

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMEROS SBR
Y SBS, CON AGREGADOS PROVENIENTES DE LA
CANTERA DE GUAYLLABAMBA”**

Previa a la obtención de Grado Académico o Título de:

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

**STALIN WLADIMIR LÓPEZ
JÁCOME**

**YADIRA ALEXANDRA VELOZ
VÁSQUEZ**

SANGOLQUI, MAYO DE 2013

RESUMEN

El proyecto de tesis “Análisis comparativo de mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR y SBS, con agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba”, tiene como finalidad brindar al lector una guía básica sobre el uso de mezclas asfálticas modificadas con polímeros. Este documento deberá ser tomado de manera referencial y como ayuda para que el lector establezca sus propias especificaciones en proyectos particulares, como es de conocimiento general los resultados de diseño están en función a las características de los materiales utilizados en el proyecto.

Además, este documento presenta detalladamente los procedimientos que se deben realizar para los ensayos de caracterización del agregado pétreo, asfalto y emulsión asfáltica, modificadas con diferentes porcentajes de polímero SBS y SBR, estableciendo los porcentajes óptimos de asfalto o emulsión según sea el caso y el porcentaje óptimo de polímero para la mezcla, así mismo realizar un análisis comparativo entre las mezclas asfálticas sin modificar y modificadas con polímero, teniendo en cuenta las propiedades de estabilidad y flujo de cada mezcla.

Finalmente se presenta un análisis comparativo de costos entre las mezclas asfálticas modificadas y sin modificar, para que el profesional tenga en cuenta en el momento de escoger su uso en obra.

ABSTRACT

The thesis project "Comparative analysis of polymer modified asphalt mixtures SBR and SBS, with aggregates from quarry Guayllabamba", aims to give the reader a basic guide on the use of polymer modified asphalt mixtures. This document should be taken for reference purposes and as an aid for the reader to establish their own specifications on particular projects, as is generally known design results are a function of the characteristics of the materials used in the project.

In addition, this paper presents in detail the procedures to be performed for characterization testing stone aggregate, asphalt and asphalt emulsion modified with different percentages of SBS and SBR polymer, establishing the optimal percentages of asphalt or emulsion as applicable and optimal percentage of polymer to the mixture, also a comparative analysis between the asphalt mixtures with unmodified and modified polymer, taking into account the stability and flow properties of each mixture.

Finally, a comparative cost analysis between the asphalt mixtures modified and unmodified, for the professional to consider when choosing to use on site.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. STALIN WLADIMIR LÓPEZ JÁCOME y la Srta. YADIRA ALEXANDRA VELOZ VÁSQUEZ como requerimiento parcial a la obtención del título de INGENIERO(A) CIVIL.

17 Mayo de 2013

ING. FRANCO ROJAS RÚALES

ING. HUGO BONIFAZ GARCÍA

REVISADO POR

ING. JORGE ZÚÑIGA G.

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Stalin Wladimir López Jácome y Yadira Alexandra Veloz Vásquez autorizamos la publicación de la tesis “ANÁLISIS COMPARATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADO CON POLÍMEROS SBR Y SBS, CON AGREGADOS PROVENIENTES DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA”, la cual es de nuestra propia autoría y responsabilidad.

17 Mayo de 2013

STALIN W. LÓPEZ JÁCOME

YADIRA A. VELOZ VÁSQUEZ

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de tesis a Dios, ya que sin él nada sería posible, por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional, a mis padres Germán López y Germania Jácome por ser uno de mis pilares más importantes, por su apoyo y su voz de aliento cuando lo necesité, a mi hermana Verónica López Jácome, a quien tanto quiero, por ser mi ejemplo de superación, a mis abuelos, tíos y primas, por compartir tantos momentos significativos conmigo y en especial a mi abuelo Víctor Jácome, que aunque ya no estás conmigo físicamente siento que me acompañas a cada instante, sé que este momento hubiera sido tan especial para ti como lo es para mí.

STALIN WLADIMIR LÓPEZ JÁCOME

DEDICATORIA

Primero y antes que nada quiero dar dedicar a Dios este proyecto de tesis por estar conmigo en cada paso que doy y darme fortaleza en mi corazón e iluminar mi mente con sabiduría para culminar esta etapa estudiantil, a mis padres Edwin Veloz y Jacqueline Vásquez por ser mi apoyo incondicional y no dejarme desistir, a mis hermanos Adrián, Santiago y Dayra Veloz mis hermanos queridos por los cuales me esfuerzo más cada día para darles el mejor ejemplo posible.

YADIRA ALEXANDRA VELOZ VÁSQUEZ

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fuerza para seguir adelante en cada paso que doy y ayudarme a salvar todos los obstáculos que el camino se trasponen.

A mis padres, que sin dudar, me ha apoyado en todos los proyectos emprendidos en mi vida, demostrándome su amor incondicional, que han sabido corregir mis errores y celebrar mis triunfos.

A mi hermana, por ser esa amiga incondicional que me brinda su apoyo y sus consejos para superar los retos que la vida me presenta.

A mis abuelos, tíos y primas, por apoyarme y ayudarme a superar los momentos difíciles.

A mi abuelo, por todo el cariño que deposito en mí, por haberme dejado la enseñanza más importante, luchar en la vida hasta el último aliento.

A mis verdaderos amigos, por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria, por compartir momentos de alegría, tristeza y demostrarme que siempre podré contar con ellos.

Al Ing. Franco Rojas e Ing. Hugo Bonifaz, por toda la colaboración brindada durante la elaboración de este proyecto.

STALIN WLADIMIR LÓPEZ JÁCOME

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de vivir, por todas las bendiciones de las que me ha colmado y por poner en mi vida a todas las personas que han sabido encaminarme por el camino a la excelencia.

A mi familia que gracias a su apoyo pude concluir mi carrera, por ellos soy lo que soy.

A mi madre, Jacqueline Vásquez, por darme la vida, palabras de aliento y no dejarme desmayar ante las dificultades que se presentaron en este trayecto.

A mi padre, Edwin Veloz, por confiar en mí y darme su apoyo incondicional en toda mi vida estudiantil.

A mis hermanos Adrián, Santiago, Dayra a quienes tanto quiero por ser mi alegría y motivación, estar siempre presentes en mi vida acompañándome para poderme realizar y por quienes me esfuerzo cada día para darles el mejor ejemplo.

A mi novio Diego que sobre todo ha sido un amigo incondicional acompañándome todo este tiempo.

A mi director de tesis Ing. Franco Rojas por brindarme sus conocimientos y ser un pilar fundamental para poder realizar este proyecto de grado.

A todo el resto de mi familia y amigos, por compartir los buenos y malos momentos, que de una u otra manera me han llenado de sabiduría.

YADIRA ALEXANDRA VELOZ VÁSQUEZ

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
CERTIFICACIÓN.....	IV
AUTORIZACIÓN	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	X
LISTADO DE TABLAS	XVIII
LISTADO DE CUADROS	XX
LISTADO DE FIGURAS	XXII
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. ÁREA DE INFLUENCIA	2
1.3. OBJETIVOS DEL PROYECTO	3
1.3.1. <i>Objetivo General del Proyecto</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos del Proyecto</i>	3
1.4. METAS DEL PROYECTO.....	3
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
CAPÍTULO II: GENERALIDADES.....	6
2.1. ASFALTO	6

2.1.1.	<i>Antecedentes</i>	6
2.1.2.	<i>Definición</i>	8
2.1.3.	<i>Obtención del Asfalto en Refinerías</i>	8
2.1.3.1.	Destilación Primaria	8
2.1.3.2.	Destilación al Vacío	9
2.1.3.3.	Desasfaltización con propano o butano	9
2.1.4.	<i>Composición del Asfalto</i>	10
2.1.5.	<i>Propiedades del Asfalto</i>	12
2.1.5.1.	Durabilidad	12
2.1.5.2.	Adhesión y Cohesión	12
2.1.5.3.	Susceptibilidad al endurecimiento y al envejecimiento	13
2.1.5.4.	Susceptibilidad a la temperatura	13
2.1.6.	<i>Tipos de asfalto utilizados en Pavimentos</i>	13
2.1.6.1.	Cementos Asfálticos (AC)	13
2.1.6.2.	Asfaltos Líquidos	14
2.1.6.2.1.	Asfalto de curado rápido	14
2.1.6.2.2.	Asfalto de curado medio	15
2.1.6.2.3.	Asfalto de curado lento	15
2.1.6.2.4.	Road oil	15
2.1.6.3.	<i>Emulsiones Asfálticas</i>	16
2.1.6.4.	Emulsión aniónica	16
2.1.6.5.	Emulsión catiónica	17
2.2.	POLÍMEROS	17
2.2.1.	<i>Antecedentes</i>	17
2.2.2.	<i>Definición</i>	19
2.2.3.	<i>Tipos de polímeros</i>	20
2.2.3.1.	Polímeros naturales	20
2.2.3.2.	Polímeros artificiales	20
2.2.3.3.	Polímeros sintéticos	20
2.2.4.	<i>Producción de los polímeros</i>	21
2.2.4.1.	Polimerización por adición	21

2.2.4.2.	Polimerización por condensación.....	22
2.2.5.	<i>Clasificación de los polímeros</i>	22
2.2.5.1.	Según su composición	22
2.2.5.2.	Según su estructura.....	23
2.2.5.3.	Según la reacción de polimerización	24
2.2.5.4.	Según su comportamiento frente al calor.....	25
2.2.5.5.	Según su área de aplicación	25
2.2.6.	<i>Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos</i>	27
2.2.6.1.	Asfaltos modificados con polímeros tipo Elastómeros.....	27
2.2.6.1.1.	Latex, Hule natural, SBS, SBR.	28
2.2.6.1.2.	Hule de llanta	29
2.2.6.2.	Asfaltos modificados con polímeros tipo Plastómeros	30
2.2.6.2.1.	Polietileno	30
2.2.6.2.2.	PVC.....	31
2.2.6.2.3.	EVA.....	31
2.3.	ASFALTOS MODIFICADOS	32
2.3.1.	<i>Antecedentes</i>	32
2.3.2.	<i>Definición</i>	34
2.3.3.	<i>Principales modificadores utilizados en el asfalto</i>	34
2.3.3.1.	POLÍMERO TIPO I.....	34
2.3.3.2.	POLÍMERO TIPO II.....	35
2.3.3.3.	POLÍMERO TIPO III.....	35
2.3.3.4.	HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS	36
2.4.	NORMATIVIDAD	37
2.4.1.	<i>Normas y ensayos aplicados a asfaltos</i>	37
2.4.1.1.	Viscosidad ASTM D 2171(Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos)	37
2.4.1.2.	Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos).....	38
2.4.1.3.	Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos). 38	38

2.4.1.4.	Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto)	39
2.4.1.5.	Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos)	39
2.4.1.6.	Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno)	40
2.4.1.7.	Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos)	40
2.4.1.8.	Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (Anillo y bola)	41
2.4.1.9.	Resiliencia ASTM D- 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos)	42
2.4.1.10.	Recuperación elástica por ductilómetro ASTM D-6084 (Método de prueba estándar para materiales bituminosos)	42
2.4.2.	<i>Normas y ensayos aplicados a agregados</i>	43
2.4.2.1.	Granulometría	43
CAPITULO III: AGREGADO PÉTREO		46
3.1.	AGREGADOS PROCEDENTES DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA	46
3.2.	GEOLOGÍA:	47
3.3.	MUESTREO DE MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA EMPLEANDO LA NORMA ASTM D 75 (AASTHO T-2).	47
3.3.1.	<i>Objetivo</i>	47
3.3.2.	<i>Toma de Muestras</i>	48
3.3.3.	<i>Muestreo</i>	49
3.3.3.1.	Muestreo de correas transportadoras	49
3.3.3.2.	Muestreo de acopios.....	50
3.4.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS EMPLEANDO LA NORMA ASTM C 128 (AASTHO T 84)	50
3.4.1.	<i>Objetivo</i>	50
3.4.2.	<i>Procedimiento</i>	51
3.4.3.	<i>Cálculos</i>	52
3.4.4.	<i>Resultados</i>	54

3.5.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS GRUESOS EMPLEANDO LA NORMA ASTM C 127	
(AASHTO T 85)	.....	54
3.5.1.	<i>Objetivo</i>	54
3.5.2.	<i>Procedimiento</i>	55
3.5.3.	<i>Cálculos</i>	56
3.5.4.	<i>Resultados</i>	57
3.6.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS APLICANDO LA NORMA ASTM C 136	
(AASHTO T 27)	.....	58
3.6.1.	<i>Objetivo</i>	58
3.6.2.	<i>Procedimiento</i>	58
3.6.3.	<i>Resultados</i>	60
3.7.	DETERMINACIÓN DEL VALOR “EQUIVALENTE DE ARENA” DE SUELOS Y AGREGADOS FINOS APLICANDO LA	
NORMA ASTM D 2419	.....	62
3.7.1.	<i>Objetivo</i>	62
3.7.2.	<i>Procedimiento</i>	63
3.7.3.	<i>Cálculos</i>	64
3.7.4.	<i>Resultados</i>	64
3.8.	ENSAYO DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO	
USANDO LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA EMPLEANDO		
LA NORMA AASHTO T 96 (ASTM C 131).	.....	65
3.8.1.	<i>Objetivo</i>	65
3.8.2.	<i>Procedimiento</i>	65
3.8.3.	<i>Cálculos</i>	68
3.8.4.	<i>Resultados</i>	69
3.9.	ENSAYO DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA DE	
GUAYLLABAMBA EMPLEANDO LA NORMA ASTM D 4313	.....	69
3.9.1.	<i>Objetivo</i>	69
3.9.2.	<i>Procedimiento</i>	70
3.9.3.	<i>Cálculos</i>	72

3.9.4.	<i>Resultados</i>	72
3.10.	ENSAYO DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO PARA LOS MATERIALES PÉTREOS DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA EMPLEANDO LA NORMA AASHTO T 89.....	73
3.10.1.	<i>Objetivo</i>	73
3.10.2.	<i>Procedimiento</i>	73
3.10.3.	<i>Cálculos</i>	75
3.10.4.	<i>Resultados</i>	75
CAPITULO IV: LIGANTES		76
4.1.	ENSAYOS EN ASFALTO	76
4.1.1.	<i>Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos (Aparato De Anillo Y Bola) empleando la Norma ASTM D 36</i>	76
4.1.1.1.	Objetivo.....	76
4.1.1.2.	Procedimiento.....	76
4.1.1.3.	Resultados.....	79
4.1.2.	<i>Índice de Penetración Cementos Asfálticos empleando la Norma ASTM D5 (AASHTO T 49)</i>	79
4.1.2.1.	Objetivo.....	79
4.1.2.2.	Procedimiento.....	80
4.1.2.3.	Resultados.....	82
4.1.3.	<i>Ensayo de ductilidad en el asfalto empleando la Norma ASTM D 113.</i>	83
4.1.3.1.	Objetivo.....	83
4.1.3.2.	Procedimiento.....	83
4.1.3.3.	Resultados.....	85
4.2.	ENSAYO EN LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	86
4.2.1.	<i>Ensayo para determinar el Porcentaje de Asfalto Residual empleando la Norma ASTM D 6934-8</i>	86
4.2.1.1.	Objetivo.....	86
4.2.1.2.	Procedimiento.....	86
4.2.1.3.	Cálculos	87

4.2.1.4.	Resultados	87
CAPITULO V: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA		88
5.1.	PREREQUISITOS	88
5.1.1.	<i>Diseño de Carpeta Asfáltica</i>	88
5.1.1.1.	<i>Requerimientos</i>	88
5.1.1.2.	Relaciones de Gravimétricas y Volumétricas de las Mezclas Asfálticas.....	89
5.1.1.3.	Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)	92
5.1.1.4.	Gravedad Específica Efectiva del agregado (Gse).....	92
5.1.1.5.	Gravedad Específica Máxima	93
5.1.1.6.	Absorción de asfalto (Pba)	94
5.1.1.7.	Contenido efectivo de asfalto (Pbe).....	94
5.1.1.8.	Vacíos de Agregado Mineral.....	95
5.1.1.9.	Vacíos de aire (Va).....	95
5.1.1.10.	Vacíos llenados con asfalto (VFA).....	96
5.1.2.	<i>Dosificación de los Agregados Pétreos</i>	96
5.1.3.	<i>Combinación de dos agregados</i>	97
5.2.	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMERO SBS.....	99
5.2.1.	<i>Método Marshall del diseño de mezcla</i>	99
5.2.2.	<i>Dosificación de asfalto</i>	100
5.2.3.	<i>Preparación de las probetas de ensayo</i>	102
5.2.4.	<i>Ensayo de muestras</i>	106
5.2.5.	<i>Resultados</i>	109
5.2.6.	<i>Determinación del porcentaje óptimo de polímero SBS</i>	114
5.2.7.	<i>Procedimiento</i>	114
5.2.8.	<i>Resultados</i>	116
5.3.	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO MODIFICADA CON POLÍMERO SBR.....	119
5.3.1.	<i>Cantidad aproximada de emulsión asfáltica para determinar el contenido de óptimo de agua</i>	119
5.3.2.	<i>Prueba de recubrimiento</i>	120

