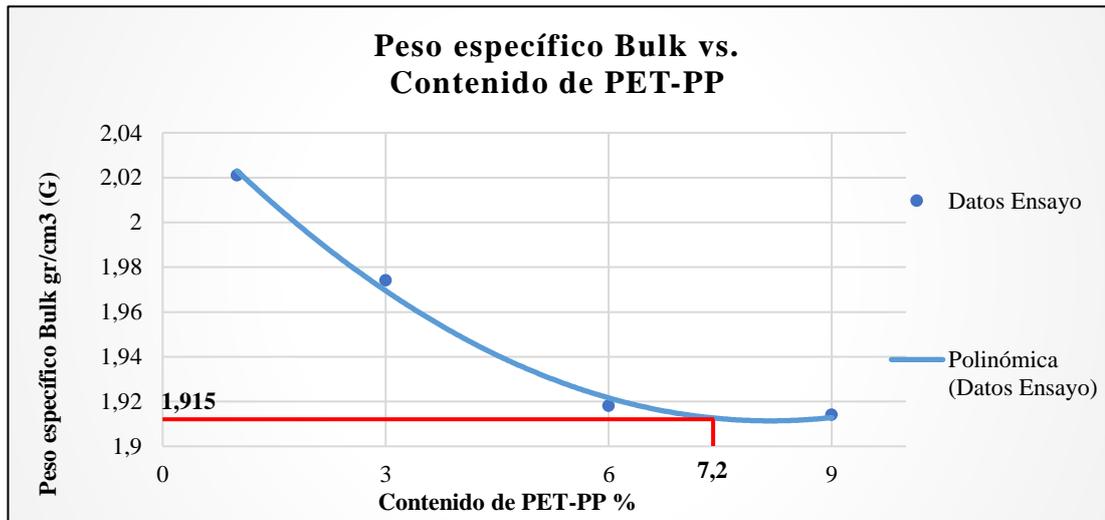
MÉTODO MARSHALL-DISEÑO MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMEROS PET-PP (POLIETILENO TEREFALATO-POLIPROPILENO)																					
MUESTRA Nº	PET - PP) %	CEMENTO ASFÁLTICO(%)	ESPESOR PROBETA(cm)	PESO EN GRAMOS			PESO ESPECÍFICO (gr/cm³)			ASFALTO ABSORBIDO %	VOLUMEN % TOTAL			VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	% DE VACÍOS LLENOS DE ASFALTO	ESTABILIDAD EN LIBRAS			FLUJO pulg/100	
				SECA EN AIRE	S.S.S EN AIRE	EN AGUA	BULK(gb)	MÁXIMO TEÓRICO	MÁXIMO MEDIDO		AGREGADO	VACÍOS CON AIRE	ASFALTO EFECTIVO				LECTURA DIAL	FACTOR CORRECCIÓN	ESTABILIDAD CORREGIDA		
A		B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
							$\frac{D}{E-F}$	$\frac{100}{\frac{\%Agreg}{Gagr} + \frac{\%CA}{Gmf}}$	MÉTODO RICE	$\frac{(I-H) \cdot 10^4}{I \cdot H \cdot \%Agreg}$	$\frac{\%Agreg \cdot G}{Gagr}$	$(1 - \frac{G}{I}) \cdot 100$	$100 - K - L$	$100 - K$	$\%CA \cdot \frac{1 + \%Agreg}{100}$	$\frac{N-L}{N} \cdot 100$			$Q \cdot R$		
1,1	1	6,3	6,4	1047,4	1060,0	544,2	2,031										3958	0,988	3910,306	18,70	
1,2			6,70	1087,6	1105,4	571,8	2,038											3854	0,923	3557,611	16,10
1,3			6,80	1071,2	1096,0	558,6	1,993												3340	0,898	2998,961	28,60
PROMEDIO							2,021	2,342	2,118	-4,821	73,846	4,593	21,561	26,154	10,817	82,439			3488,959	21,133	
2,1	3	6,3	7,60	1114,8	1145,4	575,8	1,957										2798	0,763	2135,179	29,20	
2,2			7,05	1093,4	1117,2	564,6	1,979											4750	0,849	4032,580	25,50
2,3			7,20	1085,8	1117,6	570,6	1,985											1362	0,824	1122,123	16,20
PROMEDIO							1,974	2,342	2,176	-3,489	72,124	9,280	18,595	27,876	9,569	66,708			3083,880	27,350	
3,1	6	6,3	7,55	1065,0	1096,4	533,6	1,892										1124	0,769	864,510	32,90	
3,2			7,55	1082,6	1112,8	557,6	1,950											2431	0,769	1869,439	21,30
3,3			6,95	982,6	1016,0	502,4	1,913											1355	0,868	1176,314	20,30
PROMEDIO							1,918	2,342	2,166	-3,709	70,110	11,420	18,471	29,890	9,775	61,795			1522,876	20,800	
4,1	9	6,3	7,25	969,4	997,6	492,0	1,917										2576	0,818	2107,332	33,10	
4,2			7,10	1001,8	1030,2	507,2	1,915											3357	0,839	2816,691	29,20
4,3			6,90	962,4	993,6	489,6	1,910											2374	0,877	2081,823	40,70
PROMEDIO							1,914	2,342	2,132	-4,485	69,950	10,228	19,822	30,050	10,503	65,962			2094,577	36,900	

Fuente: Jonathan Castro

3.1.9.3.1 Contenido Óptimo de polímero de la mezcla asfáltica con adición de Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP)

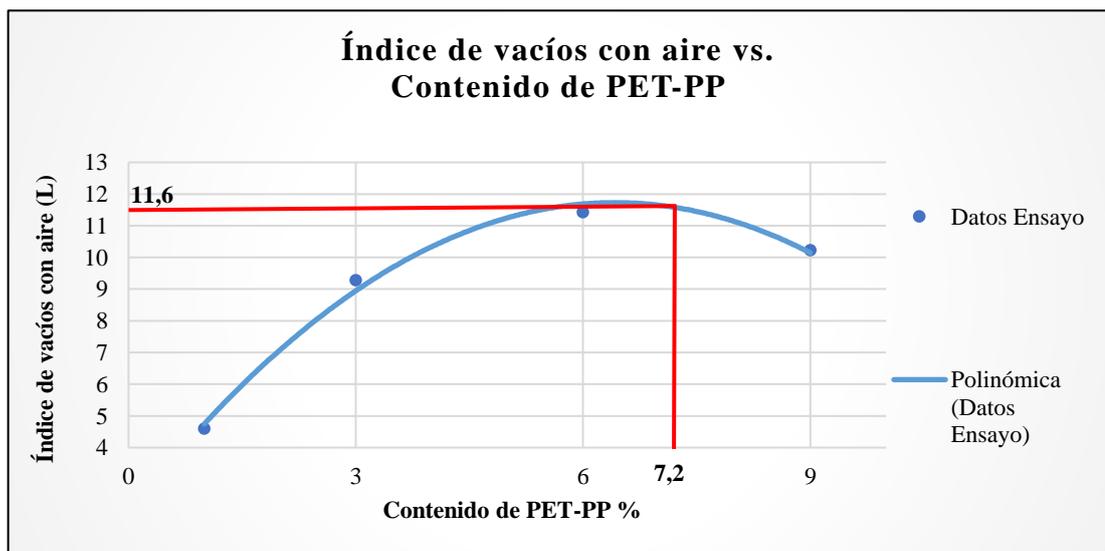
Tal como los anteriores literales, se realizó las mismas interpretaciones de las gráficas para la mezcla asfáltica con polímeros PET-PP:

Figura N° 41: Peso específico Bulk vs. Contenido de PET-PP



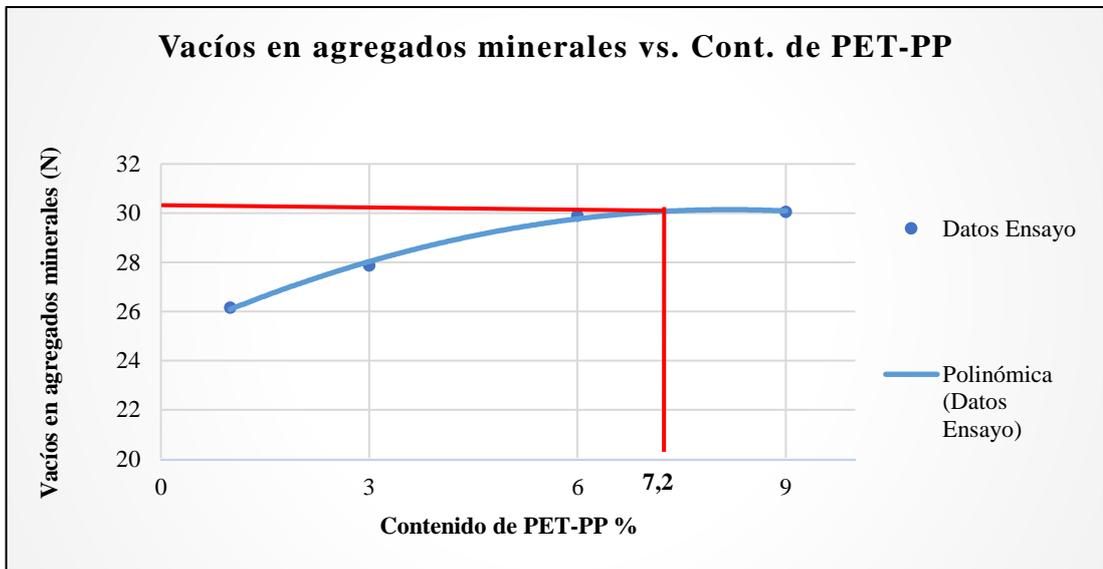
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 42: Índice de vacíos con aire vs. Contenido de PET-PP



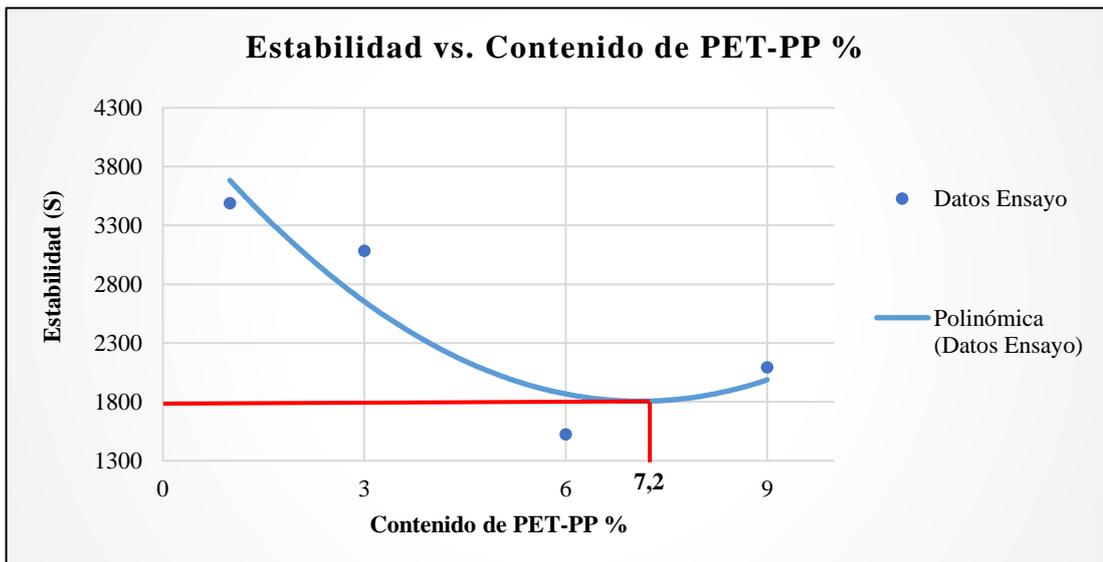
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 43: Vacíos en agregados minerales vs. Contenido de PET-PP



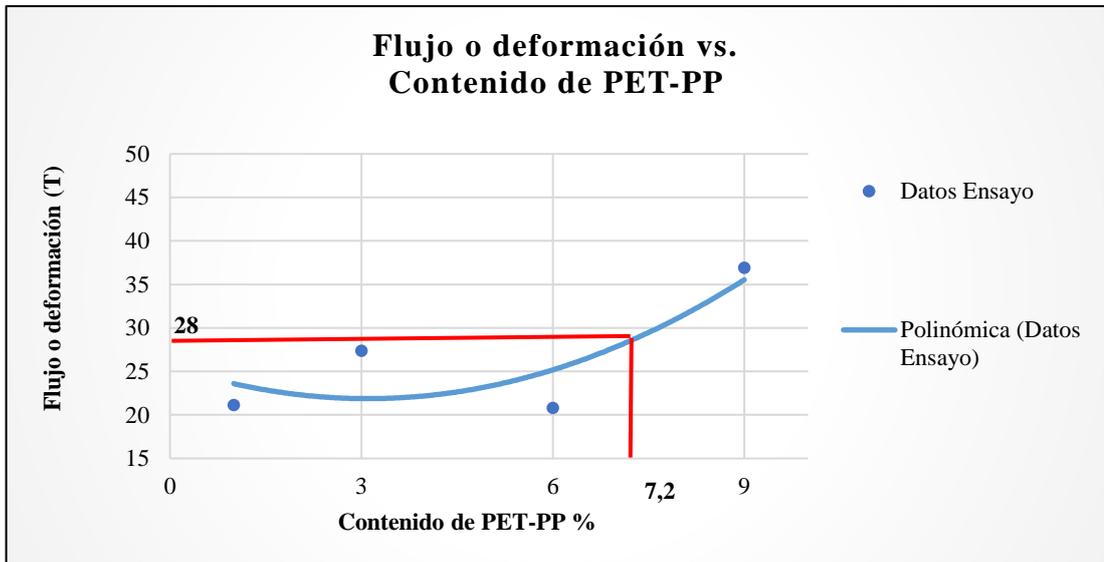
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 44: Estabilidad vs. Contenido de PET-PP



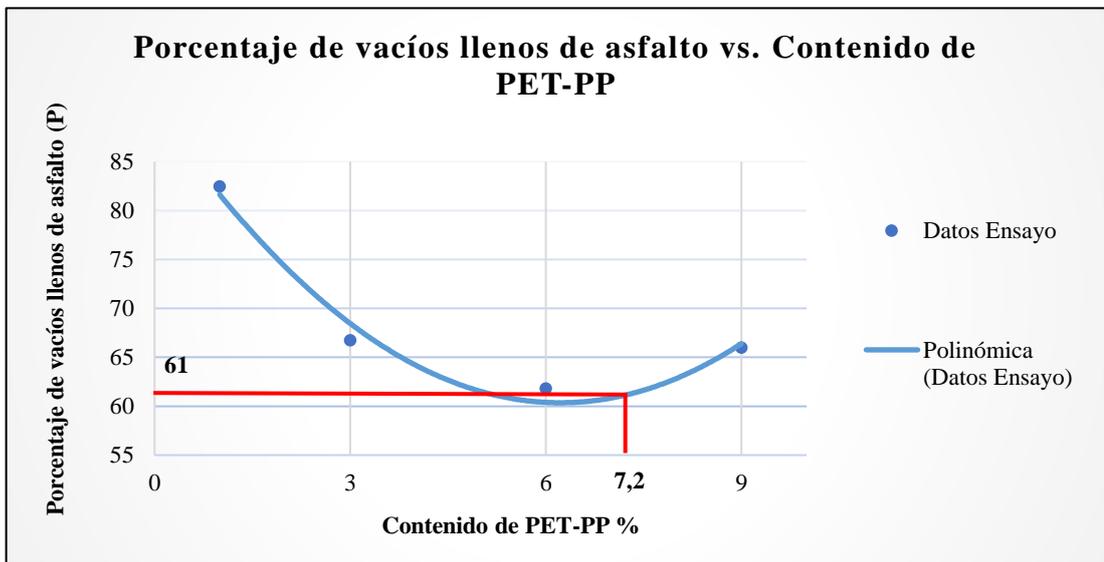
Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 45: Flujo o deformación vs. Contenido de PET-PP



Fuente: Jonathan Castro

Figura N° 46: Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs. Contenido de PET-PP



Fuente: Jonathan Castro

Asimismo, el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET - PP se determina desde el punto más alto de la curva de Estabilidad vs. Contenido de PET y PP, de esta manera se obtuvo, para un valor de estabilidad de 1800 lb, el porcentaje de PET - PP es **7.2%**, siendo este el porcentaje óptimo de polímero para la mezcla.

De esta manera, los valores obtenidos con el porcentaje óptimo de polímeros PET- PP son:

Tabla N.º 40: Resultados con porcentaje óptimo de PET-PP

% Asfalto	6,3
% PET-PP	7,2
Densidad Bulk (gr/cm ³)	1,915
VA %	11,6
VAM %	30
Estabilidad (lb)	1800
Flujo (in/100)	28
VAF %	61

Fuente: Jonathan Castro

Fórmula maestra de trabajo para la mezcla asfáltica con adición de polímeros

De los resultados obtenidos a partir del diseño de la mezcla asfáltica convencional empleando agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones de la ciudad de Ambato se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto que es el 6.3%, se realizó mezclas asfálticas con adición de polímeros PET, PP y PET-PP respectivamente y se determinó la fórmula maestra de trabajo para cada mezcla.

Tabla N.º 41: Fórmula maestra de trabajo para mezclas asfálticas con adición de polímeros

Fórmula maestra de trabajo mezcla Asfáltica con adición de polímero		
Polímero PET		
Materiales	Porcentaje (%)	Peso (g)
Agregado Grueso	17	191,15
Agregado Intermedio	32	359,81
Agregado Fino	46	517,224
Cemento Asfáltico	6,3	75,6
PET	5	56,22
Polímero PP		
Agregado Grueso	17	191,15
Agregado Intermedio	32	359,81
Agregado Fino	46	517,224
Cemento Asfáltico	6,3	75,6
PP	5	56,22
Polímero PET-PP		
Agregado Grueso	17	191,15
Agregado Intermedio	32	359,81
Agregado Fino	43,8	492,487
Cemento Asfáltico	6,3	75,6
PET-PP	7,2	79,16

Fuente: Jonathan Castro

3.1.10 Análisis de los resultados

3.1.10.1 Análisis de los resultados de la mezcla asfáltica convencional

Se realiza un análisis con los resultados obtenidos de los ensayos para determinar las propiedades físico – mecánicas de la mezcla asfáltica convencional con el 6.3% de cemento asfáltico, para ello, en el literal 3.1.6, se elaboró tablas y gráficos que muestran los diferentes valores obtenidos.

El valor de estabilidad 2450 lb.

El valor del Flujo es 14.42 (1/100 in)

El valor de índice de vacíos con aire es 5.4%.

El valor de Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (V.F.A) es 73.

El valor de Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (V.M.A) es de 20,7 %.

Tabla N.º 42: Comparación de criterios para la mezcla convencional por el Método Marshall

Criterios para la mezcla del Método Marshall	Tráfico Pesado Carpeta y Base		Mezcla asfáltica convencional 6.3% cemento asfáltico	
	MÍN	MÁX	DATO	CRITERIO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	75		75	CUMPLE
Estabilidad lb	1800		2450	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm (0,01 in)	8	16	14,42	CUMPLE
Porcentaje de vacíos	3	5	5,4	CUMPLE
Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla granulometría 1/2"		20,7	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65	75	73	CUMPLE

Fuente: Jonathan Castro

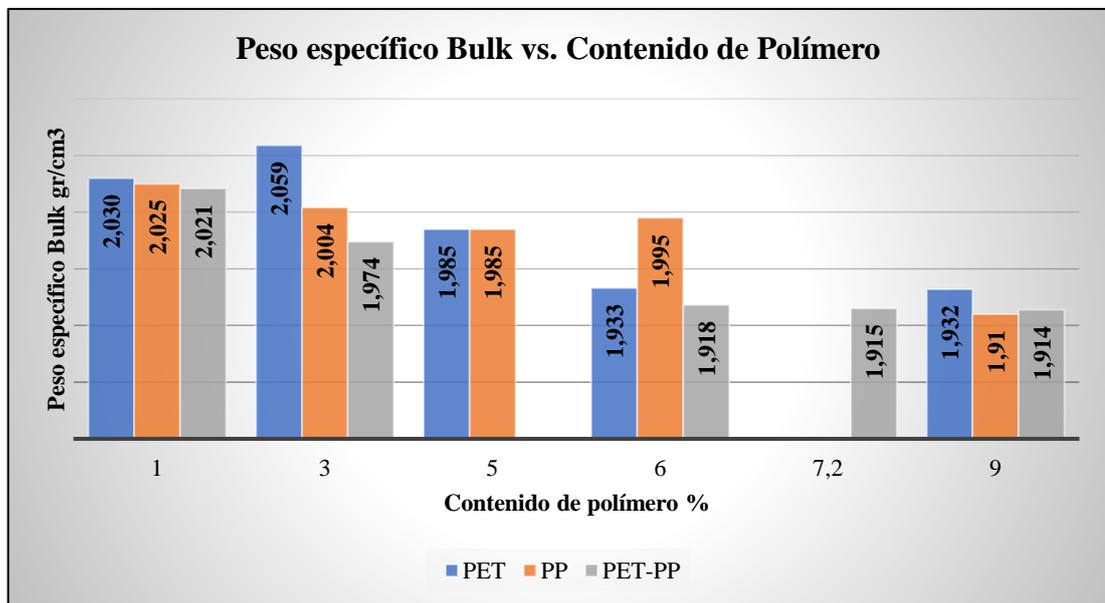
3.1.10.2 Análisis de los resultados de la mezcla asfáltica con adición de polímeros

Con el porcentaje óptimo de asfalto 6.3%, se realizó mezclas asfálticas con adición de diferentes porcentajes de polímeros 1%,3%,6%9% de Polietileno Tereftalato (PET), Polipropileno (PP) y PET-PP y ensayarlas mediante el ensayo Marshall.