5.3.3.	<i>Contenido de agua óptima para la compactación</i>	121
5.3.3.1.	Procedimiento	121
5.3.3.2.	Resultados	124
5.3.4.	<i>Contenido óptimo de emulsión para la mezcla</i>	126
5.3.4.1.	Procedimiento	126
5.3.4.2.	Resultados	129
5.3.5.	<i>Obtención de la mezcla con polímero óptimo</i>	131
5.3.5.1.	Procedimiento	132
5.3.5.2.	Resultados	135
CAPITULO VI: ANALISIS COMPARATIVO Y PRECIOS UNITARIOS		137
6.1.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	137
6.1.1.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE SIMPLE Y MODIFICA CON POLÍMERO SBS	137
6.1.2.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO SIMPLE Y MODIFICA CON POLÍMERO SBR	139
6.1.3.	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE Y FRÍA	141
6.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS APLICADOS A LOS AGREGADO Y LIGANTES	143
6.2.1.	<i>Agregados Procedentes de la cantera de Guayllabamba</i>	143
6.2.2.	<i>Ligantes procedentes de Chova</i>	144
6.3.	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU	145
6.3.1.	<i>Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica en caliente simple</i>	145
6.3.2.	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMERO SBS (2.5%)	146
6.3.3.	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO SIMPLE	147
6.3.4.	ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO MODIFICADA CON POLÍMERO SBR (3%) ...	148
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		149
7.1.	CONCLUSIONES.....	149
7.1.1.	<i>Conclusiones generales</i>	149
7.2.	RECOMENDACIONES	152
7.3.	BIBLIOGRAFÍA	154

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2.1: HISTORIA DEL ASFALTO.....	7
TABLA 2.2: NORMAS AASHTO Y ASTM APLICABLES A ASFALTOS MODIFICADOS.....	37
TABLA 2.3: NORMAS AASHTO Y ASTM APLICABLES PARA LOS AGREGADOS.	43
TABLA 3.1: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.	54
TABLA 3.2: TABLA DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.	57
TABLA 3.3: TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL.....	59
TABLA 3.4: GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	60
TABLA 3.5: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS Y MEDIOS PARA CURVA GRANULOMÉTRICA ÓPTIMA.....	61
TABLA 3.6: GRANULOMETRÍA REQUERIDA PARA UNA BRIQUETA DE 1200 G.	62
TABLA 3.7: EQUIVALENTE DE ARENA.....	64
TABLA 3.8: JUEGO DE TAMICES.....	66
TABLA 3.9: GRADACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO.	67
TABLA 3.10: CARGA DE ACUERDO AL TIPO DE COMPOSICIÓN.	67
TABLA 3.11: RESULTADO DEL DESGASTE POR ABRASIÓN AASHTO T 96 EN EL AGREGADO DE GUAYLLABAMBA	69
TABLA 4.1: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE REBLANDECIMIENTO.	79
TABLA 4.2: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PENETRACIÓN.....	82
TABLA 4.3: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUCTILIDAD.	85
TABLA 4.4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ASFALTO RESIDUAL.....	87
TABLA 5.1: REQUERIMIENTOS PARA DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA.	88
TABLA 5.2: COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	97
TABLA 5.3: GRANULOMETRÍA REQUERIDA PARA UNA BRIQUETA DE 1200 G.	98

TABLA 5.4: COMBINACIÓN OPTIMA DE AGREGADOS.....	98
TABLA 5.5: DATOS PARA CALCULAR EL CONTENIDO DE ASFALTO EN LA MEZCLA.....	101
TABLA 5.6: NÚMERO DE BRIQUETAS Y PORCENTAJES DE ASFALTO USADO.	102
TABLA 5.7: RESULTADOS DEL CÁLCULO DE GRAVEDADES.	109
TABLA 5.8: RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA (GSE), ABSORCIÓN DE ASFALTO (PBA) Y CONTENIDO EFFECTIVO DE ASFALTO (PBE).....	109
TABLA 5.9: COMPROBACIÓN DE GRAVEDADES.	110
TABLA 5.10: RESULTADOS ENSAYOS MARSHALL.....	111
TABLA 5.11: RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA (GSE), ABSORCIÓN DE ASFALTO (PBA) Y CONTENIDO EFFECTIVO DE ASFALTO (PBE).....	116
TABLA 5.12: COMPROBACIÓN DE GRAVEDADES.	116
TABLA 5.13: RESULTADOS ENSAYO MARSHALL A BRIQUETAS CON POLÍMEROS.	117
TABLA 5.14: CANTIDAD APROXIMADA DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.	120
TABLA 5.15: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA.	124
TABLA 5.16: CÁLCULOS PARA PERDIDA DE AGUA POR COMPACTACIÓN.	125
TABLA 5.17: CÁLCULO DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE EMULSIÓN.	129
TABLA 5.18: DATOS DEL CUADRO 5.12.	130
TABLA 5.19: DATOS DEL CUADRO 5.13.	131
TABLA 5.20: DATOS DEL CUADRO 5.14.	131
TABLA 5.21: CÁLCULO PARA LA MEZCLA ÓPTIMA CON POLÍMERO.	135
TABLA 6.1: CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO PÉTREO DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA USADOS PARA LA MEZCLA EN FRIO Y EN CALIENTE.	143
TABLA 6.2: CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO USADO PARA LA MEZCLA EN CALIENTE.....	144
TABLA 6.3: CARACTERIZACIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA USADA PARA LA MEZCLA EN FRIO.	144
TABLA 6.4: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	145
TABLA 6.5: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON POLÍMERO SBS AL 2.5% EN CALIENTE.....	146
TABLA 6.6: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO.	147
TABLA 6.7: ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON POLÍMERO SBR AL 3% EN FRÍO.....	148

LISTADO DE CUADROS

CUADRO 3.1: CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO ENTRE LAS ESPECIFICACIONES DE LA NORMA.....	61
CUADRO 3.2: CURVA GRANULOMÉTRICA ÓPTIMA DEL AGREGADO.....	62
CUADRO 5.1: GRANULOMETRÍA OBTENIDA CON LA COMBINACIÓN REALIZADA CON LOS AGREGADOS DE LA CANTERA DE GUAYLLABAMBA.....	97
CUADRO 5.2: CURVA GRANULOMÉTRICA ÓPTIMA DEL AGREGADO.....	98
CUADRO 5.3: DENSIDAD VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	112
CUADRO 5.4: ESTABILIDAD VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	112
CUADRO 5.5: FLUJO VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	112
CUADRO 5.6: VACÍOS DE AIRE VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	113
CUADRO 5.7: VACÍOS DE AGREGADO MINERAL VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	113
CUADRO 5.8: VACÍOS DE ASFALTO VS PORCENTAJE DE ASFALTO.....	113
CUADRO 5.9: ESTABILIDAD VS PORCENTAJE DE POLÍMERO SBS.....	118
CUADRO 5.10: FLUJO VS PORCENTAJE DE POLÍMERO SBS.....	118
CUADRO 5.11: CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA.....	124
CUADRO 5.12: ASFALTO RESIDUAL VS. DENSIDAD BULK.....	130
CUADRO 5.13: ASFALTO RESIDUAL VS. ESTABILIDAD.....	130
CUADRO 5.14: ASFALTO RESIDUAL VS. VARIACIÓN DE LA ESTABILIDAD.....	131
CUADRO 5.15: PORCENTAJE DE POLÍMERO VS. ESTABILIDAD.....	136
CUADRO 5.16: PORCENTAJE DE POLÍMERO VS. FLUJO.....	136
CUADRO 6.2: INCREMENTO DE LA ESTABILIDAD REFERENTE AL PORCENTAJE ÓPTIMO DE POLÍMERO SBS.....	137
CUADRO 6.3: INCREMENTO DEL FLUJO REFERENTE AL PORCENTAJE ÓPTIMO DE POLÍMERO SBS.....	138
CUADRO 6.4: INCREMENTO DE ESTABILIDAD REFERENTE AL PORCENTAJE ÓPTIMO DE POLÍMERO SBR.....	139

CUADRO 6.5: INCREMENTO DE FLUJO REFERENTE AL PORCENTAJE ÓPTIMO DE POLÍMERO SBR.....	140
CUADRO 6.6: COMPARACIÓN DE ESTABILIDAD ENTRE MEZCLA EN CALIENTE Y FRÍO.....	141
CUADRO 6.7: COMPARACIÓN DE FLUJO ENTRE MEZCLA EN CALIENTE Y FRÍO.....	142
CUADRO 7.1. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE ASFALTO OPTIMO.....	150

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.1: MAPA DEL ECUADOR.....	2
FIGURA 2.2: OBTENCIÓN DEL ASFALTO	10
FIGURA 2.3: ESQUEMA COLOIDAL DE PFEIFFER.	11
FIGURA 2.4: ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE LAS EMULSIONES ASFÁLTICAS.	16
FIGURA 2.5: ESQUEMA DE POLIMERIZACIÓN POR ADICIÓN.	21
FIGURA 2.6: ESQUEMA DE POLIMERIZACIÓN POR CONDENSACIÓN.	22
FIGURA 2.7: EJEMPLO DE HOMOPOLÍMERO.	23
FIGURA 2.8: EJEMPLO DE COPOLÍMERO.	23
FIGURA 2.9: EJEMPLO DE POLIMERIZACIÓN POR REACCIÓN EN CADENA.	24
FIGURA 2.10: POLÍMERO SBR Y SBS.....	29
FIGURA 3.1: MINA DE GUAYLLABAMBA.	46
FIGURA 3.2: BANDA TRANSPORTADORA DE AGREGADO PÉTREO.	49
FIGURA 3.3: ACOPIO DE MATERIAL PÉTREO.	50
FIGURA 3.4: EXTRACCIÓN DE BURBUJAS DE AIRE UTILIZANDO BOMBA DE VACÍOS.	51
FIGURA 3.5: PESO DEL PICNÓMETRO AGUA Y MUESTRA.	52
FIGURA 3.6: PROBETA CON MUESTRA.	64
FIGURA 3.7: TAMIZADO DEL AGREGADO PÉTREO.	66
FIGURA 3.8: MAQUINA DE LOS ÁNGELES.	68
FIGURA 3.9: ENSAYO LIMITE PLÁSTICO, MATERIAL NO PLÁSTICO.	72
FIGURA 3.10: ENSAYO EN CASAGRANDE.	75
FIGURA 4.1: ANILLOS LLENOS DE ASFALTO.	77

FIGURA 4.2: EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO.	78
FIGURA 4.3: CULMINACIÓN DEL ENSAYO DE REBLANDECIMIENTO.	78
FIGURA 4.4: MUESTRA PREVIA AL ENSAYO DE PENETRACIÓN.....	81
FIGURA 4.5: TOMA DE LA LECTURA DE PENETRACIÓN.	82
FIGURA 4.6: MUESTRA EN LOS MOLDES A BAÑO DE AGUA A 25°C.	84
FIGURA 4.7: REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE DUCTILIDAD.	85
FIGURA 5.1: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE FASES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA.	89
FIGURA 5.2: ILUSTRACIÓN DEL VOLUMEN DE AIRE, VOLUMEN DE ASFALTO EFECTIVO Y VOLUMEN DE ASFALTO ABSORBIDO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA.	91
FIGURA 5.3: PAQUETES DE 1200 G PARA CADA BRIQUETA.	99
FIGURA 5.4: MEZCLADO Y CONTROL DE TEMPERATURA.	103
FIGURA 5.5: BRIQUETA EN LA COMPACTADORA.	104
FIGURA 5.6: EXTRACCIÓN DE MUESTRAS.	105
FIGURA 5.7: PESO EN EL AIRE DE UNA BRIQUETA.	106
FIGURA 5.8: PROBETAS SUMERGIDAS A 60°C.	107
FIGURA 5.9: BRIQUETA COLOCADA EN LA MAQUINA MARSHALL.	107
FIGURA 5.10: BRIQUETAS ENSAYADAS CON 3% DE ASFALTO.....	108
FIGURA 5.11: ADICIÓN DEL POLÍMERO SBS EN EL ASFALTO.....	115
FIGURA 5.12: ENSAYO DE LAS PROBETAS CON POLÍMERO SBS.	115
FIGURA 5.13: MUESTRA RECUBIERTA CON EMULSIÓN.	120
FIGURA 5.14: COMPACTACIÓN DE LA MUESTRA PARA DETERMINAR CONTENIDO ÓPTIMO DE AGUA.	122
FIGURA 5.15: ENSAYO DE MARSHALL MODIFICADO.	123
FIGURA 5.16: PERDIDA DE AGUA POR COMPACTACIÓN.....	126
FIGURA 5.17: SATURACIÓN DE LA BRIQUETA EN LA BOMBA DE VACÍOS.	127
FIGURA 5.18: BRIQUETAS ENSAYADAS.	128
FIGURA 5.19: ADICIÓN DEL POLÍMERO SBR EN LA EMULSIÓN.	132
FIGURA 5.20: ADICIÓN DEL AGUA EN EL AGREGADO.	132
FIGURA 5.21: MEZCLA DE AGREGADO, AGUA Y EMULSIÓN CON POLÍMERO.	133

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

El desarrollo de un país está relacionado directamente con la capacidad de movilidad que posee el mismo, por esta razón el desarrollo de nuevas propuestas para mejorar las características de sus componentes y reducir sus costos de construcción, desarrollará una economía sustentable y competitiva globalmente.

Con el desarrollo de nuevos asfaltos modificados con polímeros se logra un alto rendimiento vial que mejorará las condiciones de tránsito y con costos moderados, indiscutiblemente la implementación en Ecuador da como resultado más y mejores beneficios sociales, económicos y ambientales.

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).¹

¹ Macías, J. (1994). XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Modificación de Asfaltos con Polímeros. Ponencia presentada en Morelia, Michoacán.

1.2. Área de Influencia

Los principales beneficiarios de la investigación de este Proyecto de Grado serán los alumnos que se proyecten en el campo de la ingeniería vial, docentes y profesionales que tengan una relación directa con el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, e instituciones públicas y privadas que realicen labores de mantenimiento vial. Los cuales mediante el presente proyecto tendrán una base teórica-práctica en cuanto a la aplicación de polímeros en el diseño de mezclas asfálticas.

Todas las poblaciones beneficiadas por la construcción y/o mejoramiento de las carreteras de hormigón asfáltico en el Ecuador, garantizándoles un producto que cumpla con los más altos estándares de calidad en cuanto al asfalto se refiere.²



Figura 1.1: Mapa del Ecuador.

Fuente: <http://www.funcionjudicial-pichincha.gob.ec>

² Tipán, J. (2012). Control de calidad de Cementos Asfálticos tipo Ap-3 utilizados en la fabricación de Hormigón Asfáltico para Capas de rodadura de las carreteras del Ecuador, mediante ensayos en Laboratorio. Tesis de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.

1.3. Objetivos del Proyecto

1.3.1. Objetivo General del Proyecto

Realizar un análisis comparativo de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros tipo SBS y SBR.

1.3.2. Objetivos Específicos del Proyecto

- Realizar la caracterización de los agregados provenientes de la cantera de Guayllabamba, teniendo en cuenta las Normas ASTM.
- Realizar la caracterización de las mezclas asfálticas sin la consideración de polímeros.
- Realizar la caracterización de las mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de polímeros.

1.4. Metas del proyecto

- Determinar el porcentaje de polímero óptimo para el diseño de mezclas asfálticas.
- Realizar comparaciones entre los porcentajes de polímeros aplicados SBR y SBS para la conformación de mezclas asfálticas.
- Determinar los beneficios de esta investigación al aplicar polímeros en mezclas asfálticas.

- Mediante conclusiones y recomendaciones se presentará una guía sobre diseño de mezclas asfálticas modificadas con polímeros (SBR, SBS).

1.5. Justificación e Importancia

En conocimiento de la problemática vial del país y específicamente de los problemas que representa el mal estado de las carreteras en varias zonas, se propone realizar una investigación detallada sobre varias modificaciones que se puede realizar al asfalto con diferentes polímeros comunes en el medio, para con esto lograr como resultado una mejor calidad de las mezclas asfálticas, por ende obtener capas de rodadura de la más alta calidad con costos razonables y proveer de una alternativa útil a los profesionales que se dedican a la construcción de carreteras de pavimento asfáltico en el Ecuador.

En el Ecuador como en gran parte de los países del mundo, se utiliza el pavimento asfáltico, en la construcción y operación de un significativo número de carreteras, las mismas que son un tema de gran importancia nacional.

Lamentablemente las obras viales en su conjunto, el funcionamiento de las mismas y particularmente las capas de rodadura, presentan problemas recurrentes y críticas generalizadas de los usuarios por las dificultades que ocasiona al tráfico vehicular, desembocando en frecuentes

reparaciones, daños prematuros de las calzadas y el uso de altos presupuestos para el mantenimiento y conservación vial, razón que justifica la búsqueda de polímeros que modifiquen la mezcla asfáltica, como un posible solución de incrementar los períodos de duración vial.

Para tal objetivo se trabajará con diferentes tipos de polímeros como son SBS y SBR materiales comunes en el Ecuador e interpretar su comportamiento en los pavimentos y hormigones asfálticos de uso frecuente en las vías de nuestro medio, para reportar posteriormente recomendaciones que permitan mejorar su elaboración y procedimientos constructivos que amplíen los períodos de duración y servicio.

Son muchos los factores y causas que intervienen en los problemas de los pavimentos asfálticos y su buen funcionamiento, pero no se puede desconocer que los porcentajes (%) más altos están relacionados con la calidad de los materiales componentes, la preparación de los mismos y los procedimientos constructivos, contrariamente a esta realidad en el Ecuador no se registran estudios serios relacionados con algunas de estas causas, es más no se conoce acerca de la existencia de un estudio pormenorizado sobre la modificación con polímeros a los asfaltos en el comportamiento y resistencia real de los pavimentos asfálticos de nuestras carreteras, razón por la cual se quiere aportar con nuevas y mejores maneras de conformar una mezcla asfáltica que en un futuro permitan mejorar las vías y prolongar los tiempos de uso y duración.

CAPÍTULO II: GENERALIDADES

2.1. ASFALTO

2.1.1. Antecedentes

El asfalto es un componente natural, la mayor parte los petróleos. La palabra asfalto deriva de la lengua que se hablaba en las orillas del Tigris superior de Asia entre los años 1400 y 600 A.C. En esta zona se encuentra la palabra *sphalto*, que significa “durable”. Después el vocablo fue adoptado por el griego, pasó al latín y, más adelante al francés (*asphalte*), al español (*asfalto*) y al inglés (*asphalt*).

Los estudios arqueológicos indican que es uno de los materiales de construcción más antiguos que el hombre ha utilizado, ya que apreciaron rápidamente las excelentes propiedades impermeabilizantes, adhesivas y de preservación que tenía.³

³ [en línea], Disponible en :<http://www.repsol.com>

Tabla 2.1: Historia del asfalto.

AÑO	USO
6000 a.C.	En Sumeria, se utilizaba en la industria de navegación. La torre de Babel es una de las tantas construcciones en donde se utilizó como mortero.
3200 - 2600 a.C.	Utilizado por los egipcios para impermeabilizar.
2600 - 540 a.C.	Excavaciones arqueológicas recientes indican el amplio uso del asfalto en Mesopotamia y el Valle del Indo como aglomerante para albañilería y construcción de carreteras y para capas de impermeabilización en estanques y depósitos de agua.
300 a.C.	Se emplea ampliamente en Egipto para embalsamamientos.
1802 d.C.	En Francia se emplea roca asfáltica para pavimentación de suelos, puentes y aceras.
1838 d.C.	En Filadelfia se emplea roca asfáltica importada en la construcción de aceras.
1870 d.C.	Construcción del primer pavimento asfáltico en Newark, Nueva Jersey por el profesor E. J. DeSmedt, químico belga.
1876 d.C.	Construcción del primer pavimento de tipo sheet asphalt en Washington D. C. con asfalto de lago importado.
1902 d.C.	En Estados Unidos se obtienen de la destilación del petróleo aproximadamente 120,000 barriles al año.

Fuente: Conferencia: Esquema Actual y Futuro de Producción de Asfaltos en PEMEX Refinación. Ing.: Jorge Rodríguez Villar. 2000

En su evolución, se han logrado avances significativos al tratar el cemento asfáltico original (obtenido del petróleo crudo) con otras sustancias que permiten mejorar su comportamiento cuando es sometido a condiciones extremas, como climas muy fríos o calurosos, tránsito de vehículos muy pesados o ambientes agresivos.

Sólo en Europa actualmente existen más de 4000 plantas de mezcla asfáltica alrededor de 16 países. (España se encuentra entre los principales

fabricantes), que producen aproximadamente 300 millones de toneladas al año. El asfalto es totalmente reciclable y su reutilización ha aumentado considerablemente en los últimos años, llegando hasta el 70%.

2.1.2. Definición

Es una sustancia negra, pegajosa, sólida o semisólida según la temperatura ambiente; a la temperatura de ebullición del agua tiene consistencia pastosa, por lo que se extiende con facilidad.⁴

2.1.3. Obtención del Asfalto en Refinerías

El crudo de petróleo es una mezcla de distintos hidrocarburos que incluyen desde gases muy livianos como el metano hasta compuestos semisólidos muy complejos, los componentes del asfalto. Para obtener este debe separarse entonces las distintas fracciones del crudo de petróleo por destilaciones que se realizan en las refinerías de petróleo.⁵

2.1.3.1. Destilación Primaria

Es la primera operación a que se somete el crudo. Consiste en calentar el crudo en hornos tubulares hasta aproximadamente 375°C. Los

⁴ [en línea], Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/52283919/asfalto>

⁵ [en línea], Disponible en: (E-Asfalto)

componentes livianos (nafta, kerosene, gas oíl), hierven a esta temperatura y se transforman en vapor. La mezcla de vapores y líquido caliente pasa a una columna fraccionadora. El líquido o residuo de destilación primaria se junta todo en el fondo de la columna y de ahí se bombea a otras unidades de la refinería.

2.1.3.2. Destilación al Vacío

Para separar el fondo de la destilación primaria, otra fracción libre de asfáltenos y la otra con el concentrado de ellos, se recurre comúnmente a la destilación al vacío. Difiere de la destilación primaria, en que mediante equipos especiales se baja la presión (aumenta el vacío) en la columna fraccionadora, lográndose así que las fracciones pesadas hiervan a menor temperatura que aquella a la que hervían a la presión atmosférica. El producto del fondo de la columna, un residuo asfáltico más o menos duro a temperatura ambiente, se denomina residuo de vacío. De acuerdo a la cantidad de vacío que se practica en la columna de destilación, se obtendrán distintos cortes de asfaltos que ya pueden ser utilizados como cementos asfálticos.

2.1.3.3. Desasfaltización con propano o butano

El residuo de vacío obtenido por destilación al vacío, contiene los asfáltenos dispersos en un aceite muy pesado, que, a la baja presión (alto vacío) y alta temperatura de la columna de vacío, no hierve (se destila). Una

forma de separar el aceite de los asfaltenos es disolver (extraer) este aceite en gas licuado de petróleo. El proceso se denomina "Desasfaltización" y el aceite muy pesado obtenido, aceite desasfaltizado. Se utiliza como solvente propano o butano líquido, a presión alta y temperaturas relativamente moderadas (70 a 120 °C). El gas licuado extrae el aceite y queda un residuo semisólido llamado "bitumen".

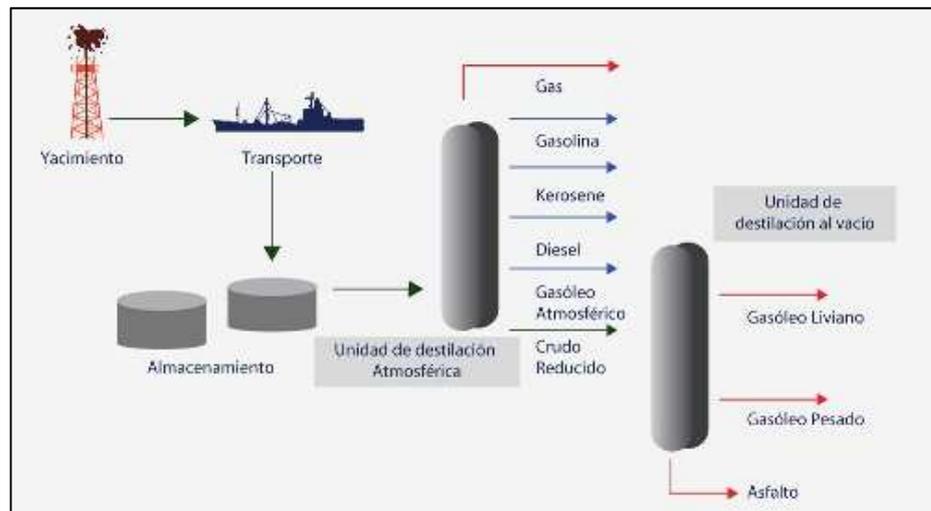


Figura 2.1: Obtención del Asfalto

Fuente:http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasf altos/proceso/

2.1.4. Composición del Asfalto

La composición química de los asfaltos es muy compleja, básicamente está constituida por cadenas de moléculas compuestas fundamentalmente por carbono, hidrógeno, azufre, oxígeno, nitrógeno y complejos de vanadio níquel, hierro, calcio y magnesio.

La composición específica de un asfalto en particular dependerá de la procedencia del petróleo crudo del cual procede.⁶

El modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar, el cual provee de una razonable explicación de dicha estructura, en el cual existen dos fases; una discontinua (aromática) formada por dos asfaltenos y una continua que rodea y solubiliza a los asfaltenos, denominada máltenos. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumpliendo la misión de homogeneizar y compatibilizar a los de otra manera insolubles asfaltenos. Los máltenos y asfaltenos existen como islas flotando en el tercer componente del asfalto, los aceites.⁷

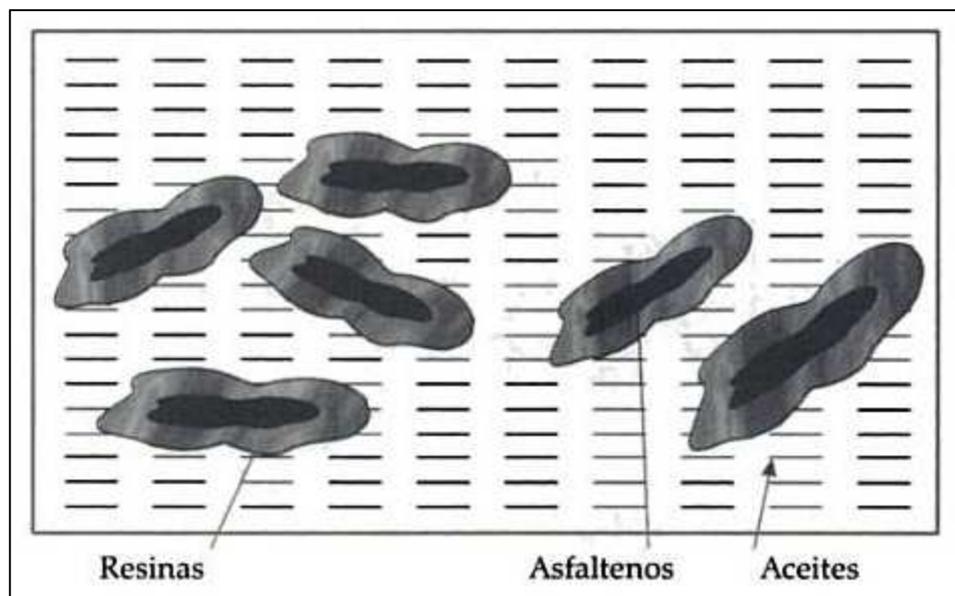


Figura 2.2: Esquema coloidal de Pfeiffer.

Fuente: Hugo León Arenas, Tecnología del cemento asfáltico

⁶ [en línea], Disponible en : http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/fisicoquimica/composicion, Enero 2013.

⁷ http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm

2.1.5. Propiedades del Asfalto

Las propiedades físicas más importantes del cemento asfáltico, que son tenidas en cuenta en el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, son:⁸

2.1.5.1. Durabilidad

Indica qué tanto permanecen en un cemento asfáltico sus características cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento.

2.1.5.2. Adhesión y Cohesión

Adhesión es la capacidad del cemento asfáltico para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación.

Cohesión es la capacidad del cemento asfáltico de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

⁸ ASOPAC (2004), Cartilla del Pavimento Asfáltico. Colombia: Panamericana Formas e Impresos.

2.1.5.3. Susceptibilidad al endurecimiento y al envejecimiento

El endurecimiento del asfalto es causado por la combinación con el oxígeno (oxidación) o por volatización. La oxidación y el endurecimiento más severo ocurren durante el mezclado, pues el asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas.

2.1.5.4. Susceptibilidad a la temperatura

Esta es una de las propiedades más importantes del asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de diferente origen, aun si os asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

2.1.6. Tipos de asfalto utilizados en Pavimentos

Los asfaltos se agrupan en tres clases principalmente:

2.1.6.1. Cementos Asfálticos (AC)

Son los más utilizados en pavimentación. Se pueden sub-clasificar bajo tres sistemas diferentes:

- Viscosidad antes del envejecimiento
- Viscosidad después del envejecimiento
- Penetración.

Se prepara comercialmente en grados o rangos de consistencia, con base en el ensayo de penetración, por ejemplo: AC 70-90, AC 60-80, AC 80-100. Los números indican la penetración en decimas de milímetro. El ensayo de penetración es uno de los ensayos de clasificación más comunes en la caracterización del asfalto.⁹

2.1.6.2. Asfaltos Líquidos

También denominados 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. Están compuestos por una fase asfáltica y un fluidificante volátil, que puede ser bencina, queroseno o aceite. Los fluidificantes se evaporan (proceso de curado), quedando el residuo asfáltico el cual envuelve y cohesiona las partículas del agregado. Son asfaltos líquidos los siguientes productos:¹⁰

2.1.6.2.1. 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

⁹ ASOPAC (2004), Cartilla del Pavimento Asfáltico. Colombia: Panamericana Formas e Impresos.

¹⁰ Velazquez, L. (1999). Diseño de pavimentos flexibles con superficie de rodamiento conformada con asfaltos ahulados y reforzados con Polímeros. México: Alhambra.

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

2.1.6.2.2. 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.

2.1.6.2.3. Asfalto de curado lento

Su disolvente o fluidificante es aceite liviano, relativamente poco volátil y se designa por las letras SC (Slow Curing), seguidos con un número que indica el grado de viscosidad cinemática medida en centiéstokes.

2.1.6.2.4. Road oil

Fracción pesada del petróleo usualmente uno de los grados de asfalto líquido de curado lento (SC).

2.1.6.3. Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas son una mezcla de asfalto con emulsificante que con el agua forman una emulsión estable que permite tender las carpetas asfálticas "en frío", es decir, a temperaturas menores a 100°C.¹¹

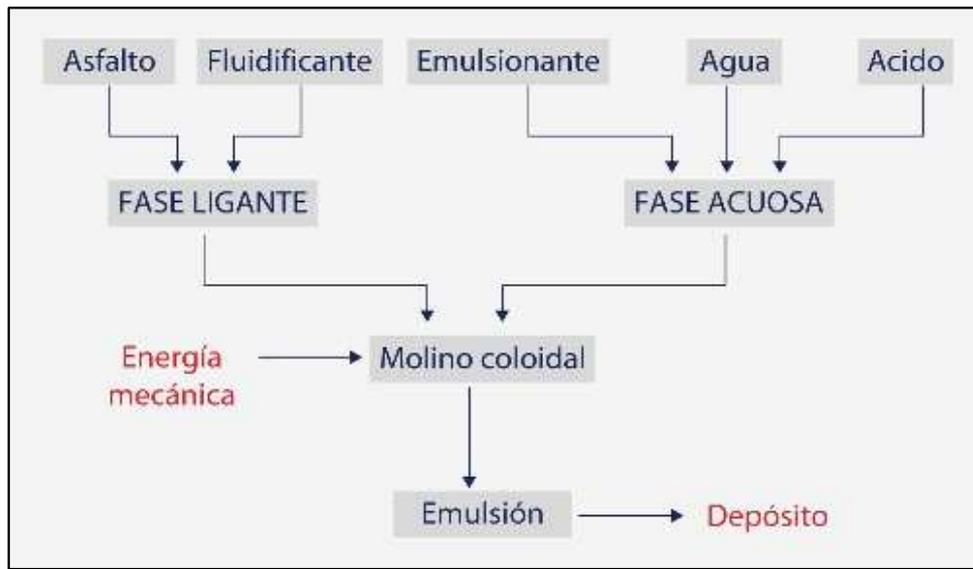


Figura 2.3: Esquema de fabricación de las emulsiones asfálticas.

Fuente: http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios

La emulsión de asfalto puede ser:

2.1.6.4. Emulsión aniónica

Los glóbulos de asfalto están cargados negativamente.

¹¹ [en línea], Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Emulsi%C3%B3n_asf%C3%A1tica

2.1.6.5. Emulsión catiónica

Los glóbulos de asfalto están cargados positivamente.

2.2. POLÍMEROS

2.2.1. Antecedentes

Antes de empezar a trabajar con los polímeros es conveniente explicar qué se entiende por polímero y el origen de ellos. Cuando hablamos de polímeros nos referimos a un compuesto sintético o natural formado a partir de la repetición de una unidad estructural llamado monómero.