En los literales 3.1.7 al 3.1.9, mediante gráficos y tablas de muestran los resultados obtenidos.

A continuación, mediante gráficos comparativos se visualizan los valores obtenidos de cada una de las mezclas asfálticas con adición de polímeros para luego determinar si cumplen los criterios establecidos para el diseño de la mezcla asfáltica por el Método Marshall Tabla N.º 9 pág. 42.

Figura N° 47: Comparación de resultados de peso específico Bulk de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

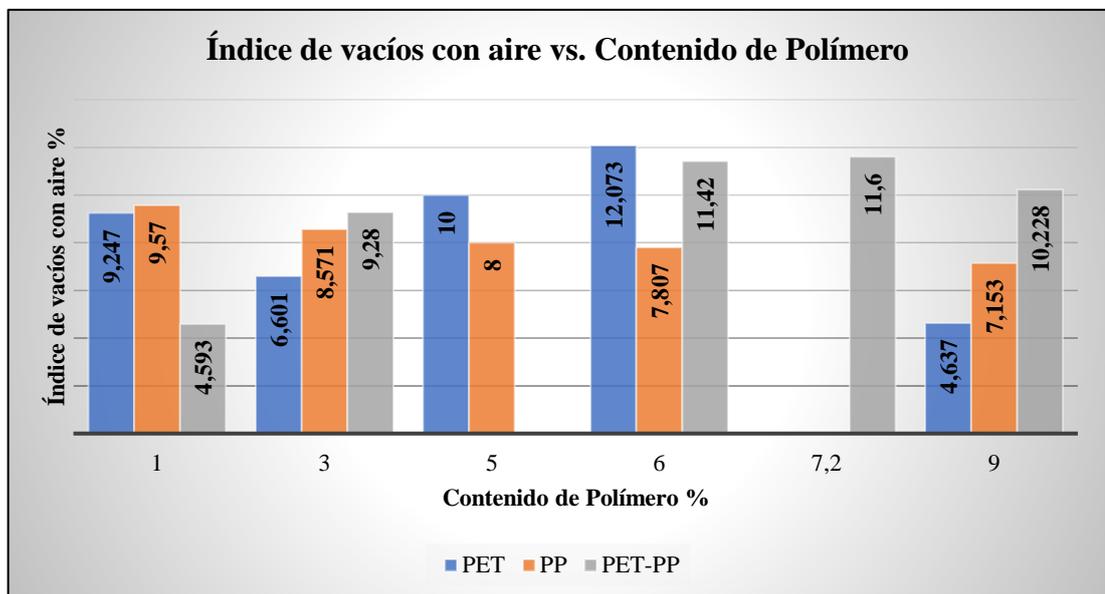
Interpretación: Se observó que el valor más alto de peso específico Bulk se presenta en la mezcla asfáltica con adición de 3% de polímero PET, con un valor de 2.059 g/cm³, esto concluye en que, a mayor densidad, serán más compresibles, más impermeables y más fáciles de trabajar en obra.

El valor de la gravedad específica Bulk para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 1.985 g/cm³.

El valor de la gravedad específica Bulk para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 2.00 g/cm³.

El valor de la gravedad específica Bulk para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 1.915 g/cm³.

Figura N° 48: Comparación de resultados de Índice de vacíos con aire de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

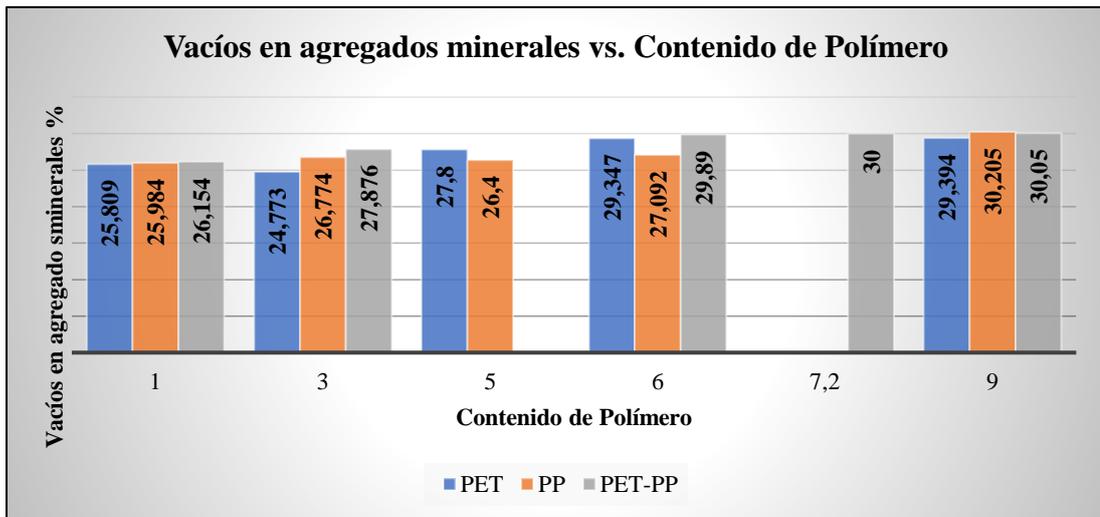
Interpretación: Se observó que el 83% de los valores no cumplen con el límite permitido por la MOP-001-F 2002 mismo que es 3-5% para tráfico pesado, estos valores de vacíos de aire demasiado altos generan huecos en la mezcla permitiendo el paso de agua y aire hacia su interior lo que provoca el deterioro de la misma.

El valor del índice de vacíos para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 10%.

El valor del índice de vacíos para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 8%.

El valor del índice de vacíos para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 11.6%.

Figura N° 49: Comparación de resultados de Vacíos en agregados minerales de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

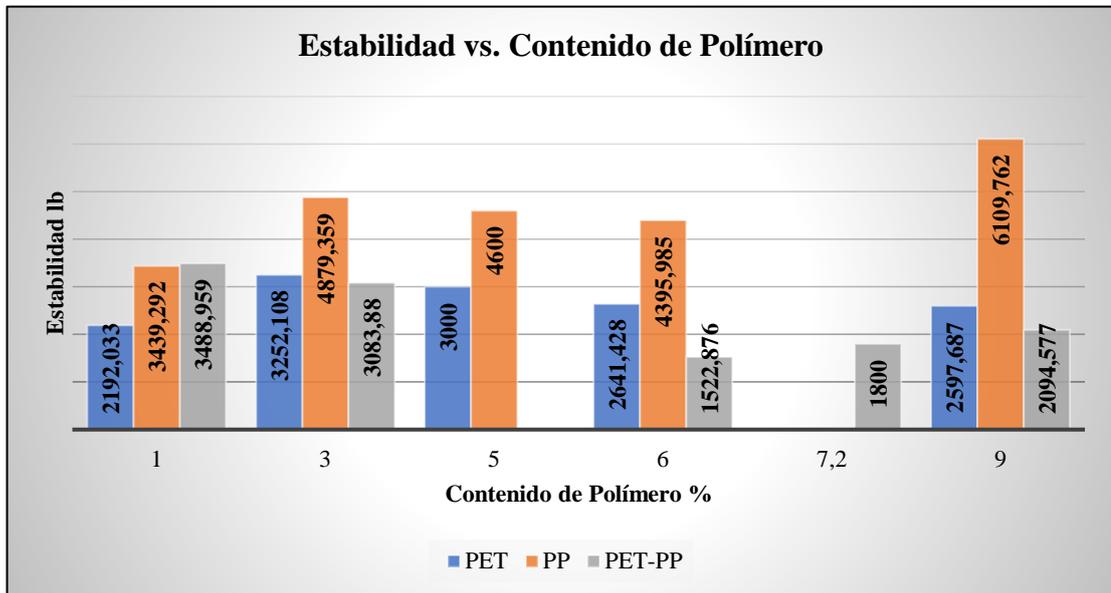
Interpretación: Se observó que en todas de mezclas asfálticas con adición de diferentes porcentajes de polímero se obtuvo valores muy altos en comparación al valor requerido por la MOP-001- F 2002 de 14%, para un máximo tamaño de partícula nominal 1/2”.

El valor de vacíos en agregados minerales para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 27.8%.

El valor de vacíos en agregados minerales para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 26.4%.

El valor de vacíos en agregados minerales para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 30%.

Figura N° 50: Comparación de resultados de Estabilidad de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

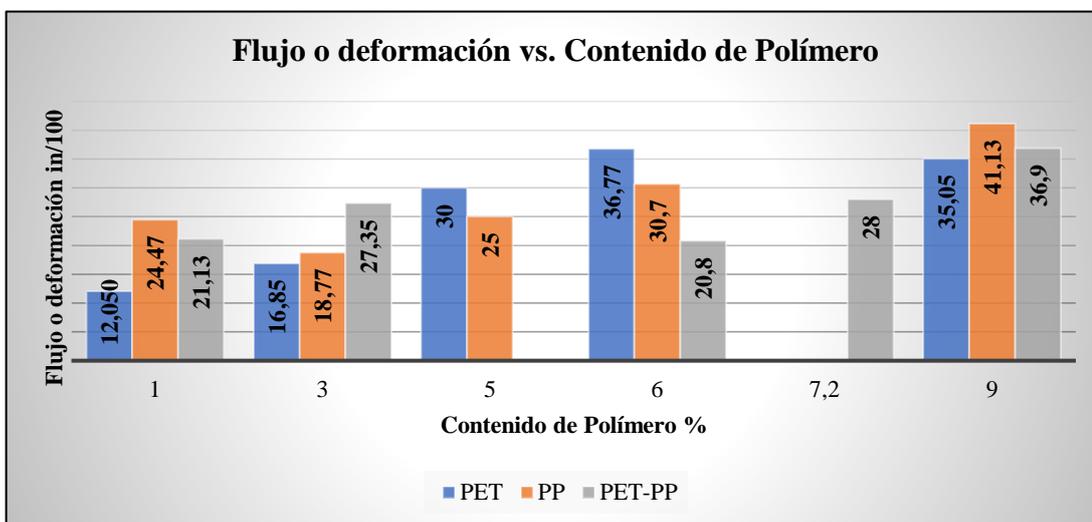
Interpretación: En la gráfica se determinó que todas las mezclas asfálticas con adición de diferentes porcentajes de polímeros cumplen con el valor mínimo requerido por la MOP-001-F 2002 de 1800 lb para tráfico pesado, a excepción de la mezcla con el 6% de polímeros PET-PP, dando un valor de 1522.87 lb.

El valor de estabilidad para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 3000 lb.

El valor de estabilidad para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 4600 lb.

El valor de estabilidad para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 1800 lb.

Figura N° 51: Comparación de resultados de Flujo o deformación de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

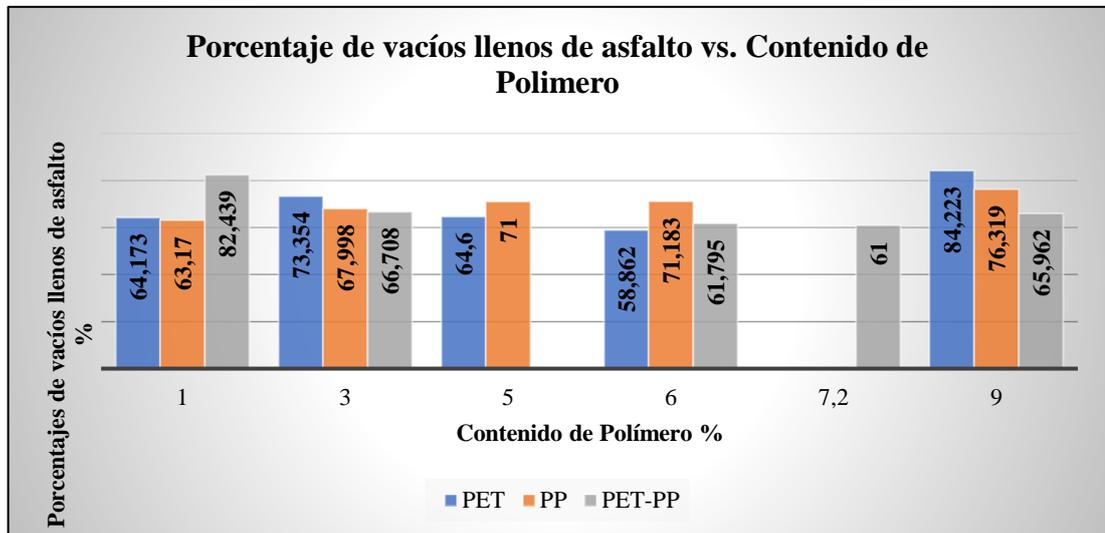
Interpretación: Con los valores de la gráfica se determinó que todas las mezclas asfálticas con adición de polímeros sobrepasan el valor del rango límite permitido por la MOP-001-F 2002, que es de 8-16 in/100 para tráfico pesado, a excepción de la mezcla con 1% de polímero PET presentando un valor de 12.050 in/100.

El valor de flujo o deformación para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 30 in/100.

El valor de flujo o deformación para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 25 in /100.

El valor de flujo o deformación para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 28 in /100.

Figura N° 52: Comparación de resultados de Porcentaje de vacíos llenos de asfalto de mezclas asfálticas con adición de PET, PP Y PET -PP



Fuente: Jonathan Castro

Interpretación: De los valores presentados en la gráfica se determinó que los resultados varían en todas las mezclas con adición de polímeros, mismos que deben cumplir con los límites establecidos por la MOP-001-F 2002 que es de 65-75 % para tráfico pesado.

El valor del porcentaje de vacíos de asfalto para el porcentaje óptimo de polímero PET de 5% es de 64.6%.

El valor del porcentaje de vacíos de asfalto para el porcentaje óptimo de polímero PP de 5% es de 71%.

El valor del porcentaje de vacíos de asfalto para el porcentaje óptimo de polímero PET-PP de 7.2% es de 61%.

Posteriormente, a través tablas se presenta la determinación de los criterios establecidos para el diseño de la mezcla asfáltica con adición de polímeros por el Método Marshall Tabla N.º 9 pág. 42.

Tabla N.º 43: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PET por el Método Marshall

Criterios para la mezcla del Método Marshall	Tráfico Pesado Carpeta y Base		Mezcla asfáltica con adición de polímero 5%PET	
	MÍN	MÁX	DATO	CRITERIO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	75		75	CUMPLE
Estabilidad lb	1800		3000	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm (0,01 in)	8	16	30	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos	3	5	10	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla granulometría 1/2"		27,8	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65	75	64,6	CUMPLE

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 44: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PP por el Método Marshall

Criterios para la mezcla del Método Marshall	Tráfico Pesado Carpeta y Base		Mezcla asfáltica con adición de polímero 5%PP	
	MÍN	MÁX	DATO	CRITERIO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	75		75	CUMPLE
Estabilidad lb	1800		4600	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm (0,01 in)	8	16	25	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos	3	5	8	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla granulometría 1/2"		26,4	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65	75	71	CUMPLE

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 45: Comparación de criterios para la mezcla con adición de PET-PP por el Método Marshall

Criterios para la mezcla del Método Marshall	Tráfico Pesado Carpeta y Base		Mezcla asfáltica con adición de polímeros 7,2% PET-PP	
	MÍN	MÁX	DATO	CRITERIO
Compactación, número de golpes en cada cara de la probeta	75		75	CUMPLE
Estabilidad lb	1800		1800	CUMPLE
Flujo, 0.25 mm (0,01 in)	8	16	28	NO CUMPLE
Porcentaje de vacíos	3	5	11,6	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos en el agregado mineral (VMA)	Ver Tabla granulometría 1/2"		30	NO CUMPLE
Porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	65	75	61	NO CUMPLE

Fuente: Jonathan Castro

De acuerdo a los valores obtenidos, se observa que en todas las mezclas con adición de polímeros la estabilidad cumple con el valor mínimo de 1800 lb para tráfico pesado, lo que indica que cumple con un criterio de diseño de la mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall.

Por otro lado, se tiene el flujo. En la Figura N.º 51 se expone los resultados obtenidos del flujo o deformación de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET, PP y PET-PP, estos polímeros son plásticos, el plástico tiene un módulo de elasticidad baja (PET:2.76-4.14 GPa y PP :1.14-1.55 GPa), ya que se necesita de un menor esfuerzo para lograr grandes deformaciones. Los resultados expuestos muestran resultados lógicos a la incorporación de un material más dúctil a la mezcla asfáltica convencional. Sin embargo, deformaciones excesivas, sin recuperación elástica son un riesgo en un material que está sujeto a cargas de tránsito. Tomando en cuenta que las cargas son de tránsito, el flujo debe ser limitado. Según la Tabla N.º 9: Parámetros de referencia para el Ensayo Marshall pág. 42, ninguna de las mezclas con PET, PP y PET-PP, cumplen con el rango de flujo 8-16 (0.01 in) para un nivel de tráfico pesado, lo que pone en duda cualquier posibilidad de diseño de mezcla asfáltica en caliente por el método Marshall, el flujo para las mezclas asfálticas con adición PET, PP y PET-PP es excesivo frente a

una mezcla convencional. De hecho, la variación del flujo de una mezcla modificada con respecto a una mezcla convencional, llega a valores extremos como 41.13 (0.01 in) con porcentaje de PP al 9% lo que lleva a dudar de la posibilidad de usar PET, PP y PET-PP en una mezcla asfáltica.

3.1.10.3 Análisis de costos de producción en planta para la mezcla asfáltica convencional y la mezcla asfáltica con adición de polímeros (PET, PP T PET-PP)

Mediante un análisis de precios unitarios se determinó el costo para la producción de 1m³ en planta de mezcla asfáltica convencional y con adición de polímeros empleando como cemento asfáltico AC-20, para comparar y estimar la diferencia de costos.

Para el análisis de costos se tomó como base que la planta asfáltica JEAL Construcciones de la ciudad de Ambato tiene una producción de 29.38 m³/ hora.

Determinación del rendimiento

Se denomina rendimiento al tiempo que se requiere para realizar una cantidad determinada de trabajo, normalmente se calcula el rendimiento para realizar 1 unidad de producción, en el presente trabajo se tiene que la planta asfáltica JEAL Construcciones tiene una producción de asfalto de 29.38 m³/ hora, por lo tanto, el rendimiento para realizar 1 m³ de asfalto es:

$$\text{Rendimiento (hora/ m}^3\text{)} = \frac{1}{29.38\text{m}^3/\text{h}} = 0.034 \text{ h/m}^3$$

El rendimiento determinado es de 0.033 h/m³, este rendimiento será el mismo para la mano de obra, maquinaria y equipos, esto se debe a que los últimos mencionados están en función de la producción en la planta asfáltica.

En la planta asfáltica un factor muy importante a considerar es la humedad de los agregados, debido que a mayor contenido de humedad menor rendimiento de la planta.

3.1.10.4 Cálculo de la dosificación para la mezcla asfáltica convencional

Materiales:

- Agregado grueso = 17%
- Agregado grueso intermedio = 32 %
- Agregado Fino = 51%
- Cemento Asfáltico = 6.3%

Composición de la mezcla asfáltica convencional:

- Agregados= 93.7 %
- Cemento Asfáltico = 6.3%

Tabla N.º 46: Composición en peso de los agregados para mezcla asfáltica convencional

Materiales	Humedad (%)	Peso Real (%)
Agregado Grueso	0	15,9
Agregado grueso intermedio	0	30
Agregado Fino	0	47,8
Total		93,7

Fuente: Jonathan Castro

La dosificación de los agregados se lo realiza para 1 m³ de mezcla asfáltica, así mismo, para esto se debe tener en cuenta el peso específico de cada uno de los agregados, los mismos que fueron determinados anteriormente, además de esto, se debe tener en cuenta que el peso unitario estandarizado para el cálculo de mezclas asfálticas es de 2250 kg/ m³.