Los polímeros han estado presentes en la vida y la naturaleza desde sus comienzos, como pueden ser las proteínas, pero los primeros polímeros artificiales surgieron a mediados del siglo diecinueve desarrollándose hasta nuestros días. Los primeros polímeros artificiales se obtuvieron a base de la transformación de polímeros naturales (caucho, seda, algodón, etc...). Se cree que el primer polímero fue elaborado por Charles Goodyear en 1839 con el vulcanizado del caucho. En 1846 y 1868 se desarrollaron formas de sintetizar celuloide a partir del nitrato de celulosa. Pero el primer polímero totalmente sintético fue desarrollado por el químico estadounidense Leo Hendrik Baekeland: la baquelita. Este producto tuvo un gran éxito debido a sus peculiares propiedades: se le podía dar la forma deseada antes de que

se enfriara, no conducía la electricidad y era resistente al agua y los disolventes.

Pronto surgieron otros polímeros que revolucionarían esta industria como el poliestireno y el policloruro de vinilo (PVC), 1911 y 1912 respectivamente. Estos polímeros fueron sustitutos del caucho y se usaron para la creación de objetos y utensilios de la vida cotidiana. Otros polímeros importantes fueron el metacrilato de metilo polimerizado (plexiglás) que se usó como sustituto del cristal, el teflón, usado en utensilios de cocina por sus propiedades antiadherentes y el nailon, primer plástico de alto rendimiento. El avance de la industria de los polímeros se intensificó mucho a partir de 1926, cuando el químico alemán Hermann Staudinger expuso su teoría de los polímeros: largas cadenas de pequeñas unidades unidas por enlaces covalentes (fundamento de la química macromolecular). Esta industria volvió a sufrir otro gran avance en la segunda guerra mundial. Puesto que la mayoría de los países no recibía materias primas, ya sea porque el país que se la suministraba se encontraba en el bando contrario, o porque las rutas de comercio estaban muy controladas, se vieron obligados a desarrollar nuevos polímeros para sustituir las materias primas con las que normalmente hacían los distintos productos o armas de combate. Ejemplo de esto puede ser el caucho sintético usado por Alemania para las ruedas de los tanques y el nailon, desarrollado por los EEUU usado para fabricar textiles como paracaídas o prendas combinándolo con lana o algodón.

Durante la posguerra y hasta nuestros días la industria de los polímeros ha seguido avanzando a pasos agigantados desarrollándose nuevos polímeros como el polietileno o el polipropileno, dos de los polímeros más usados en la actualidad.

Como conclusión podemos decir que el desarrollo de los polímeros ha sido uno de los mayores avances tecnológicos llevados a cabo por el hombre puesto que se han convertido en el material base sin el cual no seríamos capaces de fabricar un gran número de objetos: los plásticos.¹²

2.2.2. Definición

Un polímero es una sustancia que consiste en grandes moléculas formadas por muchas unidades pequeñas que se repiten, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización.

Los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros. Los homopolímeros son polímeros con un solo tipo de unidad que se repite. En los copolímeros se repiten varias unidades distintas.¹³

¹² Maier, M. (2001). Polímeros. [en línea]. Disponible en:
<http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMEROS.pdf>

¹³ Canevarolo S. (2002). Ciencia dos Polímeros. Brasil: Universidad Federal de San Carlos.

2.2.3. Tipos de polímeros

2.2.3.1. Polímeros naturales

Provenientes directamente del reino vegetal o animal. Por ejemplo: celulosa, almidón, proteínas, caucho natural, ácidos nucleicos, etc.

2.2.3.2. Polímeros artificiales

Son el resultado de modificaciones mediante procesos químicos, de ciertos polímeros naturales. Ejemplo: nitrocelulosa, etonita, etc.

2.2.3.3. Polímeros sintéticos

Son los que se obtienen por procesos de polimerización controlados por el hombre a partir de materias primas de bajo peso molecular. Ejemplo: nylon, polietileno, cloruro de polivinilo, polimetano, etc.

Muchos elementos (el silicio, entre otros), forman también polímeros, llamados polímeros inorgánicos.

2.2.4. Producción de los polímeros

El proceso para producir un polímero es llamado polimerización, los monómeros se unen entre sí para generar las gigantescas moléculas que constituyen el material. La mayor parte de las materias primas necesarias para sintetizar polímeros derivan de productos del carbón y del petróleo, que suelen estar constituidos por moléculas de pequeño peso molecular. Para formar un polímero existen dos caminos factibles: polimerización por adición y polimerización por condensación.¹⁴

2.2.4.1. Polimerización por adición

Los monómeros se adicionan unos con otros, de tal manera que el producto polimérico contiene todos los átomos del monómero inicial. Un ejemplo de esto es la polimerización del etileno (monómero) para formar el polietileno, en donde todos los átomos que componen el monómero forman parte del polímero.

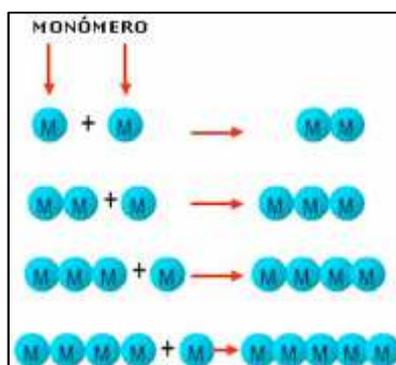


Figura 2.4: Esquema de polimerización por adición.

¹⁴ [en línea], Disponible en : <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=136400>

2.2.4.2. Polimerización por condensación

En este caso, no todos los átomos del monómero forman parte del polímero. Para que dos monómeros se unan, una parte de éste se pierde.

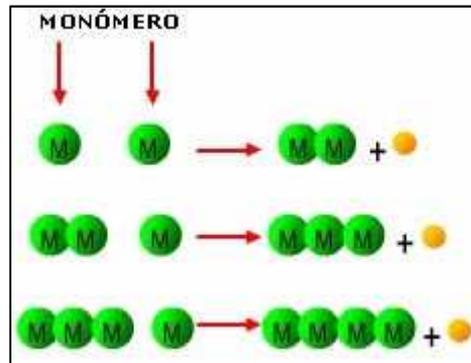


Figura 2.5: Esquema de polimerización por condensación.

2.2.5. Clasificación de los polímeros

Existen diferentes formas de clasificar a los polímeros:¹⁵

- Según su composición
- Según su estructura
- Según la reacción de polimerización
- Según su comportamiento frente al calor
- Según su área de aplicación

2.2.5.1. Según su composición

- **Homopolímeros:** Formados por una única unidad repetitiva.

¹⁵ Maier, M. (2001). Polímeros. [en línea]. Disponible en: <http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMEROS.pdf>

Ej. Polimetacrilato de metilo.

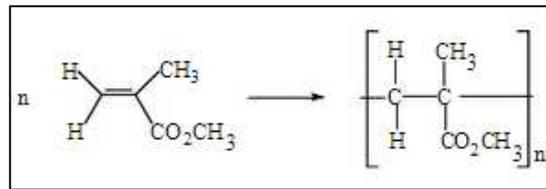


Figura 2.6: Ejemplo de Homopolímero.

- **Copolímeros:** Formados por más de una unidad repetitiva.

Ej. 2 monómeros:

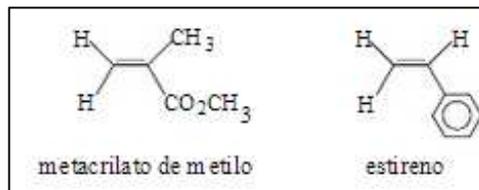


Figura 2.7: Ejemplo de Copolímero.

Los copolímeros presentan propiedades intermedias entre las de los homopolímeros que se formarían a partir de cada tipo de monómero por separado.

2.2.5.2. Según su estructura

- **Lineales:** formados por monómeros disfuncionales. Ej.: polietileno, poliestireno.
- **Ramificados:** se requiere el agregado de monómeros trifuncionales, por ejemplo, glicerol.

- **Entrecruzados:** se forma un material compuesto por una molécula tridimensional continua, toda ella unida por enlaces covalentes (resinas urea-formaldehído y fenol-formaldehído).

2.2.5.3. Según la reacción de polimerización

- **Polimerización por reacción en cadena (o adición):** Se genera una partícula reactiva (radical, anión o catión) a partir de una molécula de monómero y esta se adiciona a otro monómero de manera repetitiva.

Ej.: polimerización de monómeros vinílicos:

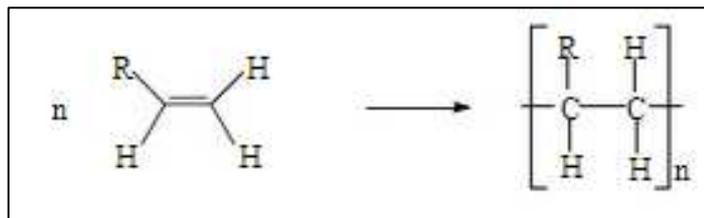


Figura 2.8: Ejemplo de Polimerización por reacción en cadena.

- **Polimerización por crecimiento en pasos (o condensación):** los monómeros que reaccionan tienen un grupo funcional reactivo en cada extremo de la molécula y la unión entre los monómeros requiere la pérdida de una molécula pequeña, normalmente H₂O. Ejemplos de polímeros de condensación son los poliésteres y las poliamidas, entre otros.

2.2.5.4. Según su comportamiento frente al calor

- **Termoplásticos:** son aquellos que tras ablandarse o fundirse por efecto del calor, recuperan sus propiedades originales luego de enfriarse.

En general son polímeros lineales, con bajo PF y solubles en disolventes orgánicos.

Ej.: derivados polietilénicos, poliamidas.

- **Termoestables:** son aquellos que luego del calentamiento se convierten en sólidos más rígidos que los polímeros originales. Esta característica se debe normalmente a una polimerización adicional o de entrecruzamiento. Suelen ser insolubles en disolventes orgánicos y se descomponen a altas temperaturas.

Ej.: baquelita

- **Elastómero:** son plásticos con un comportamiento elástico que pueden ser deformados fácilmente sin que se rompan sus enlaces o modifique su estructura.

2.2.5.5. Según su área de aplicación

- **Elastómeros:** Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un

esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.

- **Plásticos:** Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso, se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.
- **Fibras:** Presentan alto módulo de elasticidad y baja extensibilidad, lo que permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.
- **Recubrimientos:** Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la abrasión.
- **Adhesivos:** Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial.

2.2.6. Polímeros utilizados en la modificación de asfaltos

En la actualidad los cementos asfálticos son modificados comúnmente con:

- **Elastómeros:** son polímeros de respuesta elástica (Látex, Hule natural, SBS, SBR).
- **Plastómeros:** rigidizan el asfalto ofreciendo resistencia, como consecuencia no son deformables elásticamente (polietileno, PVC, EVA).

2.2.6.1. Asfaltos modificados con polímeros tipo Elastómeros

Se requiere mezclar tres componentes: asfalto, resina base y un endurecedor, lo que complica la modificación ya que debe existir compatibilidad entre estos. Los asfaltos modificados tienen una elevada resistencia mecánica, gran resistencia a la tracción, buen poder humectante y adhesión a los agregados. Si el trabajo con este tipo de asfalto es realizado dentro de los parámetros correctos, su tiempo de vida está condicionado por la vida del agregado, no por el asfalto; en otras palabras el pavimento se deteriora por trituración o abrasión del agregado antes que por la falla del ligante (asfalto). Su resistencia al envejecimiento es excelente.

Son empleados para casos específicos como:

- Zonas de frenado intenso, donde se requiere una gran resistencia al derrapaje.
- Zonas donde se requiere resistir a las maniobras o a los agentes químicos.
- Zonas donde se requiere mantener una buena rugosidad durante largos periodos de tiempo.¹⁶

2.2.6.1.1. Latex, Hule natural, SBS, SBR.

Este tipo de polímero es el más utilizado en la modificación del asfalto, el efecto de la adición de estos al asfalto es aumentar su intervalo de plasticidad y disminuir la susceptibilidad térmica. El punto de ablandamiento puede aumentar hasta 20°C, a temperaturas inferiores a 70°C los asfaltos tienen menor penetración, esto es interesante ya que a estas temperaturas se dan deformaciones en las superficies de rodamiento.¹⁷

¹⁶ Asociación Mexicana del Asfalto (2008). Emulsiones Asfálticas, México: Alhambra.

¹⁷ Vázquez, I. (2010). Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfalto. Monografía de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, México.



Figura 2.9: Polímero SBR y SBS.

Fuente: Laboratorio de pavimento de la ESPE

Los asfaltos son más duros pero siguen siendo elásticos lo que evita la formación de roderas y el agrietamiento de las mismas. La rigidez de estos asfaltos ayuda a soportar los largos tiempos de carga sin deformaciones.

Entre -10°C y $+10^{\circ}\text{C}$ el elastómero proporciona al asfalto mayor elasticidad sin aumentar la rigidez.

2.2.6.1.2. Hule de llanta

Las propiedades que adquiere el asfalto al añadirle este tipo de hule son similares a las que se obtienen con el polímero SBR o SBS aunque, se deben utilizar dosificaciones más elevadas.

2.2.6.2. Asfaltos modificados con polímeros tipo Plastómeros

Si se aumenta la concentración del polímero, se llega a un punto en el cual la mayoría de los aceites están asociados con el polímero y se produce un cambio drástico en las propiedades físicas del asfalto. Estas se acercan más a las propiedades del polímero que a las del asfalto.

Esto sucede cuando el contenido del polímero va de 8 – 10%, en este punto, el asfalto aumenta el intervalo de plasticidad, aumenta la resistencia a la ruptura, disminuye su sensibilidad térmica sobre todo en el intervalo de temperaturas de aplicación.

2.2.6.2.1. Polietileno

Este polímero no tiene una alta compatibilidad con el asfalto ni le confiere propiedades espectaculares, pero se usa ya que es un componente de bajo costo y soluciona un problema ecológico, al poder disponer de los desechos de este material en las carreteras.

Los asfaltos modificados con este tipo de polímero termoplástico cuando son añadidos en bajas proporciones, poseen las siguientes propiedades:

- Buena resistencia al calor.
- Buena resistencia al envejecimiento.

- Baja viscosidad.
- La resistencia Marshall aumenta de 2 a 2.5 veces a 25°C mientras que a 0°C y -2.5°C es prácticamente igual a la de un asfalto convencional.
- Buena flexibilidad a baja temperatura.
- Cuando es utilizado en concentraciones de 7% aumenta la rigidez del asfalto a temperaturas elevadas.
- Buena resistencia a deformaciones permanentes.

2.2.6.2.2. PVC

Este polímero conocido científicamente como policloruro de vinilo tiene baja compatibilidad con el asfalto, no es resistente al calor y se descompone por la acción de la luz solar. Resiste muy bien al agua y/o agentes químicos; es por esto que no es utilizado para la modificación de asfalto.

2.2.6.2.3. EVA

Los polímeros o resinas Etilo-Vinil-Acetato son relativamente nuevos en la modificación de asfaltos, son muy compatibles con estos.

La relación acetato de vinilo etileno es muy importante, pudiéndose variar el contenido de acetato de vinilo de algún % hasta 50% o incluso más. Cuando los contenidos de acetato de vinilo son bajos las propiedades se

asemejan a las de los asfaltos mencionados anteriormente. Un polímero EVA con un contenido del 18% de acetato de vinilo es el más adecuado para ser usado en la construcción de carreteras. Cuando se aumenta la concentración de acetato de vinilo en el polímero (15 a 30%), adquiere un excelente poder adherente.

Los asfaltos modificados con EVA poseen las siguientes características:

- Buena estabilidad térmica a un costo razonable.
- Las dosificaciones de polímero oscilan entre el 2 hasta un 10% dependiendo de las propiedades que se pretende obtener.
- La temperatura de ablandamiento aumenta entre 6 y 12°C.
- Excelente resistencia al resquebrajamiento en flexión es decir a las fatigas provocadas por las flexiones o vibraciones repetidas.
- Aumentan la cohesión de las mezclas a medida que se aumenta el contenido del polímero.

2.3.ASFALTOS MODIFICADOS

2.3.1. Antecedentes

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Está plenamente

probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corren el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo, las nuevas capas superficiales delgadas serían menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de tránsito.

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales (áridos), una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un

mejor comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "Asfaltos Modificados".¹⁸

2.3.2. Definición

Es un asfalto con propiedades físicas y geológicas mejoradas, se consigue con la integración de moléculas de polímeros en la estructura del asfalto.¹⁹

2.3.3. Principales modificadores utilizados en el asfalto

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:²⁰

2.3.3.1. POLÍMERO TIPO I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno- Butadieno- Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas delgadas y carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos y

¹⁸ Vázquez, I. (2010). Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfalto. Monografía de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, México.

¹⁹ [en línea] Disponible en: <http://www.e-asfalto.com/modificados/modificados.htm>

²⁰ [en línea] Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf

cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.3.3.2. POLÍMERO TIPO II

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.3.3.3. POLÍMERO TIPO III

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.3.3.4. 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.

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resiliencia, y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con los elastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto que se utiliza.

2.4. NORMATIVIDAD

2.4.1. Normas y ensayos aplicados a asfaltos

Tabla 2.2: Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados.

ENSAYO	AASHTO	ASTM
Viscosidad cinemática a 135°C	T - 201	D - 2170
Viscosidad dinámica a 60°C	T - 202	D - 2171
Penetración	T - 49	D - 5
Recuperación Elástica por Torsión	*****	*****
Prueba de Película Delgada en Horno	T - 179	D - 1754
Prueba Giratoria de Película Delgada en	T - 240	D - 2872
Viscosidad Rotacional Tipo Haake	*****	D - 4402
Recuperación Elástica por Ductilómetro	*****	D - 6084
Resilencia a 25°C	*****	D - 3407
Gravedad Especifica	T - 228	D - 70
Punto de Ablandamiento	T - 53	D - 3695

Fuente: AVELLÁN, M. (2007). *Asfaltos modificados con polímero*. Guatemala)

2.4.1.1. Viscosidad ASTM D 2171 (Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos)

Las especificaciones de los trabajos de pavimentación indican valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140 °F), son utilizadas para clasificar el cemento asfáltico, representan la viscosidad de este a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio. La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de

un asfalto dado a estas dos temperaturas, ayuda a determinar si es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. El poise (P) es la unidad normal de medida.

2.4.1.2. Penetración ASTM D 5 (Penetración de materiales bituminosos)

El ensayo de penetración es otra medida de consistencia. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean utilizados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C (77°F). Es aplicable a materiales con viscosidades dentro de un rango de 0.0036 a 20,000 Pascales por segundo ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), equivalentes a 0.036 a 200,000 P.

2.4.1.3. Punto de inflamación ASTM D 92 (Punto de inflamación para materiales bituminosos)

Es la temperatura más baja a la cual se separan los materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta. Es importante hacer notar que punto de inflamación no es lo mismo que punto de combustión (temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema). Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. El aparato utilizado con este fin es llamado Copa Abierta de Cleveland.

Es importante conocer esta información, ya que el cemento asfáltico es calentado durante su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material pueda ser bombeado.

2.4.1.4. Prueba de película delgada en horno (TFO) ASTM D 1754 (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos) y Prueba de película delgada en horno rotatorio (RTFO) ASTM D 2872 (Efectos de calor y aire en una película en movimiento de asfalto)

Son procedimientos que exponen una muestra de cemento asfáltico, a condiciones que se aproximan a las que se dan durante las operaciones en las plantas de mezclado en caliente. Las pruebas de viscosidad y penetración efectuadas sobre las muestras obtenidas después de los ensayos de TFO o RTFO, son usadas para medir el endurecimiento anticipado del material durante la construcción y servicio del pavimento.

2.4.1.5. Ductilidad ASTM D 113 (Ductilidad de materiales bituminosos)

Es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. Se obtiene mediante una prueba de extensión, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica, hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad. Las condiciones establecidas

para la realización de este ensayo son: una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm. / min.

2.4.1.6. Solubilidad ASTM D 2042 (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno)

Este ensayo es utilizado para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos no se disuelven sino que se depositan en forma de partículas. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como un porcentaje de la muestra original.

2.4.1.7. Peso específico ASTM D 70 (Densidad de materiales bituminosos semisólidos)

Es la proporción de la masa de cualquier volumen de material a la masa de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. El peso específico es determinado generalmente usando el método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que este varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico a diferentes temperaturas.

Existen dos razones importantes por las que se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura- volumen.
- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

2.4.1.8. Punto de ablandamiento ASTM D 3695 (Anillo y bola)

Proporciona una relación de la dureza del asfalto (duro o blando). Para realizar este ensayo, una pelotita de acero es colocada en el centro de un anillo de acero, el cual es sumergido en un baño de agua o de glicerina. Se utiliza agua cuando el asfalto posee un punto de ablandamiento menor a 80°C y la glicerina es utilizada cuando el punto de ablandamiento es mayor a 80°C. La temperatura del baño debe estar controlada y aumentar a una tasa de 5°C por minuto. En el momento en que la pelotita toca la base (25mm por debajo del anillo) la temperatura es tomada y este, es el punto de ablandamiento del asfalto.

2.4.1.9. Resilencia ASTM D- 3407 (Método de prueba estándar para selladores de juntas, concreto y pavimentos asfálticos)

Al igual que la anterior determina la elasticidad y dureza que presentan los cementos asfálticos. Para llevar a cabo esta prueba se utiliza el penetrómetro usado para la prueba de penetración, con la única diferencia de que la aguja utilizada para la prueba es sustituida por la aguja de resiliencia.

2.4.1.10. Recuperación elástica por ductilómetro ASTM D-6084 (Método de prueba estándar para materiales bituminosos)

La recuperación elástica de un material se determina mediante la tensión recobrada, después de alargar severamente el espécimen de muestra del material. Este se estira a una distancia, velocidad y temperatura específicas. A menos que se determine otra cosa la prueba debe realizarse a una temperatura de $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de $5 \pm 5 \text{ cm. / min.}$

2.4.2. Normas y ensayos aplicados a agregados

Tabla 2.3: Normas AASHTO y ASTM aplicables para los agregados.

AASHTO	ASTM	Descripción del ensayo
AASHTO T 2	ASTM D 75	Muestreo del agregado mineral.
	ASTM C 128	Ensayo de Densidad, Densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados finos.
	ASTM C 127	Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, la densidad relativa (Gravedad específica) y la absorción de agregados gruesos.
AASHTO T 27	ASTM C 136	Análisis granulométrico de los agregados.
AASHTO 11	ASTM C 117	Análisis granulométrico de los agregados finos.
AASHTO 176	ASTM D 2419	Ensayo de equivalente de arena de suelos y agregado fino.
AASHTO T 96	ASTM C 131	Ensayo a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la Máquina de los Ángeles.

2.4.2.1. Granulometría

La granulometría de una base de agregados se define como la distribución del tamaño de sus partículas. Esta granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor.

La granulometría de los agregados es un factor muy importante en el hormigón asfáltico, ya que de este factor depende la economía, manejabilidad y la resistencia de la mezcla.

El análisis o prueba de tamices se lleva a cabo tamizando los agregados a través de una serie de tamices enumerados. Estos tamices están en números ascendentes, esto es, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 y bandeja para agregados finos y en orden de tamaño descendente 1- ½ ", 1", ¾ ", ½ ", 3/8", #4, #8 y bandeja, para agregado grueso. El número de los tamices nos indica las aperturas del tamiz por pulgada lineal.

El uso de todos los tamices dependerá de la precisión que se requiera o de las especificaciones, ya que en ocasiones sólo se utilizaran algunos de ellos. Se conoce como agregado fino a todo aquel que pasa a través del tamiz de 3/8" y el #4 y es retenido casi completamente en el tamiz #200. Agregado grueso es aquel que se retiene en el tamiz #4.

Los resultados de un análisis granulométrico también se representan en forma gráfica y en tal caso se llaman curvas granulométricas.

Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representa el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixta.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados y permite conocer además que tan grueso o fino es.

Se han establecido ciertas normas y límites tanto para el tamaño de los agregados como para su granulometría, de esta manera el ingeniero puede seguir un guía o patrón al seleccionar la combinación más adecuada de sus agregados.²¹

²¹ American Society for Testing and Materials (2011). Concrete and Aggregates, Estados Unidos, Volume 04.02.

CAPITULO III: AGREGADO PÉTREO

3.1. Agregados procedentes de la cantera de Guayllabamba

Esta mina se ubica en el Km. 19 de la vía Quito-Guayllabamba, al costado del cauce del Río Guayllabamba. La concesión minera se denomina “Concesión Minera Carlos Alberto”.

La mina provee ripio en diferentes tamaños los cuales son: Ripio de $\frac{1}{2}$ ”, $\frac{3}{4}$ ”; 1”, $1\frac{1}{4}$ ”; chispa, rocas para empedrados y arena.

Los usos del ripio de $\frac{3}{4}$ ” son para la fabricación de hormigón y asfalto, el ripio de $1\frac{1}{4}$ ” es usado en hormigones de bomba y el de $\frac{1}{2}$ ” es usado en hormigones.



Figura 3.1: Mina de Guayllabamba.

3.2. Geología:

El afloramiento está relacionado a la formación Macuchi, el cual se extiende por algunos kilómetros a los costados del Río Guayllabamba. Tiene una sobrecarga de material piroclástico y depósitos lagunares. El afloramiento del Guayllabamba presenta la roca como volcánica maciza y potente, intercalados con delgadas capas de lutitas.

3.3. Muestreo de materiales pétreos de la cantera de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 75 (AASHTO T-2).

3.3.1. Objetivo

Esta norma cubre el muestreo de agregados gruesos y finos para las siguientes finalidades.

- Investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro.
- Control del producto en la fuente de suministro.
- Control de operaciones en el sitio de empleo.
- Aceptación o rechazo de materiales.

3.3.2. Toma de Muestras

- El muestreo es tan importante como el ensayo y. quién realice esta labor tomará todas las precauciones para obtener muestras que exhiban la verdadera naturaleza y condición de los materiales que ellas representan.
- Las muestras para ensayos de investigación preliminar son obtenidas por la parte responsable de la explotación de una fuente potencial. Las muestras de materiales para control de la producción en origen o control de trabajo en el lugar de empleo son obtenidas por el productor, contratista u otras personas responsables de verificar el trabajo. Las muestras para ensayos que no utilicen en la decisión de aceptación o rechazo por parte del comprador, las obtendrá el comprador o su representante autorizado.
- Donde sea viable, las muestras para calidad se tomarán del producto terminado. Las muestras para ensayos de desgaste, tomadas de productos terminados, no serán sometidas a una posterior trituración o reducción manual del tamaño de sus partículas a fin de prepararlas para tal ensayo, a menos que el tamaño de partículas, del producto terminado, sea tal que requiera una mayor reducción para los fines del ensayo.

3.3.3. Muestreo

3.3.3.1. Muestreo de correas transportadoras

Se seleccionan las unidades de producción a ser muestreadas mediante un procedimiento al azar. Se obtienen tres porciones, por lo menos, aproximadamente iguales y tomadas al azar, de la unidad que está siendo muestreada y se las combina para formar una muestra de campo cuyo peso iguale o exceda un mínimo recomendado.

Se detiene la correa transportadora mientras se toman los incrementos de muestra. Se colocan dos plantillas sobre el flujo de agregado de la correa y que estén espaciadas lo suficiente para que el material, que queda entre ellas, tenga el peso requerido para una de las porciones de la muestra.



Figura 3.2: Banda transportadora de agregado pétreo.

3.3.3.2. Muestreo de acopios

Siempre que sea posible se evitara tomar muestras de acopios, particularmente cuando el muestreo se haga con la finalidad de determinar propiedades del agregado que pueden depender de la granulometría de la muestra. Si, por otra parte, las circunstancias imponen la obtención de muestras de una pila de acopio de agregados gruesos o de una de agregados gruesos y finos combinados, se preparara un plan de muestreo para el caso específico que se esté considerando.



Figura 3.3: Acopio de material pétreo.

3.4. Peso específico y absorción de los agregados finos empleando la norma ASTM C 128 (AASHTO T 84)

3.4.1. Objetivo

Este ensayo se lo realiza para determinar el Peso específico bruto, el peso específico aparente y la absorción. El peso, específico bruto es el valor

generalmente usado para cálculos relacionados con el hormigón de cemento Portland.

3.4.2. Procedimiento

- Se introducen en el picnómetro 500 g. de agregado fino y se lo llena con agua hasta aproximadamente el 90 por ciento de su capacidad. Se hace rodar al picnómetro, se lo agita e invierte, para eliminar todas las burbujas de aire.



Figura 3.4: Extracción de burbujas de aire utilizando bomba de vacíos.

- Si es necesario se ajusta su temperatura a $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($73,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$) por inmersión en agua circulante y se lleva el nivel de agua dentro del picnómetro a su capacidad calibrada.
- Se determina el peso total del picnómetro, muestra y agua, se registra este y los demás pesos con la aproximación de 0.1 g.

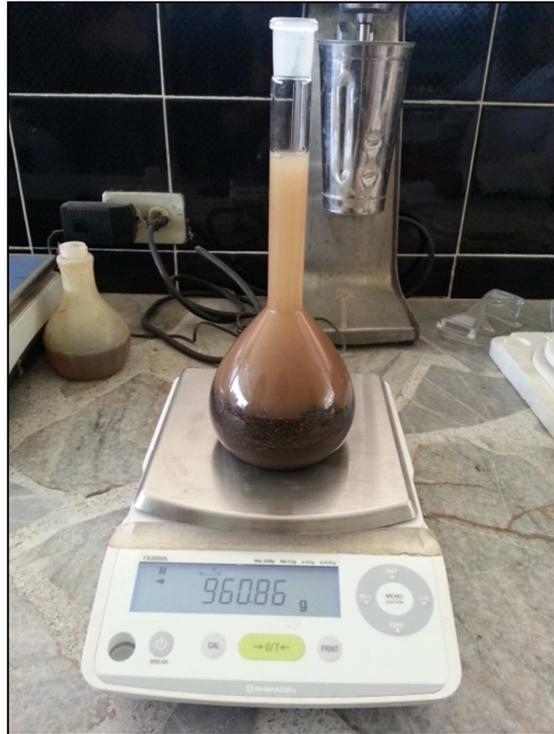


Figura 3.5: Peso del picnómetro agua y muestra.

- La muestra se secará hasta peso constante es decir que no perderá más de 0,1 por ciento de humedad después de 2 horas de secado a la temperatura especificada.

3.4.3. Cálculos

Para el cálculo del peso específico del material impermeable de las partículas se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{C}{C + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas saturadas con superficie seca se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{A + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas secas se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{C}{A + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{A - C}{C} \times 100$$

Dónde:

A = Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = Peso de la muestra seca, en gramos.

D = Peso del picnómetro lleno de agua, en gramos.

E = Peso del picnómetro con la muestra saturada, en gramos.

γ = Peso específico del agua a la temperatura que se realiza el ensayo.

3.4.4. Resultados

Tabla 3.1: Resultados del ensayo de pesos específicos y absorción del agregado fino.

A	Peso de la muestra saturada con superficie seca	(g)	500	500
C	Peso de la muestra seca	(g)	481.58	483.31
D	Peso del frasco lleno de agua	(g)	658.63	660.02
E	Peso del frasco lleno con la muestra saturada	(g/cm ³)	960.85	962.24
γ	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo		0.9978	0.9978
$(C/C+D-E)*\gamma$	Peso específico del material impermeable de las partículas	(g/cm ³)	2.68	2.66
$(A/A+D-E)*\gamma$	Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca	(g/cm ³)	2.52	2.52
$(C/A+D-E)*\gamma$	Peso específico de las partículas secas	(g/cm ³)	2.43	2.44
$(A-C/C)*100$	Absorción de agua	(%)	3.82	3.45

3.5. Peso específico y absorción de los agregados gruesos empleando la norma ASTM C 127 (AASHTO T 85)

3.5.1. Objetivo

- Este método determina el peso específico bruto, y aparente y el peso específico bruto a base del peso agregado en condición de superficie seca saturada y absorción.

3.5.2. Procedimiento

- Después de lavar totalmente la muestra para eliminar el polvo y otras sustancias de la superficie de las partículas, se la seca hasta peso constante a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) se enfría en aire a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas, luego se coloca en inmersión, en agua a temperatura ambiente, durante un período mínimo de 15 horas.
- Se saca la muestra del agua y se la hace rodar sobre un trozo de tela grande, absorbente, hasta que se eliminen todas las películas de agua visibles.
- Se pueden secar individualmente las partículas más grandes. Se tendrá cuidado para evitar que se evapore el agua de los poros del agregado durante la operación de secado de las superficies. Se pesa la muestra en la condición de saturada a superficie seca se registra este y, los subsiguientes pesadas con la aproximación de 1,0 gramo.
- Después de pesar, colocar inmediatamente la muestra en la condición saturada a superficie seca en un recipiente para la muestra y determinar su peso en agua a $23 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ ($75,4 \pm 3^{\circ}\text{F}$). Se tendrá cuidado en sacar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando, el recipiente mientras está sumergido.

- Se seca la muestra hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), se enfría en aire a temperatura ambiente, durante 1 a 3 horas y se pesa.

3.5.3. Cálculos

Para el cálculo del peso específico del material impermeable de las partículas se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{C}{C + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas saturadas con superficie seca se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{A}{A + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del peso específico de las partículas secas se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Peso específico} = \frac{C}{A + D - E} \times \gamma$$

Para el cálculo del porcentaje de absorción se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{A - C}{C} \times 100$$

Dónde:

A = Peso de la muestra saturada con superficie seca, en gramos.

C = Peso de la muestra seca, en gramos.

D = Peso del picnómetro lleno de agua, en gramos.

E = Peso del picnómetro con la muestra saturada, en gramos.

γ = Peso específico del agua a la temperatura que se realiza el ensayo.