Tabla N.º 47: Dosificación para un Metro Cubico (m³) mezcla asfáltica convencional

Material	Peso (kg)	P. Específico (kg/m³)	Volumen	Unidad
Agregado Grueso	357,75	2513	0,14	m ³
Agregado grueso intermedio	675	2499	0,27	m ³
Agregado Fino	1075,5	2618	0,41	m ³
Cemento Asfáltico	141,75	1023,9	36,57	gal

Fuente: Jonathan Castro

3.1.10.5 Cálculo de la dosificación para la mezcla asfáltica con adición de polímeros

Dosificación para la mezcla asfáltica con adición de polímero PET

Materiales:

- Agregado grueso = 17%
- Agregado grueso intermedio = 32 %
- Agregado Fino = 46%
- PET = 5%
- Cemento Asfáltico = 6,3%

Dosificación para la mezcla asfáltica con adición de polímero PP

Materiales:

- Agregado grueso = 17%
- Agregado grueso intermedio = 32 %
- Agregado Fino = 46%
- PP = 5%
- Cemento Asfáltico = 6,3%

Dosificación para la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET-PP

Materiales:

- Agregado grueso = 17%
- Agregado grueso intermedio = 32 %
- Agregado Fino = 43,8%
- PET-PP = 7,2%
- Cemento Asfáltico = 6,3%

Composición de la mezcla asfáltica con adición de polímeros PET, PP y PET-PP:

- Agregados= 93,7 %
- Cemento Asfáltico = 6,3%

Tabla N.º 48: Dosificación para un Metro Cubico (m3) mezcla asfáltica con adición de polímeros

Polímero PET				
Material	Peso (kg)	P. Específico (kg/m3)	Volumen	Unidad
Agregado Grueso	357,75	2513	0,14	m ³
Agregado grueso intermedio	675	2499	0,27	m ³
Agregado Fino	1021,725	2618	0,39	m ³
PET	53,775			
Cemento Asfáltico	141,75	1023,9	36,57	gal
Polímero PP				
Material	Peso (kg)	P. Específico (kg/m3)	Volumen	Unidad
Agregado Grueso	357,75	2513	0,14	m ³
Agregado grueso intermedio	675	2499	0,27	m ³
Agregado Fino	1021,725	2618	0,39	m ³
PP	53,775			
Cemento Asfáltico	357,75	1023,9	36,57	gal
Polímero PET-PP				
Material	Peso (kg)	P. Específico (kg/m3)	Volumen	Unidad
Agregado Grueso	357,75	2513	0,14	m ³
Agregado grueso intermedio	675	2499	0,27	m ³
Agregado Fino	998,064	2618	0,38	m ³
PET-PP	77,436			
Cemento Asfáltico	141,75	1023,9	36,57	gal

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 49: Cálculo del precio unitario de 1m3 de mezcla asfáltica convencional con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO:		Producción de hormigón asfáltico mezclado en planta			APU-001	
DETALLE:		503-(2)	UNIDAD:	M3	REND (unidad/hora)	29,38 M3 / hora
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)				0,0340	0,07	
PLANTA ASFALTOS	1,00	130,00	130,0000	0,0340	4,42	
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1,00	35,00	35,0000	0,0340	1,19	
VOLQUETA	1,00	25,00	25,0000	0,0340	0,85	
SUBTOTAL EQUIPOS:					6,53	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
AY. DE MAQUINARIA	4,00	3,94	15,7600	0,0340	0,54	
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4,00	3,76	15,0400	0,0340	0,51	
SUBTOTAL MANO DE OBRA:					1,48	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B	
ASFALTO AC 20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG		141,7500	0,3400	48,20	
ARENA PARA ASFALTO	M3		0,4100	16,0000	6,56	
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/4"	M3		0,1400	15,0000	2,10	
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/8"	M3		0,2700	15,0000	4,05	
DIESEL	GLN		12,0000	1,8800	22,56	
SUBTOTAL MATERIALES :					83,47	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	TARIFA B	COSTO C=A*B	
SUBTOTAL TRANSPORTE:					0,00	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					91,48	
INDIRECTOS Y UTILIDADES					20,00%	18,30
OTROS INDIRECTOS					0,00%	0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO					109,78	
VALOR OFERTADO US\$:					109,78	

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 50: Cálculo del precio unitario de 1m³ de mezcla asfáltica con adición del 5% de polímero PET con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS													
RUBRO:		Producción de hormigón asfáltico con adición del 5% de polímero PET mezclado en planta			APU-001										
DETALLE:		503-(2)	UNIDAD:	M3	REND (unidad/hora)	29,38 M3 / hora									
EQUIPOS															
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA	C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)					0,0340	0,07									
PLANTA ASFALTOS	1,00	130,00		130,0000	0,0340	4,42									
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1,00	35,00		35,0000	0,0340	1,19									
VOLQUETA	1,00	25,00		25,0000	0,0340	0,85									
SUBTOTAL EQUIPOS:						6,53									
MANO DE OBRA															
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA	C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1,00	4,25		4,2500	0,0340	0,14									
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25		4,2500	0,0340	0,14									
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25		4,2500	0,0340	0,14									
A.Y. DE MAQUINARIA	4,00	3,94		15,7600	0,0340	0,54									
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4,00	3,76		15,0400	0,0340	0,51									
SUBTOTAL MANO DE OBRA:						1,48									
MATERIALES															
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B										
ASFALTO AC 20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG		141,7500	0,3400	48,20										
ARENA PARA ASFALTO	M3		0,3900	16,0000	6,24										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/4"	M3		0,1400	15,0000	2,10										
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/8"	M3		0,2700	15,0000	4,05										
POLÍMERO PET TRITURADO	KG		53,7800	0,5000	26,89										
DIESEL	GLN		12,0000	1,8800	22,56										
SUBTOTAL MATERIALES:						110,04									
TRANSPORTE															
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	TARIFA B	COSTO C=A*B										
SUBTOTAL TRANSPORTE:						0,00									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</td> <td style="text-align: right;">118,05</td> </tr> <tr> <td>INDIRECTOS Y UTILIDADES</td> <td style="text-align: right;">20,00%</td> </tr> <tr> <td>OTROS INDIRECTOS</td> <td style="text-align: right;">0,00%</td> </tr> <tr> <td>COSTO TOTAL DEL RUBRO</td> <td style="text-align: right;">109,78</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">VALOR OFERTADO US\$:</td> <td style="text-align: right;">136,35</td> </tr> </table>						TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	118,05	INDIRECTOS Y UTILIDADES	20,00%	OTROS INDIRECTOS	0,00%	COSTO TOTAL DEL RUBRO	109,78	VALOR OFERTADO US\$:	136,35
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	118,05														
INDIRECTOS Y UTILIDADES	20,00%														
OTROS INDIRECTOS	0,00%														
COSTO TOTAL DEL RUBRO	109,78														
VALOR OFERTADO US\$:	136,35														

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 51: Cálculo del precio unitario de 1m³ de mezcla asfáltica con adición del 5% de polímero PP con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
RUBRO:		Producción de hormigón asfáltico con adición del 5% de polímero PP mezclado en planta			APU-001	
DETALLE:		503-(2)	UNIDAD:	M3	REND (unidad/hora)	29,38 M3 / hora
EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)				0,0340	0,07	
PLANTA ASFALTOS	1,00	130,00	130,0000	0,0340	4,42	
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1,00	35,00	35,0000	0,0340	1,19	
VOLQUETA	1,00	25,00	25,0000	0,0340	0,85	
SUBTOTAL EQUIPOS:					6,53	
MANO DE OBRA						
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R	
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14	
A.Y. DE MAQUINARIA	4,00	3,94	15,7600	0,0340	0,54	
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4,00	3,76	15,0400	0,0340	0,51	
SUBTOTAL MANO DE OBRA:					1,48	
MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B		
ASFALTO AC 20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG	141,7500	0,3400	48,20		
ARENA PARA ASFALTO	M3	0,3900	16,0000	6,24		
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/4"	M3	0,1400	15,0000	2,10		
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/8"	M3	0,2700	15,0000	4,05		
POLÍMERO PP TRITURADO	KG	53,7800	0,5000	26,89		
DIESEL	GLN	12,0000	1,8800	22,56		
SUBTOTAL MATERIALES:					110,04	
TRANSPORTE						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B		
SUBTOTAL TRANSPORTE:					0,00	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)				118,05		
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20,00%		18,30
OTROS INDIRECTOS				0,00%		0,00
COSTO TOTAL DEL RUBRO				109,78		
VALOR OFERTADO US\$:				136,35		

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 52: Cálculo del precio unitario de 1m³ de mezcla asfáltica con adición del 7.2% de polímeros PET-PP con agregados de la Planta Asfáltica JEAL Construcciones

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS												
RUBRO:	Producción de hormigón asfáltico con adición del 7.2% de polímeros PET- PP mezclado en planta					APU-001								
DETALLE:	503-(2)	UNIDAD:	M3	REND (unidad/hora)	29,38	M3 / hora								
EQUIPOS														
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
HERRAMIENTA MENOR (5% DE MANO DE OBRA)				0,0340	0,07									
PLANTA ASFALTOS	1,00	130,00	130,0000	0,0340	4,42									
CARGADORA SOBRE RUEDAS	1,00	35,00	35,0000	0,0340	1,19									
VOLQUETA	1,00	25,00	25,0000	0,0340	0,85									
SUBTOTAL EQUIPOS:						6,53								
MANO DE OBRA														
DESCRIPCIÓN (CATEGORÍA)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R									
INSPECTOR DE OBRA (EST. OCUP. B3)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14									
OPERADOR PLANTA ASFÁLTICA (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14									
OPERADOR CARGADORA FRONTAL (EST. OCUP. C1 GRUPO I)	1,00	4,25	4,2500	0,0340	0,14									
AY. DE MAQUINARIA	4,00	3,94	15,7600	0,0340	0,54									
PEÓN (EST. OCUP. E2)	4,00	3,76	15,0400	0,0340	0,51									
SUBTOTAL MANO DE OBRA:						1,48								
MATERIALES														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B									
ASFALTO AC 20 (SEGÚN ESPECIFICACIONES)	KG	141,7500		0,3400	48,20									
ARENA PARA ASFALTO	M3	0,3800		16,0000	6,08									
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/4"	M3	0,1400		15,0000	2,10									
MATERIAL PETREO PARA MEZCLA ASFÁLTICA 3/8"	M3	0,2700		15,0000	4,05									
POLÍMEROS PET-PP TRITURADOS	KG	77,4400		0,5000	38,72									
DIESEL	GLN	12,0000		1,8800	22,56									
SUBTOTAL MATERIALES:						121,71								
TRANSPORTE														
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	A	TARIFA B	COSTO C=A*B									
SUBTOTAL TRANSPORTE:						0,00								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)</td> <td style="width: 10%; text-align: right;">129,72</td> </tr> <tr> <td>INDIRECTOS Y UTILIDADES</td> <td style="text-align: right;">18,30</td> </tr> <tr> <td>OTROS INDIRECTOS</td> <td style="text-align: right;">0,00</td> </tr> <tr> <td>COSTO TOTAL DEL RUBRO</td> <td style="text-align: right;">109,78</td> </tr> </table>						TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	129,72	INDIRECTOS Y UTILIDADES	18,30	OTROS INDIRECTOS	0,00	COSTO TOTAL DEL RUBRO	109,78	
TOTAL, COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	129,72													
INDIRECTOS Y UTILIDADES	18,30													
OTROS INDIRECTOS	0,00													
COSTO TOTAL DEL RUBRO	109,78													
VALOR OFERTADO US\$:						148,02								