3.5.4. Resultados

Tabla 3.2: Tabla de resultados del ensayo de pesos específicos y absorción del agregado grueso.

A	Peso de la muestra saturada con superficie seca	(g)	876.1	868.5
B	Peso en el agua de la muestra saturada	(g)	517.0	520.49
C	Peso de la muestra seca	(g)	843.1	835.2
γ	Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo	(g/cm ³)	0.9988	0.9988
$(C/C-B)*\gamma$	Peso específico del material impermeable de las partículas	(g/cm ³)	2.582	2.651
$(A/A-B)*\gamma$	Peso específico de las partículas saturadas con superficie seca	(g/cm ³)	2.437	2.493
$(C/A-B)*\gamma$	Peso específico de las partículas secas	(g/cm ³)	2.345	2.397
$(A-C/C)*100$	Absorción de agua	(%)	3.9	4.0

3.6. Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos aplicando la Norma ASTM C 136 (AASHTO T 27)

3.6.1. Objetivo

Esta norma de ensayo se refiere a un procedimiento para la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregados gruesos y finos, utilizando tamices de abertura cuadrada. No es aplicable para usar en el análisis por tamizando de agregados recuperados de mezclas bituminosas ni para el análisis granulométrico de rellenos minerales.

3.6.2. Procedimiento

- Las muestras serán sometidas en primer lugar, al procedimiento de la norma AASHTO T 11. Este procedimiento puede omitirse si no se requiere conocer la cantidad total de material menor que el tamiz de 0,075 mm (N. 200) y si las exigencias de precisión para el análisis granulométrico no requieren el lavado de las partículas. Todas las muestras de agregados gruesos y finos, donde el porcentaje de humedad absorbida cambia para los diferentes tamaños, de partículas serán secadas hasta sustancialmente peso constante, a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$). Las muestras de agregado grueso, donde el porcentaje de humedad absorbida es esencialmente

constante para los diferentes tamaños de partículas, pueden tamizarse superficie seca.

- Se obtiene el Tamaño máximo nominal del agregado a especificar, o describir un agregado, es la abertura del tamiz mínima a través de la cual pasa la cantidad total del agregado.

Tabla 3.3: Tamaño Máximo Nominal.

Tamaño Máximo Nominal de las Partículas		Peso Mínimo de la Muestra
Mm	(")	Kg
9,5	3/8	1
12,5	1/2	2
19	3/4	5
25	1	10
37,5	1 ½	15
50	2	20
63	2 ½	25
75	3	30
90	½	35

- La muestra será separada en una serie de tamaños, utilizando los tamices que sean necesarios para cumplir con las especificaciones del material bajo ensayo. La operación de tamizado será llevada a cabo mediante el movimiento vertical y lateral del tamiz, acompañado de una acción de percusión que mantenga a la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie del tamiz. Se puede realizar el movimiento de los tamices por medio de un agitador mecánico o manualmente. El tamizado se continuará hasta que no más del 0,5 por ciento, por peso, de la muestra total pase por cualquier tamiz

durante 1 minuto de tamizado manual. Sobre la ración de la muestra retenida sobre el tamiz de 4,75 mm (N. 4), el procedimiento antes descrito, para determinar la prolijidad del tamizado, será ejecutado con una capa única de material. Cuando se utilice el tamizado mecánico, la prolijidad del tamizado será probada utilizando, el procedimiento manual de tamizado antes descrito.

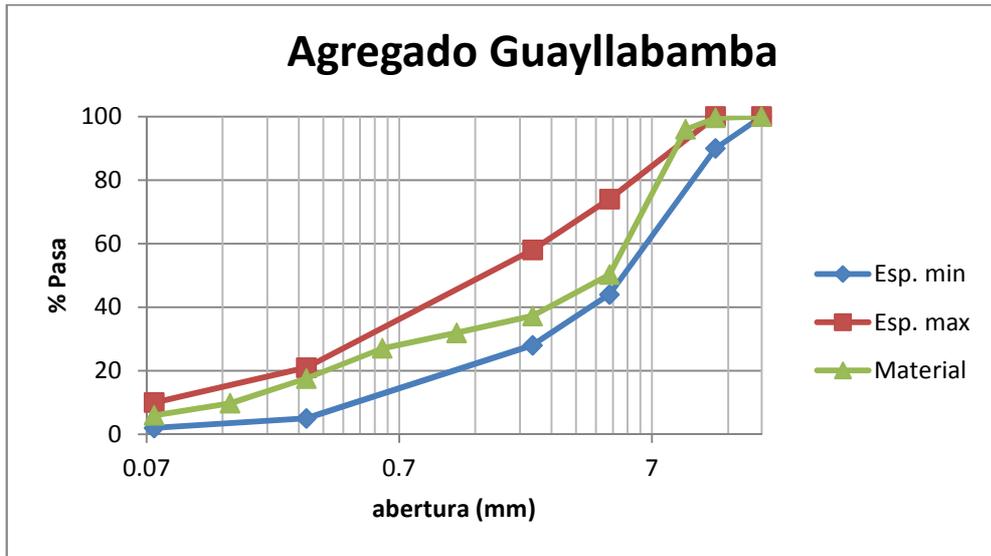
- El peso de cada tamaño será determinado en la balanza. El material será pesado con la aproximación de 0,2 por ciento del peso de la muestra ensayada. Si la cantidad total de material menor que el tamiz de 0,075 mm (N. 200) es deseada, será determinada adicionando, al peso del material pasando por el tamiz de 0,075 mm en el tamizado en seco, aquel perdido por lavado.

3.6.3. Resultados

Tabla 3.4: Granulometría de los agregados.

TAMIZ	Abertura (mm)	Retiene acumulado (gr)	(%)	Pasa (%)
3/4	19	0	0.00	100.00
1/2	12.5	3.55	0.44	99.56
3/8	9.51	32.62	4.01	95.99
N 4	4.75	404.71	49.71	50.29
N 8	2.36	510.66	62.73	37.27
N 16	1.18	553.96	68.05	31.95
N 30	0.60	593.63	72.92	27.08
N 50	0.30	671.22	82.45	17.55
N 100	0.15	734.25	90.19	9.81
N 200	0.075	765.40	94.02	5.98
		814.08	100.00	0.00

Cuadro 3.1: Curva Granulométrica del agregado entre las especificaciones de la norma.



Para el trabajo con briquetas y por ser ensayos de laboratorio se trabajara con una granulometría abierta con el fin de llegar a obtener una curva óptima de diseño.

Tabla 3.5: Valores mínimos, máximos y medios para curva granulométrica óptima.

TAMIZ	(mm)	min.	medio	máx.
3/4.	19	100	100	100
1/2.	12.5	90	95	100
N4	4.75	44	59	74
N8	2.36	28	43	58
N50	0.3	5	13	21
N200	0.075	2	6	10

Cuadro 3.2: Curva Granulométrica óptima del agregado.

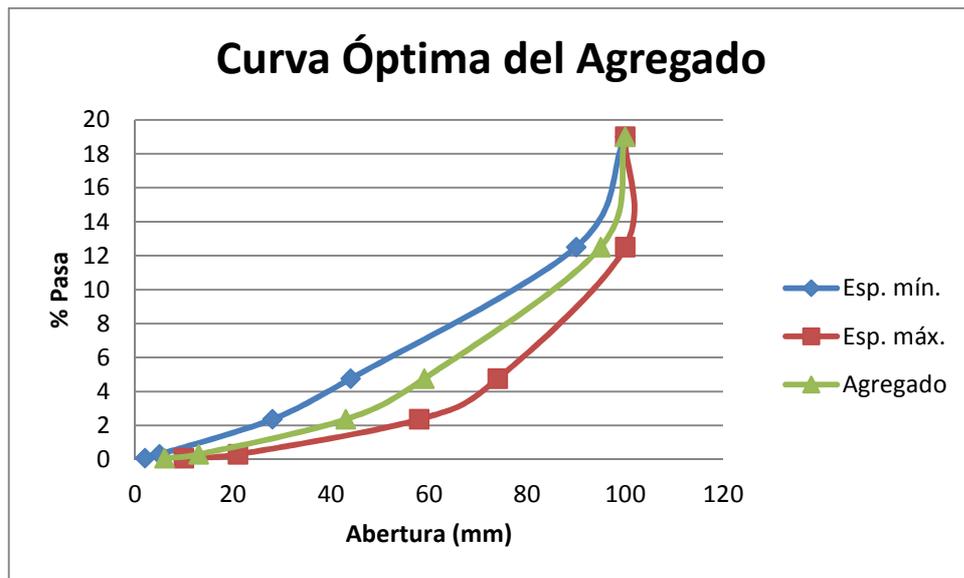


Tabla 3.6: Granulometría requerida para una briqueta de 1200 g.

RETENIDO	UNIDAD	
TAMIZ	%	peso (g)
3/4.		
↓	5	60
N4	36	432
N8	16	192
<N8	43	516
	100	1200

3.7. Determinación del valor “Equivalente de arena” de suelos y agregados finos aplicando la Norma ASTM D 2419

3.7.1. Objetivo

Este procedimiento tiene por objetivo ser empleado como un ensayo rápido de correlación en el campo. La finalidad del ensayo es indicar, en

condiciones normalizadas, la proporción relativa de finos plásticos o de naturaleza arcillosa en los suelos granulares y agregados finos pasando el tamiz de 4,75 mm (N. 4).

3.7.2. Procedimiento

- Llenamos la probeta hasta 10 cm con solución tipo (Cloruro de calcio, glicerina y agua destilada).
- Vertemos contenido de muestra de arena.
- Golpeamos parte inferior para desalojar burbujas y humedecer muestra.
- Dejamos reposar 10 minutos.
- Tapamos la probeta y agitar 90 ciclos (ida y vuelta 20 cm) durante 30 segundos.
- Lavamos el tapón y las paredes interiores de la probeta con disolución lavadora.
- Introducimos tubo irrigador al fondo de la muestra y ascendemos poco a poco (permite el ascenso del material fino atrapado).
- Dejar reposar durante 20 minutos.
- Hacemos lecturas h1 y h2 para las dos muestras.



Figura 3.6: Probeta con muestra.

3.7.3. Cálculos

Para el cálculo del equivalente de arena del suelo se utiliza la siguiente fórmula.

$$\text{Equivalente de arena} = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} \times 100$$

3.7.4. Resultados

Tabla 3.7: Equivalente de arena.

A	Lectura de Arena	13.90	13.80
B	Lectura de Arcilla	4.60	4.50
C=A-10	Nivel de Arena	3.90	3.80
D=(C/B)*100	Equivalente de Arena (%)	84.78	84.44
	Equivalente de Arena (%)	85.00	84.00
	Equivalente de Arena Promedio (%)	84.50	

3.8. Ensayo determinación de la resistencia a la abrasión del agregado grueso de tamaño pequeño usando la máquina de los Ángeles para los materiales pétreos de la cantera de Guayllabamba empleando la Norma AASHTO T 96 (ASTM C 131).

3.8.1. Objetivo

Determinar el desgaste producido por una combinación de impacto y rozamiento superficial en una muestra de agregado grueso.

La prueba consiste en hacer golpear una muestra de material con una carga abrasiva dentro de un tambor metálico giratorio, a una determinada velocidad y durante un tiempo especificado. La evaluación de la resistencia a la abrasión se realiza a partir del incremento en material fino que se produce por el efecto de golpeo con la carga abrasiva dentro del tambor cilíndrico. Este ensayo se lo realiza en la Máquina de los Ángeles.

3.8.2. Procedimiento

- Cuartear el agregado pétreo, tomar una muestra y lavarla.
- Secar a 110°C el agregado hasta que tenga un peso constante
- Una vez seco el material se procede a tamizarlo de acuerdo al juego de tamices establecidos en la Tabla 3.8, de esta manera se obtiene la granulometría.

Tabla 3.8: Juego de tamices.

Designación	Apertura Tamiz (mm)
3/8"	9,5
N4	4,75
N8	2,36
N16	1,18
N30	0,6
N50	0,3
N100	0,15
N200	0,075



Figura 3.7: Tamizado del agregado pétreo.

- Se lo recombinara hasta lograr la granulometría de la Tabla 3.9 que más se aproxime al rango de tamaños en el agregado empleado. El peso de la muestra antes de ensayar será registrado con la aproximación de 5 gramos.

Tabla 3.9: Gradación de las muestras de Ensayo.

Tamaño del Tamiz		Peso de los tamaños indicados, gramos Gradación			
Pasa	Retenido en	A	B	C	D
37,5 (1 ½")	25,0 (1")	1.250±25			
25,0 (1")	19,0 (¾")	1.250±25			
19,0 (¾")	12,5 (½")	1.250±10	2.500±10		
12,5 (½")	9,5 (⅜")	1.250±10	2.500±10		
9,5 (⅜")	6,3 (¼")			2.500±10	
6,3 (¼")	4,75 (N.4)			2.500±10	
4,75 (N.4)	2,36 (N.8)				5.000±10
TOTAL		5.000±10	5.000±10	5.000±10	5.000±10

- Colocar la muestra a probar en la Máquina de los Ángeles. De igual manera se introduce la carga abrasiva de acuerdo a la Tabla 3.10 que indica el número de esferas a colocar según la combinación seleccionada.

Tabla 3.10: Carga de acuerdo al Tipo de Composición.

Tipo de Composición	N. de Esferas	Carga Aplicada (g)
A	12	5000 ± 10
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

- Accionar la máquina para que gire a 500 revoluciones a una velocidad de 30 a 33 r.p.m.



Figura 3.8: Máquina de los Ángeles.

- Después del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y retirar las esferas.
- Separar el material sobre el tamiz de 4,75mm (N.4) y pesarlo.

3.8.3. Cálculos

Para determinar el porcentaje de desgaste que sufrió el agregado pétreo después de haber sometido al ensayo en la Máquina de los Ángeles utilizamos la siguiente formula:

$$Pd = ((Pa - Pb) / Pa) * 100$$

Dónde:

Pd=Porcentaje de desgaste (%)

Pa= masa de la muestra seca antes del ensayo (g)

Pb= masa de la muestra seca después del ensayo, sobre el tamiz 4,75 mm,
(g)

3.8.4. Resultados

Tabla 3.11: Resultado del desgaste por Abrasión AASHTO T 96 en el agregado de Guayllabamba

A	Peso del material antes del ensayo	(g)	5000.0	5000.0
B	Peso del material no desgastado después del ensayo	(g)	3456.5	3398.8
C= A - B	Pérdida por desgaste	(g)	1543.5	1601.2
D = (C/A)*100	Desgaste del material	(%)	30.9	32.0
	Media	(%)	31.447	

3.9. Ensayo determinación del límite plástico para los materiales pétreos de la cantera de Guayllabamba empleando la Norma ASTM D 4313

3.9.1. Objetivo

Determinar en laboratorio el límite plástico (LP) de un material pétreo. Límite plástico es el porcentaje de humedad del suelo que ha producido un cilindro de aproximadamente 3,2 mm (1/8") de diámetro, (rodando dicho suelo entre una superficie lisa y la palma de la mano sin que se desmoronen). Es decir, el porcentaje o contenido de agua que limita el estado plástico del estado resistente semisólido.

El índice de plasticidad de un suelo es la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

3.9.2. Procedimiento

- Se toma unos 20g de la porción del material que pasa por el tamiz de 4,25mm (N.40). se coloca el suelo a secar al aire en un plato de evaporación, se lo mezcla bien con agua destilada hasta que la masa se vuelva lo suficientemente plástica como para hacer una esfera con el material pétreo sin que estas se adhieran a las manos.
- Se moldea la mitad de la porción preparada en forma de un elipsoide. Se hace rodar con la palma de la mano sobre la lámina de vidrio, dándole la forma de pequeños cilindros.
- La presión aplicada para hacer rodar la pasta debe ser suficiente para obtener que las barritas cilíndricas mantengan un diámetro uniforme en toda su longitud.
- La velocidad con que se manipula a la pasta haciéndola rodar debe ser tal de obtener de 60 a 70 impulsos por minuto, entendiendo como un impulso un movimiento completo de la mano hacia adelante y atrás.

- Si el diámetro de los cilindros es menor de 3 mm. y no presentan fisuras o signos de desmenuzamiento, se unen los trozos y se amasan nuevamente tantas veces como sea necesario. La operación también se repite si las barritas cilíndricas se fisuran y agrietan antes de llegar al diámetro 3 mm. En este caso se reúnen los trozos y se amasan nuevamente con el agregado de agua hasta lograr la completa uniformidad.
- El ensayo se da por finalizado cuando las barritas cilíndricas comienzan a fisurarse y agrietarse al alcanzar los 3 mm. de diámetro.
- las baritas de suelo fisurado, deben reunirse y colocarse juntas en un recipiente tarado adecuado, el recipiente junto con las muestras debe pesarse con la aproximación de 0,01 y anotar el peso.
- El recipiente que contiene la muestra debe ponerse a secar en el horno hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5\text{C}$ ($230 \pm 9\text{F}$) y pesarlo, con la aproximación de 0,01 g. La pérdida de peso se registra como el peso del agua.
- Repetimos el mismo procedimiento con la mitad restante de la porción preparada de material pétreo.