NOTA: LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA

Fuente: Jonathan Castro

3.2 Verificación de la hipótesis

Una vez realizado los ensayos con la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con adición de polímeros PET, PP y PET-PP, se evidenció que en la utilización de dichos polímeros se encontró una mejora sustancial de las propiedades mecánicas, como la estabilidad, aun así, el flujo mostró un comportamiento inverso sobrepasando el valor planteado por los criterios de diseño Marshall, además el costo de producción por m³ de asfalto aumenta en las mezclas modificadas con adición de polímeros, en consecuencia los resultados obtenidos no pueden afirmar la hipótesis planteada ya que generan dudas sobre la posibilidad de seguir realizando mezclas asfálticas con estos polímeros.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se elaboró briquetas asfálticas convencionales basadas en el Método Marshall, que llevaban 5%, 5.5%, 6%, 6.5% y 7% de asfalto, mediante este procedimiento se determinó el porcentaje óptimo de asfalto resultante para los agregados de la Planta asfáltica JEAL Construcciones, que fue del 6.3%, posteriormente, con este resultado se elaboró briquetas asfálticas modificadas con adición de polímeros con 1%,3%,6% y 9% de PET, PP y PET-PP respectivamente.
- Se determinó el porcentaje óptimo de polímero Polietileno Tereftalato (PET) y Polipropileno (PP) para el diseño de la mezcla asfáltica que llevaban porcentajes de 1%,3%,6% y 9% fue del 5%, mientras que para mezcla de PET-PP en conjunto fue del 7.2%.
- Se aplicó el ensayo Marshall a las briquetas asfálticas convencionales y con adición de polímeros, dando como resultado los siguientes valores:
Briquetas convencionales: estabilidad de 2450 lb, flujo de 14.42 (0.01 in) de flujo, sin registrarse cambios notorios en el porcentaje de vacíos con aire 5.4%, vacíos en el agregado mineral 20.7%, y en el porcentaje de vacíos llenos de asfalto 73%. Briquetas con PET: estabilidad de 3000 lb, flujo de 30 (0.01 in) de flujo, Porcentaje de vacíos con aire 10%, Vacíos en el agregado mineral 27.8%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto 64.6%. Briquetas con PP: estabilidad de 4600 lb, flujo de 25 (0.01 in) de flujo, porcentaje de vacíos con aire 8%, Vacíos en el agregado mineral 26.4%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto 71%. Briquetas con PET-PP: estabilidad de 1800 lb, flujo de 28 (0.01 in) de flujo, Porcentaje de vacíos con aire 11.6%, Vacíos en el agregado mineral 30%, porcentaje de vacíos llenos de asfalto 61%.

- Se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos al ensayar las briquetas convencionales y con adición de polímeros, la mezcla asfáltica convencional presentó valores que cumplen los criterios del diseño Marshall, mientras que en las mezclas asfálticas con adición de polímeros (PET, PP y PET-PP), solo se obtuvo un mejor comportamiento en la estabilidad, presentando valores por encima del valor mínimo requerido que es 1800 lb, no obstante, con relación al porcentaje de vacíos y a la deformación, los resultados no son los mejores por consecuencia no se propone como una solución final para la mezcla asfáltica.
- Se analizó la incidencia de la adición de polímeros (PET, PP y PET-PP) a las mezclas asfálticas convencionales, las no cumplieron con las especificaciones requeridas por las normas lo que conlleva a la no utilización de esta mezcla modificada en el futuro a menos que se modifique, de alguna manera, los altos niveles de deformación mostrados en el trabajo experimental.
- El costo de producción de un metro cúbico para la mezcla asfáltica tradicional en caliente es de 102.78 dólares, mientras que para la mezcla modificada con polímero PET al igual que con el polímero PP es de 136.35 dólares y con polímeros PET-PP es de 148.02 dólares, siendo este un factor que se debe considerar al tomar esta alternativa en el diseño de la carpeta asfáltica, ya que los resultados con estas mezclas no son los esperados.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda que al elaborar las briquetas asfálticas convencionales y modificadas con polímero PET y PP se controle la temperatura de la mezcla la cual debe estar dentro de un rango permisible de 160 a 180°C, se debe evitar temperaturas menores a los 120 °C ya que de esta manera se obtendrá resultados confiables.
- Para obtener resultados idóneos, se recomienda incorporar los diferentes porcentajes de polímeros de PET y PP en la etapa final de mezclado, esto para evitar que el plástico se empiece a derretir y formar grumos con el agregado antes de que el asfalto haya cubierto totalmente todas las partículas de material pétreo.
- Analizando los resultados del ensayo Marshall, la adición del PET y PP a la mezcla asfáltica convencional el flujo aumentó, esto se debe a que estos tipos de polímeros son un material plástico el cual sufre deformaciones al someterse a altas temperaturas, por lo que se recomienda adicionar este tipo de polímeros a las mezclas asfálticas en porcentajes bajos en relación a los utilizados en este trabajo experimental.
- Se recomienda para que se cumpla la hipótesis planteada investigar métodos distintos de adición de polímeros PET y PP a la mezcla asfáltica convencional para obtener resultados positivos que mejoren sus propiedades.
- Se recomienda el uso de polímeros PET y PP en mezclas asfálticas que pueden ser utilizadas en vías que presenten un aumento en el tiempo considerable de cargas vehiculares. Ya que su aumento de estabilidad permitiría ampliar los periodos de mantenimiento de la carpeta asfáltica.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] F. A. Wulf Rodriguez, «Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero,» 2008. [En línea]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfcw961a/sources/bmfcw961a.pdf>.
- [2] M. E. Maila Paucar , «Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/742/1/T-UCE-0011-31.pdf>.
- [3] P. J. Morales Cárdenas, «P. Morales, Efectos de la alta compactación de la capa base en pavimentos flexibles, Managua: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad De la Tecnología de la Construcción,» Nicaragua, 2009.
- [4] L. M. Ramírez Jiménez, «Pavimentos con Polímeros Reciclados,» Antioquia, 2011.
- [5] Ministerio de Transporte y Obras Públicas, «MTOPE promueve desarrollo en la calidad de asfalto,» Febrero 2015. [En línea]. Available: <https://www.obraspublicas.gob.ec/mtop-promueve-desarrollo-en-la-calidad-de-asfalto/#>.
- [6] P. Ing Jorge, C. Ing Rossana, M. Ing Daniel y A. Ing Ricardo, «Mezclas Afálticas Elaboradas en frío. Utilización de emulsiones modificadas e incorporación de fibras de celulosa,» Rosario, 2007.

- [7] Tipos de.com, «Tipos de asfalto,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.tiposde.com/asfalto.html>.
- [8] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Productos derivados del petróleo.Asfaltos sólidos oxidados.Requisitos.,» 2013. [En línea].
- [9] Tesis uson mx, «Propiedades y estudios de los materiales asfálticos y pétreos,» [En línea]. Available: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11811/capitulo2.pdf>.
- [10] G. J. Salamanca Arce, «Influencia de la contaminación salina en el envejecimiento,» Julio 2007. [En línea]. Available: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/104588/salamanca_ga.pdf?sequence=3&isAl#:~:text=Las%20propiedades%20f%C3%ADsicas%20del%20asfalto,la%20temperatura%2C%20envejecimiento%20y%20endurecimiento..
- [11] M. D. Avellán Cruz, «Asfaltos modificados con polímeros,» Mayo 2007. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2705_C.pdf.
- [12] Urbacom, «Información general sobre asfalto,» 2006. [En línea]. Available: <http://www.urbacom.eu/asfalto.htm>.
- [13] VISE, «Usos más comunes del asfalto en ingeniería,» 2016. [En línea]. Available: <https://blog.vise.com.mx/usos-m%C3%A1s-comunes-del-asfalto-en-ingenier%C3%ADa>.
- [14] A. Padilla Rodríguez, «Materiales Básicos.Capítulo 2,» 2004. [En línea].

- [15] MOP, «Asfaltos y Productos Asfálticos.Cementos Asfálticos, Requisitos, Sección 8,» 2002. [En línea].
- [16] W. Chimborazo, «Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método Superpave,» 2012. [En línea].
- [17] ASTM, « Porcentaje de caras fracturadas en los agregados ASTM D5821-95,» [En línea]. Available: https://www.academia.edu/37515303/PORCENTAJE_DE_CARAS_FRACTURADAS_EN_LOS_AGREGADOS.
- [18] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «Áridos.Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37.5mm mediante el uso de la máquina de Los Ángeles.NTE INEN 860:2011,» 2011. [En línea].
- [19] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos.Determinación de la densidad,densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.NTE INEN 857:2010,» 2010. [En línea].
- [20] Instituto Ecuatoriano de Normaización, «Áridos.Determinación de la densidad,densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino. INEN 856:2010,» 2010. [En línea].
- [21] Instituto Ecuatoriano de Normalización, «Áridos.Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso.INEN 696:2011,» 2011. [En línea].
- [22] C. UDLAP, «Capitulo II Asfalto modificado con polímero,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf.

- [23] Goconqr, «Macromoléculas,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.goconqr.com/es/slide/4189059/macromol-culas>.
- [24] D. J. López Pérez y C. J. Puma Vázquez, «Caracterización de mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y RET, mediante la determinación del módulo de rigidez,» 2017. [En línea].
- [25] A. Montejó Fonseca, «Ingeniería de pavimentos para carreteras,» 2002. [En línea].
- [26] A. Padilla Rodríguez, «Mezclas Asfálticas. Capítulo 3,» [En línea].
- [27] T. J. Corrales Chilibingua, «Propuesta de método de diseño de mezclas Asfálticas abiertas en caliente como capa de alivio,» Mayo 2015. [En línea].
- [28] C. J. Montesinos Clavijo y P. J. Reyes Velastegui, «Comparación de módulos de rigidez por tensión indirecta utilizando método de compactación Marshall y Superpave para el diseño de mezclas asfálticas,» 2010. [En línea].
- [29] I.N.V.E-748-07, «Resistencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el aparato Marshall,» [En línea]. Available: <https://docplayer.es/30356641-Resistencia-de-mezclas-asfalticas-en-caliente-empleando-el-aparato-marshall-i-n-v-e.html>.
- [30] C. I. Romero Bayas, «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,» 2017. [En línea].

- [31] H. Rondón Quintana, W. Fernández Gómez y W. Castro López, «Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla densa en caliente modificada con un desecho de polietileno de baja densidad (PEBD),» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 25, n° 1, pp. 83-94, 2010.
- [32] Instituto Ecuatoriano de Normalización , «Productos derivados del petróleo.Cemento Asfáltico (Clasificación por Viscosidad).Requisitos.,» 2010. [En línea].
- [33] J. C. Múnera Ossa, «Modificación Polimérica de Asfaltos,» 2012. [En línea].
- [34] ASTM, «Método de Ensayo Normalizado para la resistencia a la degradación de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.,» [En línea].

2. ANEXOS

2.1 Resultados del ensayo Rice en la mezcla asfáltica con convencional

Tabla N.º 53: Ensayo Rice para el 5,5% de cemento asfáltico

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE PARA EL 5,5% CEMENTO ASFÁLTICO GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	10375,8
Peso frasco		g	4000,6
Peso muestra + frasco		g	5209,4
Peso muestra	A	g	1208,8
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	E	g	11066,2
Gmm	A/A-(E-D)		2,332

Tabla N.º 54: Ensayo Rice para el 6% de cemento asfáltico

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE PARA EL 6% CEMENTO ASFÁLTICO GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	10375,8
Peso frasco		g	4000,6
Peso muestra + frasco		g	5045,6
Peso muestra	A	g	1045
Peso muestra + frasco + agua a 25°C	E	g	10968,4
Gmm	A/A-(E-D)		2,310

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 55: Ensayo Rice para el 6,5% de cemento asfáltico

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
ENSAYO RICE PARA EL 6,5% CEMENTO ASFÁLTICO GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA		
Origen: Ensayado por: Fecha: Norma:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua Jonathan Stallin Castro Faz Sábado,26 de junio de 2021 ASTM D 2041	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	10375,8
Peso frasco		4047,6
Peso muestra + frasco		5119,6
Peso muestra	A	1072
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	10978,3
Gmm	A/A-(E-D)	2,283

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 56: Ensayo Rice para el 7% de cemento asfáltico

 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL 		
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA		
ENSAYO RICE PARA EL 7% CEMENTO ASFÁLTICO GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA		
Origen: Ensayado por: Fecha: Norma:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua Jonathan Stallin Castro Faz Sábado,26 de junio de 2021 ASTM D 2041	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	10375,8
Peso frasco		4047,6
Peso muestra + frasco		5161,2
Peso muestra	A	1113,6
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	10997,4
Gmm	A/A-(E-D)	2,263

Fuente: Jonathan Castro

2.4 Resultados del ensayo Rice en la mezcla asfáltica con adición de polímeros

Tabla N.º 57: Ensayo Rice para el 3% de polímero PET

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 3% DE POLÍMERO PET GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10208,4
Peso muestra	A	g	1138,6
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14741,4
Gmm	A/A-(E-D)		2,204

Tabla N.º 58: Ensayo Rice para el 6% de polímero PET

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 6% DE POLÍMERO PET GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10051,8
Peso muestra	A	g	982
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14654,8
Gmm	A/A-(E-D)		2,199

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 59: Ensayo Rice para el 9% de polímero PET

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 9% DE POLÍMERO PET GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:		Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:		Jonathan Stallin Castro Faz	
Fecha:		Sábado, 26 de junio de 2021	
Norma:		ASTM D 2041	
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10300
Peso muestra	A	g	1230,2
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14742,6
Gmm	A/A-(E-D)		2,027

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 60: Ensayo Rice para el 3% de polímero PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 3% DE POLÍMERO PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:		Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua	
Ensayado por:		Jonathan Stallin Castro Faz	
Fecha:		Sábado, 26 de junio de 2021	
Norma:		ASTM D 2041	
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10234
Peso muestra	A	g	1164,2
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14752,4
Gmm	A/A-(E-D)		2,192

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 61: Ensayo Rice para el 6% de polímero PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 6% DE POLÍMERO PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10172,2
Peso muestra	A	g	1102,4
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14712,4
Gmm	A/A-(E-D)		2,164

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 62: Ensayo Rice para el 9% de polímero PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 9% DE POLÍMERO PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10112,4
Peso muestra	A	g	1042,6
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14655,2
Gmm	A/A-(E-D)		2,057

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 63: Ensayo Rice para el 3% de polímeros PET-PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 3% DE POLÍMEROS PET-PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10159,8
Peso muestra	A	g	1090
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14718
Gmm	A/A-(E-D)		2,218

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 64: Ensayo Rice para el 6% de polímeros PET-PP

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO 			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 6% DE POLÍMEROS PET-PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10167,6
Peso muestra	A	g	1097,8
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14712,6
Gmm	A/A-(E-D)		2,176

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 65: Ensayo Rice para el 9% de polímeros PET-PP

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
INCIDENCIA DE LA ADICIÓN DE POLÍMEROS EN LOS HORMIGONES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES MEZCLADOS EN PLANTA PARA VÍAS EN EL CANTÓN AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA			
ENSAYO RICE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE 9% DE POLÍMEROS PET-PP GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA TEÓRICA			
Origen:	Mina JEAL -Sector las Viñas Provincia de Tungurahua		
Ensayado por:	Jonathan Stallin Castro Faz		
Fecha:	Sábado, 26 de junio de 2021		
Norma:	ASTM D 2041		
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	VALOR
Peso frasco + agua a 25°C	D	g	14119,4
Peso frasco		g	9069,8
Peso muestra + frasco		g	10167,6
Peso muestra	A	g	1097,8
Peso muestra +frasco+agua a 25°C	E	g	14712,6
Gmm	A/A-(E-D)		2,176

Fuente: Jonathan Castro

2.5 Dosificaciones para el diseño de la mezcla asfáltica convencional y mezcla asfáltica con adición de polímeros

Tabla N.º 66: Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional

Dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional					
Porcentaje de cemento asfáltico	Agregado Grueso	Agregado Intermedio	Agregado Fino	Cantidad de cemento asfáltico	N.º de briquetas
%	g	g	g	g	#
5	193,635	364,488	580,895	60	3
5,5	192,679	362,688	578,028	66	3
6	191,723	360,889	575,160	72	3
6,5	190,768	359,090	572,293	78	3
7	189,812	357,291	569,426	84	3

Fuente: Jonathan Castro

Tabla N.º 67: Dosificación para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros PET, PP y PET, PP

Dosificación para el diseño de las mezclas asfálticas con adición de polímeros							
Mezcla asfáltica con adición de Polímero PET							
Porcentaje de Polímero	Agregado Fino	Agregado Grueso (17%)	Agregado Intermedio (32%)	Cemento Asfáltico (6,3%)	Cantidad de Polímero	Agregado Fino	N.º de briquetas
%	%	g	g	g	g	g	#
1	50	191,15	359,81	75,6	11,24	562,2	3
3	48				33,732	539,712	3
6	45				67,464	505,98	3
9	42				101,196	472,248	3
Mezcla asfáltica con adición de Polímero PP							
1	50	191,15	359,81	75,6	11,24	562,2	3
3	48				33,732	539,712	3
6	45				67,464	505,98	3
9	42				101,196	472,248	3
Mezcla asfáltica con adición de Polímero PET-PP							
1	50	191,15	359,81	75,6	11,24	562,2	3
3	48				33,732	539,712	3
6	45				67,464	505,98	3
9	42				101,196	472,248	3

Fuente: Jonathan Castro

2.6 Factor de corrección para la Estabilidad Marshall

Tabla N.º 68: Factor de Corrección de la Estabilidad Marshall de acuerdo al espesor de la briqueta

Factor de Corrección para Estabilidad							
Espesor (mm)	Factor Correc.	Espesor (mm)	Factor Correc.	Espesor (mm)	Factor Correc.	Espesor (mm)	Factor Correc.
31,5	3,902	36,0	3,124	40,5	2,385	45,0	1,879
31,6	3,884	36,1	3,105	40,6	2,371	45,1	1,871
31,7	3,867	36,2	3,086	40,7	2,356	45,2	1,863
31,8	3,850	36,3	3,068	40,8	2,342	45,3	1,855
31,9	3,833	36,4	3,049	40,9	2,328	45,4	1,847
32,0	3,815	36,5	3,030	41,0	2,313	45,5	1,839
32,1	3,798	36,6	3,014	41,1	2,299	45,6	1,831
32,2	3,780	36,7	2,999	41,2	2,284	45,7	1,823
32,3	3,763	36,8	2,983	41,3	2,270	45,8	1,814
32,4	3,745	36,9	2,968	41,4	2,258	45,9	1,806
32,5	3,728	37,0	2,952	41,5	2,246	46,0	1,798
32,6	3,710	37,1	2,936	41,6	2,236	46,1	1,790
32,7	3,693	37,2	2,921	41,7	2,223	46,2	1,782