3.9.3. Cálculos

Se calcula el límite plástico como el promedio de las humedades de las muestras, expresado como porcentaje.

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso del suelo secado en horno}} \times 100$$

Se lo expresa como el número entero más cercano.

3.9.4. Resultados

Tras varios intentos por formar cilindros de 3,2 mm de diámetro, y no poder lograrlo se concluyó que el agregado pétreo proveniente de la Cantera de Guayllabamba es un material NO PLÁSTICO.



Figura 3.9: Ensayo Limite Plástico, material No plástico.

3.10. Ensayo determinación del límite líquido para los materiales pétreos de la cantera de Guayllabamba empleando la Norma AASHTO T 89

3.10.1. Objetivo

Determinar en laboratorio el límite Líquido (LL) de un material pétreo. El Límite Líquido (LL) es el contenido de agua cuando el suelo pasa de un estado líquido a un estado plástico. Este ensayo se lo realiza en Casagrande.

3.10.2. Procedimiento

- Se toma unos 50 o 60 g de la porción del material que pasa por el tamiz de 4,25mm (N.40) y se colocan en una cápsula.
- Se humedece con agua destilada de 8 a 10 ml revolviendo, amasando y cortando repetida y alternativamente con la espátula, procurando obtener una distribución homogénea de la humedad.
- Cuando la pasta esta uniforme de consistencia rígida, se coloca una porción de la misma en la cápsula de bronce del aparato, se la distribuye de manera que el espesor en el centro sea aproximadamente 10 mm.

- Con el acanalador se hace una muesca en forma tal que quede limpio el fondo de la cápsula en un ancho de 2 mm.; la muesca debe seguir una dirección normal al eje de rotación en su punto medio.
- Se acciona la manivela a razón de 2 vueltas por segundo, y se cuenta y anota el número de golpes necesarios para que, por fluencia, se cierren los bordes inferiores de la muesca, en una longitud de aproximadamente 13 mm.
- Verificar si la unión es por fluencia y no por corrimiento de toda la masa.
- Se retira la porción de pasta, de peso más o menos 10 grs., de la parte en que se produjo la unión, y se coloca en un recipiente previamente tarado. Se pesa y se anota en la planilla.
- Se repiten estas operaciones dos o más veces.
- El suelo en el recipiente será secado en horno a 110 ± 5 °C hasta obtener un peso constante y se registrara como peso del agua, la perdida en peso debido al secado.
- Se repite el procedimiento por los menos dos veces a las cuales se les ha agregado más agua para que se encuentren en una condición más fluida, procurando que el número de golpes requeridos para el cierre de la muesca sean, uno mayor y otro menor de 25 golpes.

3.10.3. Cálculos

El contenido de agua del suelo será expresado como el contenido de humedad en porcentaje del peso del suelo secado en horno y se empleara la siguiente formula.

$$\text{Porcentaje de Humedad} = \frac{\text{Masa de Agua}}{\text{Masa del suelo secado en horno}} \times 100$$

3.10.4. Resultados

Tras varios intentos por lograr que se una los bordes de la muesca, y no poder lograrlo se concluyó que el agregado pétreo proveniente de la Cantera de Guayllabamba es un material con Limite Liquido de cero.



Figura 3.10: Ensayo en Casagrande.

CAPITULO IV: LIGANTES

4.1. ENSAYOS EN ASFALTO

El cemento asfáltico utilizado es de tipo AP-3 proveniente de Chova del Ecuador S.A , ubicada se ubica en Sangolquí el Km. 1 vía a Pifo.

4.1.1. Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos (Aparato De Anillo Y Bola) empleando la Norma ASTM D 36

4.1.1.1. Objetivo

Este método se utiliza para determinar el punto de ablandamiento del betún en el intervalo de 30° a 157° C (86° a 315° F), utilizando el aparato de anillo y bola, sumergido en agua destilada (30° a 80° C).

4.1.1.2. Procedimiento

- Calentar la muestra de material bituminoso hasta que este fluida evitando calentamientos locales y la formación de burbujas de aire, esto se debe hacer con una temperatura menor a la de ablandamiento esperada.

- Sobre una superficie base tratada con un agente aislante, verter la muestra con un ligero exceso en los anillos de prueba previamente calentados a la temperatura de vertido.
- Se deja enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 30 minutos, pasado este tiempo se retira el exceso con un cuchillo o espátula precalentada previamente.



Figura 4.1: Anillos llenos de asfalto.

- Desde el momento en que se forman los discos, no deberán transcurrir más de 240 minutos hasta la terminación del ensayo.
- Se hace el montaje de los aparatos, las guías para las bolas y el termómetro, y se llena el baño con el líquido apropiado hasta una altura de 105 ± 3 mm. Se calienta el baño en forma pausada para asegurar que la tasa de elevación de la temperatura sea constante a $5^\circ \text{C}/\text{min}$.

- Colocando los anillos con los especímenes, usando pinzas colocar las dos esferas en cada guía de centrado.



Figura 4.2: Ejecución del ensayo de reblandecimiento.

- Se anota para cada anillo y bola, la temperatura indicada por el termómetro en el momento en que el producto bituminoso que rodea la bola, toque el fondo del plato de base.



Figura 4.3: Culminación del ensayo de reblandecimiento.

- Si la diferencia entre las dos temperaturas excede de 1° C (2° F), se repite el ensayo.

4.1.1.3. Resultados

Tabla 4.1: Resultados de los ensayos de reblandecimiento.

Reblandecimiento			
N. de ensayo	N. bola	Temperatura	Unidades
1	1	50,5	°C
	2	50,7	°C
2	1	50,9	°C
	2	51,2	°C
3	1	50,0	°C
	2	50,3	°C

4.1.2. Índice de Penetración Cementos Asfálticos empleando la Norma ASTM D5 (AASHTO T 49)

4.1.2.1. Objetivo

Determina la dureza o consistencia relativa, midiendo la distancia que una aguja normalizada penetra verticalmente a una muestra de asfalto en condiciones especificadas de temperatura, carga y tiempo. Cuando no se mencionan específicamente otras condiciones, se determina la penetración normal. Esta se hace a 25 'C, calentando la muestra en un baño de agua termostáticamente controlada, la aguja cargada con 100 g y la carga se

aplica durante 5 segundos. La unidad de penetración es la décima de milímetro.

4.1.2.2. Procedimiento

- Calentar el material en un recipiente, agitándolo para evitar sobrecalentamientos locales y para homogeneizar el material, hasta que alcance la fluidez que permita su vertido en los moldes para las probetas.
- se llena el molde para la probeta calentado a una temperatura semejante a la del material, hasta una altura que sea superior al menos en 10 mm a la penetración supuesta.
- Después de llenar los moldes, protegerlos del polvo y permitir la eliminación de posibles burbujas de aire, y dejar enfriar al aire a una temperatura por un período entre 1 y 1.5 horas.
- Sumergir el recipiente en el baño de agua a la temperatura controlada de 25°C, durante un periodo de 30 minutos.
- Comprobar que el vástago soporte de la aguja este perfectamente limpio y seco, y que se deslice en forma suave y sin rozamiento sobre su guía.

- Fijar la aguja firmemente en su soporte. Se coloca el peso suplementario de 50 g sobre el vástago, para obtener la masa móvil total de 100 ± 0.1 g.
- Aproximar la aguja del penetrómetro hasta que su punta toque justamente la superficie de la muestra, sin que penetre.



Figura 4.4: Muestra previa al ensayo de penetración.

- Poner en cero el penetrómetro y se suelta seguidamente el mecanismo que libera la aguja durante el tiempo especificado.
- Se lee y anota la distancia, expresada en décimas de milímetro, que haya penetrado la aguja en la muestra.



Figura 4.5: Toma de la lectura de penetración.

- Se puede realizar más perforaciones en la muestra para lo cual se la vuela a introducir al baño de agua durante un periodo de 15 minutos.
- Al momento de repetir el ensayo se debe tener en cuenta que se las debe realizar tanto a 10 mm de la perforación inicial y del borde.

4.1.2.3. Resultados

Tabla 4.2: Resultados de los ensayos de penetración.

Ensayo de Penetración			
N. de Muestra	N. de penetración	Lectura	Unidades
1	1	63.7	0,1mm
	2	66.3	0,1mm
	3	65.0	0,1mm
	Promedio	65.0	0,1mm
2	1	62.8	0,1mm
	2	64.1	0,1mm
	3	61.5	0,1mm
	Promedio	62.8	0,1mm
3	1	63.2	0,1mm
	2	65.8	0,1mm
	3	65.0	0,1mm
	Promedio	64.7	0,1mm

4.1.3. Ensayo de ductilidad en el asfalto empleando la Norma ASTM D 113.

4.1.3.1. Objetivo

La ductilidad a baja temperatura es usada para medir la habilidad del material para ser estirado antes de sufrir alguna ruptura (distancia máxima).

4.1.3.2. Procedimiento

- Regule el ductilómetro a la temperatura de la prueba deseada. Asegúrese que la flecha esté en cero.
- Recubra el plato base y las paredes internas de las piezas laterales con lubricante para evitar que la muestra se pegue en las paredes del molde.
- Ensamble el molde con las mordazas y las piezas laterales sobre la placa base.
- Se calienta la muestra hasta fluidificarla, y se la vacía en los moldes sin hacer burbujas, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase.
- Se deja enfriar los moldes por 30 minutos a temperatura ambiente.

- Después de enfriados coloque los moldes en el baño del ductilómetro (a la temperatura especificada) por 30 minutos más.



Figura 4.6: Muestra en los moldes a baño de agua a 25°C.

- Se enrasa los moldes con una espátula o cuchillo caliente para eliminar el exceso de asfalto en los moldes. Coloque nuevamente los moldes en el baño por 1 ½ horas.
- Después de 90 minutos, se quita las piezas laterales del molde y separe la briqueta de la base. Se fija las briquetas con sus mordazas en el ductilómetro sujetando los extremos de éstas en los postes o ganchos de la máquina del ensayo.
- Se enciende el motor, fije la flecha a la barra y jale la muestra con una velocidad de 5 cm por minuto, hasta producir una ruptura en la briqueta.



Figura 4.7: Realización del ensayo de ductilidad.

4.1.3.3. Resultados

Tabla 4.3: Resultados de los ensayos de Ductilidad.

Ductilidad del asfalto	
Muestra	Elongación (cm)
1	99,8
2	100,5
Promedio	100,15

4.2. ENSAYO EN LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

4.2.1. Ensayo para determinar el Porcentaje de Asfalto Residual empleando la Norma ASTM D 6934-8

4.2.1.1. Objetivo

Este ensayo nos permite determinar de forma cuantitativa los residuos de asfalto presentes en las emulsiones asfálticas compuestas principalmente de base asfáltica semisólida o líquida, agua y un agente emulsificante.

4.2.1.2. Procedimiento

- Homogenizar la muestra de emulsión asfáltica que va a ser ensayada mediante agitación evitando la formación de burbujas de aire.
- Pesar el contenedor más una vara para agitar.
- Adicione 50 ± 1 gramos de emulsión asfáltica al contenedor y la vara.
- En el horno a una temperatura de $163 \pm 3^\circ\text{C}$ colocar la muestra durante un periodo de 2 horas.

- Después de este periodo retirar del horno y mezclar el residuo de los contenedores.
- Volver a poner en el horno por un periodo de 1 hora.
- Sacar las muestras del horno las muestras dejarlas enfriar a temperatura ambiente y pesar los contenedores.

4.2.1.3. Cálculos

Se calcula el porcentaje de asfalto residual empleando la siguiente ecuación:

$$\% \text{Asfalto Residual} = 2(a - b)$$

Dónde:

a = Peso del contenedor, agitador y residuo.

b = Peso del contenedor y agitador.

4.2.1.4. Resultados

Tabla 4.4: Resultados de los ensayos de Asfalto Residual.

Asfalto Residual			
Ensayo	A	B	% Residual
1	259,97	228,11	63,7
2	474,66	442,76	63,8
3	653,41	621,64	63,5
		Promedio	63,7

CAPITULO V: DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

5.1. PRERREQUISITOS

5.1.1. Diseño de Carpeta Asfáltica

5.1.1.1. Requerimientos

Tabla 5.1: Requerimientos para diseño de carpeta asfáltica.

Porcentajes de mezcla de agregados.
Medir Gravedad Específica del agregado grueso (ASTM C 127).
Medir Gravedad Específica del agregado fino (ASTM C 128).
Medir Gravedad Específica del Cemento Asfáltico (ASTM D 70).
Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D 1188 – ASTM D 2726)

Dónde:

V_{mb} = volumen total de la mezcla compactada

V_{mm} = volumen de la mezcla sin vacíos

VMA = volumen de vacíos en el agregado mineral

V_{sb} = volumen total del agregado

V_{se} = volumen efectivo de agregado

V_{be} = volumen efectivo de asfalto

V_{ba} = volumen de asfalto absorbido

V_{aire} = volumen de aire

W_{mb} = masa total de la mezcla compactada

W_a = masa del aire

W_b = masa del asfalto

W_{sb} = masa total del agregado

Las fases de asfalto efectivo y de aire de la mezcla, se consideran como volumen de vacíos en el agregado mineral; y la fase de aire como el volumen de aire en la mezcla.

La mezcla asfáltica compactada debe analizarse con base en el volumen, por tanto, es importante definir y entender cada uno de los volúmenes del diagrama de fases.

- Volumen de asfalto efectivo, V_{be} . Es el volumen de asfalto que cubre las partículas de agregado; es decir, es el asfalto que no es absorbido por los poros del agregado.

- Volumen de asfalto absorbido, V_{ba} . Es el volumen de asfalto que es absorbido por los poros externos del agregado.
- Volumen total del agregado, V_{sb} . Es el volumen total del agregado que comprende el volumen del sólido y el de los poros permeables al agua.
- Volumen efectivo del agregado, V_{se} . Es el volumen del agregado que comprende el volumen del sólido y el de los poros permeables al agua no llenos con asfalto.
- Volumen aparente del agregado, V_{sa} . Es el volumen del sólido del agregado, es decir, no incluye el volumen de los poros permeables al agua.²⁴

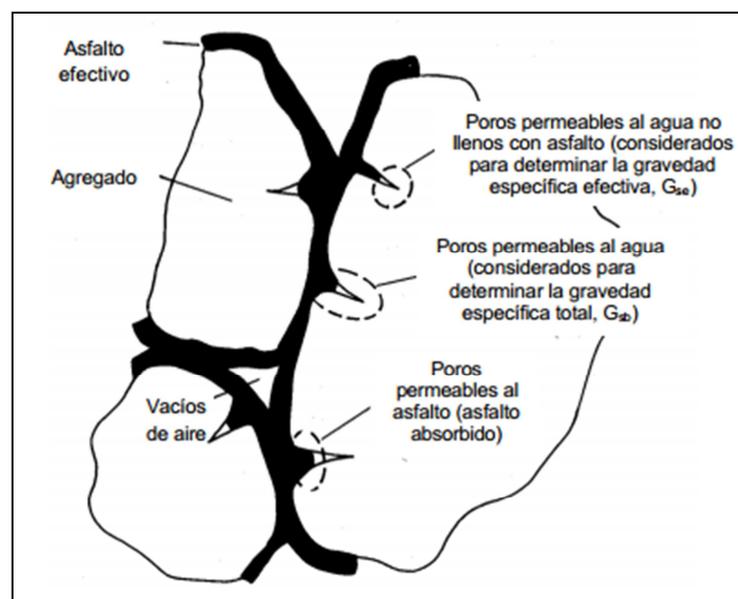


Figura 5.2: Ilustración del volumen de aire, volumen de asfalto efectivo y volumen de asfalto absorbido en una mezcla asfáltica compactada.

(Fuente: Asphalt Institute MS-2, 1996)

²⁴ Coree, 1999

5.1.1.3. Gravedad Específica Bulk del agregado (Gsb)

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregado grueso, agregado fino y llenante con diferentes gravedades específicas, la gravedad específica bulk para el agregado total se calcula empleando la relación:

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

Dónde:

Gsb = gravedad específica bulk para el agregado total.

P1, P2, Pn = porcentajes individuales por masa de agregado.

G1, G2, Gn = gravedad específica neta individual del agregado.

5.1.1.4. Gravedad Específica Efectiva del agregado (Gse)

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla, Gmm, la gravedad específica efectiva del agregado, Gse, incluye todos los espacios vacíos en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto. La Gse se determina empleando la relación:

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

Dónde:

Gse = gravedad específica efectiva del agregado

Gmm = gravedad específica máxima de la mezcla sin vacíos de aire (Obtenida mediante el ensayo ASTM D2041 ó AASHTO T 209).

Pmm = porcentaje de masa total de la mezcla suelta = 100%

Pb = contenido de asfalto con el cual se determina la Gmm expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla.

Gb = gravedad específica del asfalto

5.1.1.5. Gravedad Específica Máxima

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado se necesitará la gravedad específica máxima, Gmm, con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto.