32,8	3,675	37,3	2,905	41,8	2,211	46,3	1,774
32,9	3,658	37,4	2,889	41,9	2,199	46,4	1,766
33,0	3,640	37,5	2,874	42,0	2,187	46,5	1,758
33,1	3,623	37,6	2,858	42,1	2,175	46,6	1,750
33,2	3,605	37,7	2,843	42,2	2,163	46,7	1,742
33,3	3,588	37,8	2,827	42,3	2,151	46,8	1,734
33,4	3,570	37,9	2,811	42,4	2,139	46,9	1,726
33,5	3,554	38,0	2,796	42,5	2,128	47,0	1,718
33,6	3,538	38,1	2,780	42,6	2,116	47,1	1,710
33,7	3,522	38,2	2,763	42,7	2,104	47,2	1,702
33,8	3,506	38,3	2,745	42,8	2,092	47,3	1,696
33,9	3,490	38,4	2,728	42,9	2,080	47,4	1,686
34,0	3,474	38,5	2,710	43,0	2,070	47,5	1,678
34,1	3,458	38,6	2,693	43,1	2,060	47,6	1,670
34,2	3,442	38,7	2,675	43,2	2,050	47,7	1,663
34,3	3,426	38,8	2,658	43,3	2,040	47,8	1,656
34,4	3,410	38,9	2,640	43,4	2,030	47,9	1,649
34,5	3,399	39,0	2,623	43,5	2,020	48,0	1,643
34,6	3,378	39,1	2,605	43,6	2,010	48,1	1,636
34,7	3,362	39,2	2,588	43,7	2,000	48,2	1,629
34,8	3,346	39,3	2,570	43,8	1,990	48,3	1,622
34,9	3,330	39,4	2,553	43,9	1,980	48,4	1,615
35,0	3,311	39,5	2,535	44,0	1,970	48,5	1,608
35,1	3,293	39,6	2,517	44,1	1,960	48,6	1,601
35,2	3,274	39,7	2,500	44,2	1,950	48,7	1,594
35,3	3,255	39,8	2,486	44,3	1,940	48,8	1,588
35,4	3,236	39,9	2,471	44,4	1,930	48,9	1,581
35,5	3,218	40,0	2,457	44,5	1,920	49,0	1,574
35,6	3,199	40,1	2,443	44,6	1,912	49,1	1,567
35,7	3,180	40,2	2,428	44,7	1,904	49,2	1,560
35,8	3,161	40,3	2,414	44,8	1,896	49,3	1,554
35,9	3,143	40,4	2,399	44,9	1,888	49,4	1,549
Espesor (mm)	Factor Correc.	Esperor (mm)	Factor Correc.	Esperor (mm)	Factor Correc.	Esperor (mm)	Factor Correc.
49,5	1,543	54,0	1,320	58,5	1,149	63,0	1,013
49,6	1,538	54,1	1,316	58,6	1,146	63,1	1,011
49,7	1,532	54,2	1,311	58,7	1,143	63,2	1,008
49,8	1,526	54,3	1,307	58,8	1,140	63,3	1,005
49,9	1,521	54,4	1,303	58,9	1,137	63,4	1,003
50,0	1,515	54,5	1,298	59,0	1,134	63,5	1,000
50,1	1,509	54,6	1,294	59,1	1,131	63,6	0,998
50,2	1,504	54,7	1,289	59,2	1,128	63,7	0,995
50,3	1,498	54,8	1,285	59,3	1,124	63,8	0,993
50,4	1,493	54,9	1,281	59,4	1,121	63,9	0,990
50,5	1,487	55,0	1,276	59,5	1,118	64,0	0,988
50,6	1,481	55,1	1,272	59,6	1,115	64,1	0,985
50,7	1,476	55,2	1,268	59,7	1,112	64,2	0,983
50,8	1,470	55,3	1,263	59,8	1,109	64,3	0,980
50,9	1,465	55,4	1,259	59,9	1,106	64,4	0,978
51,0	1,460	55,5	1,254	60,0	1,103	64,5	0,975
51,1	1,455	55,6	1,250	60,1	1,099	64,6	0,973
51,2	1,450	55,7	1,246	60,2	1,096	64,7	0,970
51,3	1,445	55,8	1,243	60,3	1,093	64,8	0,968
51,4	1,440	55,9	1,249	60,4	1,090	64,9	0,965
51,5	1,435	56,0	1,235	60,5	1,087	65,0	0,963

51,6	1,430	56,1	1,231	60,6	1,084	65,1	0,960
51,7	1,425	56,2	1,228	60,7	1,081	65,2	0,958
51,8	1,420	56,3	1,224	60,8	1,078	65,3	0,956
51,9	1,415	56,4	1,220	60,9	1,074	65,4	0,954
52,0	1,410	56,5	1,218	61,0	1,071	65,5	0,953
52,1	1,405	56,6	1,213	61,1	1,068	65,6	0,951
52,2	1,400	56,7	1,209	61,2	1,065	65,7	0,949
52,3	1,395	56,8	1,205	61,3	1,062	65,8	0,947
52,4	1,390	56,9	1,201	61,4	1,059	65,9	0,945
52,5	1,386	57,0	1,198	61,5	1,056	66,0	0,943
52,6	1,381	57,1	1,194	61,6	1,053	66,1	0,941
52,7	1,377	57,2	1,190	61,7	1,049	66,2	0,939
52,8	1,373	57,3	1,187	61,8	1,046	66,3	0,938
52,9	1,368	57,4	2,184	61,9	1,043	66,4	0,936
53,0	1,364	57,5	2,181	62,0	1,040	66,5	0,934
53,1	1,359	57,6	2,178	62,1	1,037	66,6	0,932
53,2	1,355	57,7	2,174	62,2	1,035	66,7	0,930
53,3	1,351	57,8	2,171	62,3	1,032	66,8	0,928
53,4	1,346	57,9	2,168	62,4	1,029	66,9	0,925
53,5	1,342	58,0	2,165	62,5	1,027	67,0	0,923
53,6	1,338	58,1	1,162	62,6	1,024	67,1	0,920
53,7	1,333	58,2	1,159	62,7	1,021	67,2	0,918
53,8	1,329	58,3	1,156	62,8	1,019	67,3	0,915
53,9	1,324	58,4	1,153	62,9	1,016	67,4	0,913
Espeesor (mm)	Factor Correc.	Espeesor (mm)	Factor Correc.	Espeesor (mm)	Factor Correc.	Espeesor (mm)	Factor Correc.
67,5	0,910	69,7	0,864	71,9	0,825	74,1	0,790
67,6	0,908	69,8	0,862	72,0	0,824	74,2	0,788
67,7	0,905	69,9	0,860	72,1	0,823	74,3	0,786
67,8	0,903	70,0	0,858	72,2	0,821	74,4	0,784
67,9	0,900	70,1	0,856	72,3	0,820	74,5	0,782
68,0	0,898	70,2	0,854	72,4	0,819	74,6	0,780
68,1	0,895	70,3	0,853	72,5	0,818	74,7	0,779
68,2	0,893	70,4	0,851	72,6	0,816	74,8	0,778
68,3	0,890	70,5	0,849	72,7	0,815	74,9	0,776
68,4	0,888	70,6	0,847	72,8	0,814	75,0	0,775
68,5	0,886	70,7	0,845	72,9	0,813	75,1	0,774
68,6	0,884	70,8	0,843	73,0	0,811	75,2	0,773
68,7	0,883	70,9	0,841	73,1	0,810	75,3	0,771
68,8	0,881	71,0	0,839	73,2	0,808	75,4	0,770
68,9	0,879	71,1	0,838	73,3	0,806	75,5	0,769
69,0	0,877	71,2	0,836	73,4	0,804	75,6	0,768
69,1	0,875	71,3	0,834	73,5	0,802	75,7	0,766
69,2	0,873	71,4	0,832	73,6	0,800	75,8	0,765
69,3	0,871	71,5	0,830	73,7	0,798	75,9	0,764
69,4	0,869	71,6	0,829	73,8	0,796	76,0	0,763
69,5	0,868	71,7	0,828	73,9	0,794	76,1	0,761
69,6	0,866	71,8	0,826	74,0	0,792		

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

2.7 Densidad del agua y factor de corrección k para varias temperaturas

Tabla N.º 69: Densidad del agua y factor de corrección k para varias temperaturas

Temperatura °C	Densidad del agua (g/ml)	Factor de corrección (K)
15,0	0,99910	1,00090
15,5	0,99902	1,00082
16,0	0,99895	1,00074
16,5	0,99886	1,00066
17,0	0,99878	1,00057
17,5	0,99869	1,00048
18,0	0,99860	1,00039
18,5	0,99850	1,00030
19,0	0,99841	1,00020
19,5	0,99831	1,00010
20,0	0,99821	1,00000
20,5	0,99810	0,99990
21,0	0,99799	0,99979
21,5	0,99789	0,99968
22,0	0,99777	0,99957
22,5	0,99776	0,99945
23,0	0,99754	0,99933
23,5	0,99742	0,99921
24,0	0,99730	0,99909
24,5	0,99717	0,99897
25,0	0,99705	0,99884
25,5	0,99692	0,99871
26,0	0,99679	0,99858
26,5	0,99665	0,99844
27,0	0,99652	0,99831
27,5	0,99638	0,99817
28,0	0,99624	0,99803
28,5	0,99609	0,99788
29,0	0,99595	0,99774
29,5	0,99580	0,99759
30,0	0,99565	0,99744
30,5	0,99550	0,99729

Fuente: Norma ASTM D 854-02

2.8 Anexos Fotográficos



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Tema: Incidencia de la adición de polímeros en los hormigones asfálticos convencionales mezclados en planta para vías en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

MATERIAL PÉTREO



Agregado grueso



Agregado fino



Planta asfáltica JEAL Construcciones

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA



Peso del agregado grueso



Peso del agregado fino



Tamizando los agregados

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



Muestra saturada de agregado fino



Muestra saturada preparada para secar su superficie



Muestra en condición SSS



Peso de la muestra en condición SSS



Peso del picnómetro + agua



Sacando los vacíos existentes en el agregado fino



Peso del picnómetro con muestra sumergida



Temperatura del picnómetro con muestra sumergida



Muestra saturada de agregado grueso



Secando la muestra saturada del agregado grueso



Peso de la muestra en condición SSS



Muestra sumergida con la canastilla metálica



Muestras de agregado colocadas en el horno



Peso de la muestra seca de agregado grueso

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN



Colocando la muestra en la Máquina de los Ángeles



Separando el material grueso

ENSAYO DE PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS



Pesando de la muestra a ser ensayada



Inspección de las partículas fracturadas y no fracturadas.

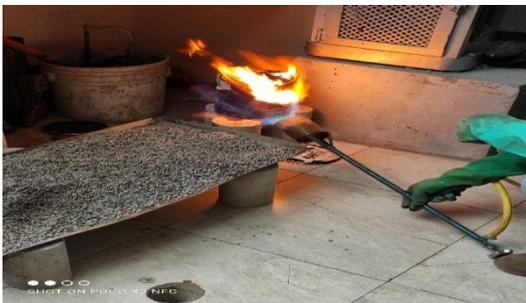
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL



Calentando los agregados grueso y fino



Verificando la temperatura de los agregados.



Calentando el cemento asfáltico



Vertiendo el cemento asfáltico en la mezcla de agregados.



Mezclando los agregados con el cemento asfáltico.



Colocando la mezcla asfáltica en el molde de compactación.



Compactando de la mezcla asfáltica convencional.



Briquetas asfálticas convencionales

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LAS BRIQUETAS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL



Midiendo las dimensiones de las briquetas.



Pesando las briquetas de mezcla asfáltica convencional.



Colocando las briquetas en Baño María



Ensayando las briquetas en la Máquina Marshall.

ENSAYO RICE



Briqueta disgregada



Colocando la briqueta disgregada en el frasco volumétrico.



Máquina de extracción de vacíos



Peso del frasco + agua+ briqueta disgregada

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ADICIÓN DE POLÍMEROS



Muestra del polímero PET



Muestra del polímero PP



Colocando el polímero PET en la mezcla de agregados.



Colocando el polímero PP en la mezcla de agregados.



Colocando el polímero PET Y PP en la mezcla de agregados.



Mezclando agregados con polímero y cemento asfáltico.



Mezcla homogénea de agregados con polímero y cemento asfáltico.



Colocando aceite en los moldes para la compactación de la mezcla.



Colocando la mezcla asfáltica en el molde de compactación.



Compactando la mezcla asfáltica modificada.



Briquetas elaboradas con diferentes porcentajes de polímeros.



Ensayando a las briquetas con adición de polímeros en la Máquina Marshall.



Disgregando la briqueta con adición de polímero.



Peso del frasco + muestra+agua



Realizando el ensayo rice con la máquina extractora de vacíos.