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}}$$

Dónde:

Gmm = gravedad específica máxima de la mezcla (sin vacíos de aire).

Pmm = porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100%

Ps = contenido de agregado expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla. Ps = 100 – Pb.

Pb = contenido de asfalto expresado como porcentaje del total de la masa de la mezcla.

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado.

G_b = gravedad específica del asfalto.

5.1.1.6. Absorción de asfalto (P_{ba})

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado y no como un porcentaje del total de la masa de la mezcla. La absorción del asfalto, P_{ba} , se determina mediante la siguiente relación:

$$P_{ba} = 100 * \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{se}} * G_b$$

Dónde:

P_{ba} = asfalto absorbido expresado como porcentaje de la masa del agregado.

G_{se} = gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = gravedad específica bulk del agregado.

G_b = gravedad específica del asfalto.

5.1.1.7. Contenido efectivo de asfalto (P_{be})

Es el volumen total de asfalto menos la cantidad de asfalto absorbido dentro de las partículas del agregado.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} * P_s$$

Pb = Contenido de asfalto %

Pba = Asfalto absorbido %

Gb = Gravedad específica del asfalto

Ps = % de agregado en la mezcla

5.1.1.8. Vacíos de Agregado Mineral

Se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, el cual incluye los vacíos de aire (Va) y el contenido de asfalto efectivo (Pbe), expresado como un porcentaje del volumen total.²⁵

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * Ps}{Gsb}$$

Dónde:

Gmb = Gravedad Bulk de mezcla compactada

Ps = % de agregado en la mezcla

Gsb = Gravedad específica Bulk de la mezcla de agregado

5.1.1.9. Vacíos de aire (Va)

Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado,

²⁵ Rojas, Franco. (2011). Curso de Pavimentos. [diapositiva]. 19 diapositivas.

expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado.

5.1.1.10. Vacíos llenados con asfalto (VFA)

Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado que es ocupado por el asfalto efectivo.

$$VFA = \frac{100 * (VMA - Va)}{VMA}$$

Dónde:

VMA = Vacíos agregado mineral

Va = Vacíos de aire²⁶

5.1.2. Dosificación de los Agregados Pétreos

Independientemente del número de agregados o combinados del método por el cual las proporciones se determinan, la ecuación básica que expresa la combinación es:

$$P = Aa + Bb + Cc + \dots$$

Dónde:

P = el porcentaje de los agregados combinados que pasan por un tamiz dado;

²⁶ López, D. (2008). Variabilidad del Módulo Resiliente de una mezcla asfáltica MDC-2 dentro de la Ventana de Diseño propuesto por M. Witczak. Trabajo de grado para optar por el título de especialista en vías y transporte, Universidad de Colombia, Colombia.

A, B, C... = Porcentaje de material que pasa a un tamiz dado para los agregados individuales.

a, b, c, ... = Proporción de los agregados individuales que se utilizan en la combinación, en donde el total = 100.

5.1.3. Combinación de dos agregados

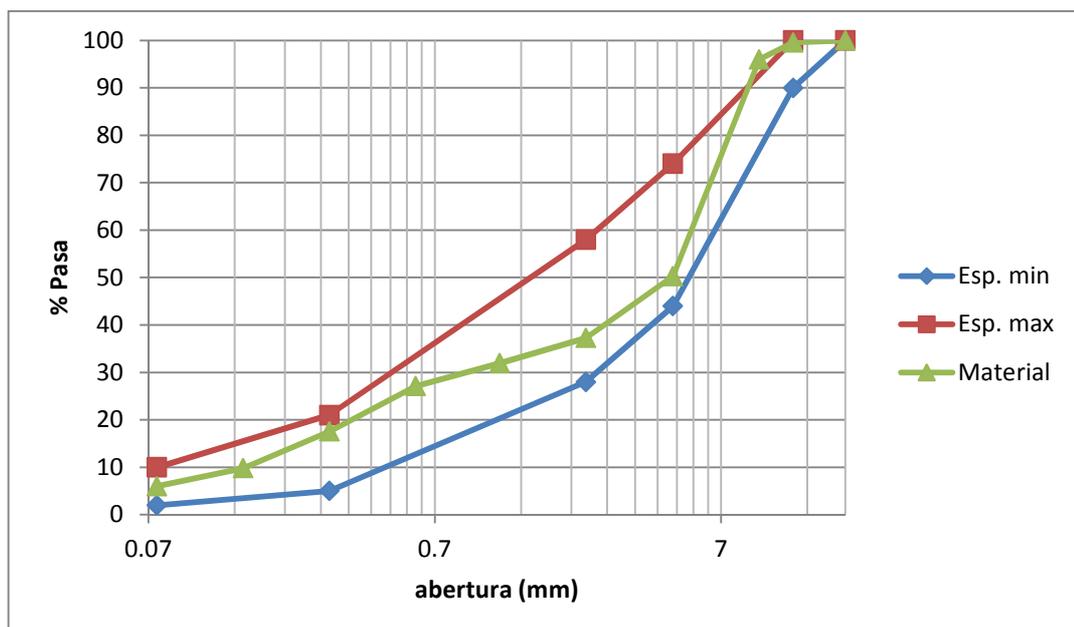
La ecuación básica para la combinación de dos agregados es la siguiente:

$$P = Aa + Bb$$

Tabla 5.2: Combinación de agregados.

a = porcentaje Agr. Grueso	25%
b = porcentaje Arena	75%

Cuadro 5.1: Granulometría obtenida con la combinación realizada con los agregados de la cantera de Guayllabamba.



Para lograr una óptima combinación de agregados con fines de laboratorio se usa el que se encuentra en el centro del rango especificado en el Cuadro 5.1.

Cuadro 5.2: Curva Granulométrica óptima del agregado.

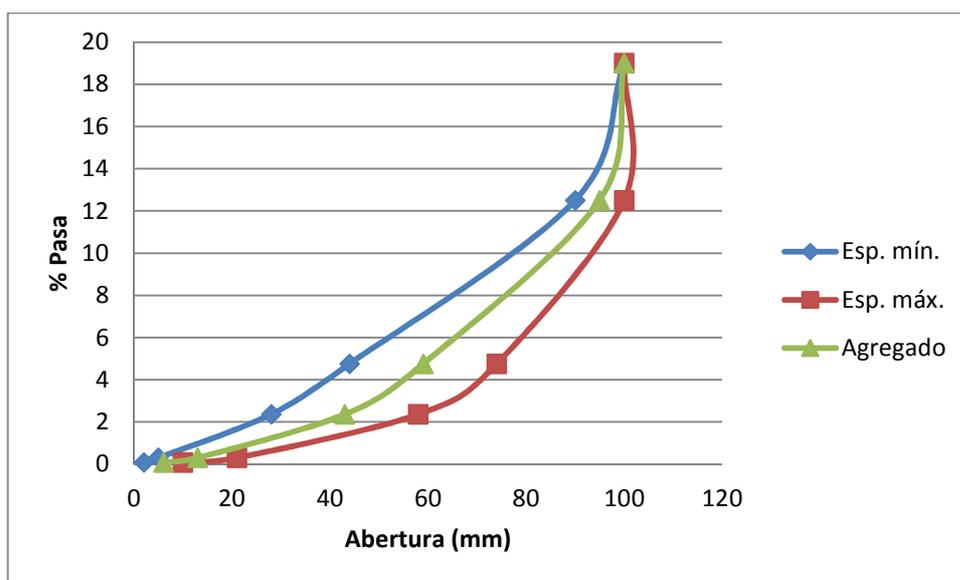


Tabla 5.3: Granulometría requerida para una briqueta de 1200 g.

RETENIDO	UNIDAD	TOTAL
TAMIZ	%	peso total (kg)
3/4<	5	0,9
N4	36	6,48
N8	16	2.88
<N8	43	7.74
	100	18

Tabla 5.4: Combinación óptima de agregados.

Porcentaje Agr. Grueso	41%
Porcentaje Arena	59%



Figura 5.3: Paquetes de 1200 g para cada briqueta.

5.2. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLÍMERO SBS

5.2.1. Método Marshall del diseño de mezcla.

Los procedimientos originales de prueba de Marshall son aplicables solamente en mezclas para pavimentación de asfalto caliente que contengan agregados de un tamaño máximo de 25 milímetros (1 pulgada) o menos.

El método de Marshall utiliza muestras de prueba estándar de 64 mm (2-1/2 pul.) de alto por 102 mm (4 pul.) de diámetro. Estas son preparadas mediante un proceso específico de calefacción, mezcla, y compactación de la mezcla de agregados asfálticos.

Las dos características principales del método de Marshall son los análisis de densidad y vacíos y la evaluación de la estabilidad de fluidez de las muestras de prueba.

La estabilidad de las muestras de prueba es la máxima resistencia de carga en Newtons (libras) que la muestra de prueba estándar ejercerá a 60° C (140° F) cuando se evalúa tal como está indicado. El valor de la fluidez es el movimiento total o tensión, en unidades de 0.25 mm (1/100 pul.) que se produce entre un punto sin carga y el punto de carga máxima durante la prueba de estabilidad.²⁷

5.2.2. Dosificación de asfalto

Preparar una serie de muestras de prueba para un rango diferente de contenidos asfálticos para que las curvas a partir de los datos de evaluación muestren relaciones bien definidas. Las pruebas tienen un incremento de contenido asfáltico de 1 por ciento, dos contenidos asfálticos sobre el valor de diseño que ha sido planeado y dos por debajo del mismo valor.

Se puede calcular el valor de diseño, es decir la cantidad de asfalto usando la siguiente expresión:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

²⁷ Asphalt Institute (1992). Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente MS-22. Estados Unidos: Asphalt Institute

Dónde:

P= contenido aproximado de contenido asfáltico de la mezcla, en porcentaje al peso de la misma.

a= porcentaje de agregado mineral retenido en un tamiz de 2.36mm (No.8)

b= porcentaje de agregado mineral sobrepasando en tamiz de 2.36 mm (No. 8) y retenido en el tamiz de 75 μ m (No. 200)

c= porcentaje de agregado mineral que pasa el tamiz de 75 μ m (No. 200)

K= 0.15 por 11-15 por ciento pasando el tamiz de 75 μ m (No. 200)

0.18 por 6-10 por ciento pasando el tamiz de 75 μ m (No. 200)

0.20 por 5 por ciento o menos pasando el tamiz de 75 μ m (No. 200)

F= 0 a 2.0 por ciento. Basado en la absorción de luz o agregados pesados.

Si estos datos llegasen a faltar, se sugiere un valor de 0.7.

Para proveer datos adecuados, al menos tres muestras deben prepararse para cada tipo de contenido asfáltico.

Es importante señalar que el contenido de asfalto puede ser expresado como un porcentaje en peso de mezcla total o como porcentaje en peso de agregado seco.

Datos:

Tabla 5.5: Datos para calcular el contenido de asfalto en la mezcla.

a =	16
b =	43
c =	0
K =	0,2
F =	0,7

Resultado:

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

$$P = 0.035(16) + 0.045(43) + (0.2)(0) + 0.7$$

$$P = 3.20$$

En este caso se obtiene 3,20 % de Asfalto razón por la cual se opta por realizar 4 incrementos, para obtener el contenido óptimo de asfalto para esta combinación de agregados.

Tabla 5.6: Número de briquetas y porcentajes de asfalto usado.

Tipo	Número	Asfalto (%)	Asfalto (g)
1	1,1	3	36
	1,2	3	36
	1,3	3	36
2	2,1	4	48
	2,2	4	48
	2,3	4	48
3	3,1	5	60
	3,2	5	60
	3,3	5	60
4	4,1	6	72
	4,2	6	72
	4,3	6	72
5	5,1	7	84
	5,2	7	84
	5,3	7	84

5.2.3. Preparación de las probetas de ensayo

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad

diferente de asfalto, en este caso se utiliza los porcentajes determinados en la Tabla 5.6.

La proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico, indicada en la Tabla 5.3.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- El asfalto y el agregado se calientan completamente, controlando que la temperatura no sobrepase los 140°C, hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.



Figura 5.4: Mezclado y control de temperatura.

- Preparación de Molde y martillo: límpiense meticulosamente el montaje del molde de muestras y el martillo y caliéntense a una temperatura entre los 95°C y 150°C. Coloque una pieza de papel de cera y

colóquese el mismo en el fondo del molde previo a la colocación de la mezcla.

- La mezcla asfáltica caliente se colocan en el molde pre-calentado Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.
- La briqueta es compactada mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo es 75. Ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes.



Figura 5.5: Briqueta en la compactadora.

- Repetir este proceso con todos los porcentajes de asfalto que se obtuvo.
- Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes usando un gato de extrusión u otro dispositivo de compresión, entonces colóquelas sobre una suave y nivelada superficie hasta que se encuentren listas para evaluarse. Normalmente las muestras se dejan enfriar por una noche.



Figura 5.6: Extracción de muestras.

- De las briquetas con distintos porcentajes de asfalto se debe obtener 3 pesos distintos:
 - Peso en el Aire: pesar a las briquetas apenas se las desmolda y apuntar su resultado.

- Peso Saturado Superficie Seca: sumergir en agua a las briquetas durante un periodo de 15 minutos, sacarlas, secarlas y tomar su peso.
- Peso Sumergido: tomar el peso de las briquetas sumergidas en agua, dejar estabilizar la lectura del peso durante 15 minutos.



Figura 5.7: Peso en el aire de una biqueta.

5.2.4. Ensayo de muestras

- A cada muestra se debe Sumergirla en la tina de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ de 30 a 40 minutos antes de la evaluación.



Figura 5.8: Probetas sumergidas a 60°C.

- Limpie y lubrique con aceite completamente las superficies internas del cabezal y los postes guías de la prueba. La temperatura del cabezal debe mantenerse entre 21.1°C a 37.8°C, ubique la muestra en el cabezal inferior de prueba y céntralo, entonces acople el cabezal superior y centre el montaje completo en el dispositivo de carga. Coloque el medidor de flujos sobre la barra marcada.

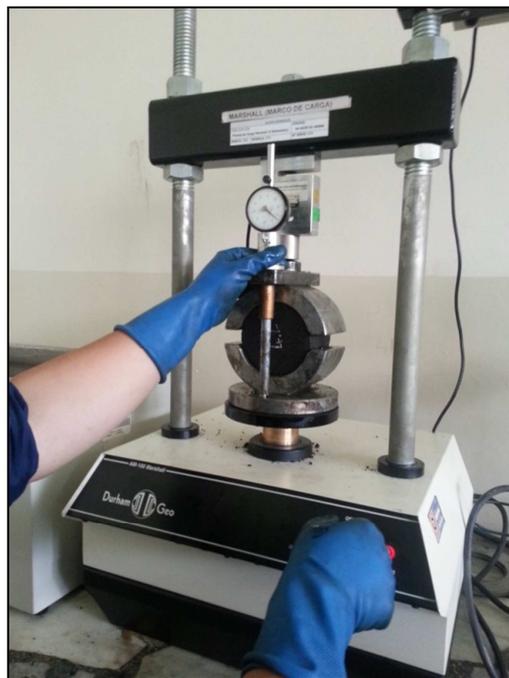


Figura 5.9: Briqueta colocada en la Maquina Marshall.

- Aplique cargas de prueba a las muestras en una constante proporción de deformación, 51 mm (2 pul.) por minuto, hasta que alguna falencia se presente. El punto de falencia es definido por la máxima lectura de carga obtenida, registrada como el valor de estabilidad Marshall.
- mientras la prueba de estabilidad se encuentra en proceso, sostenga firmemente el medidor de flujos sobre la barra guía marcada y retírelo mientras la medida de carga disminuya, tome la lectura y registre.
- El procedimiento completo para las medidas de estabilidad y fluidez, deberá ser completada en un periodo de 30 segundos.



Figura 5.10: Briquetas ensayadas con 3% de asfalto.

- Se reporta los datos de estabilidad y flujo.

5.2.5. Resultados

Tabla 5.7: Resultados del cálculo de gravedades.

GSb (Grav. esp. de agregados) =	2,408	gr/cm ³
Gmm (Grav. esp. Teórico máx medido) =	2,252	gr/cm ³
Gb (Grav. esp. Asfalto) =	1,013	gr/cm ³

Tabla 5.8: Resultados de Gravedad específica efectiva (Gse), Absorción de asfalto (Pba) y Contenido efectivo de asfalto (Pbe).

Briqueta	Porcentaje asfalto	Gse	Pba	Pbe
1	3,0	2,521	1,88	1,172
2	3,0	2,521	1,88	1,172
3	3,0	2,521	1,88	1,172
	Promedio	2,521	1,885	1,172
4	4,0	2,495	1,47	2,593
5	4,0	2,495	1,47	2,593
6	4,0	2,495	1,47	2,593
	Promedio	2,495	1,466	2,593
7	5,0	2,469	1,04	4,013
8	5,0	2,469	1,04	4,013
9	5,0	2,469	1,04	4,013
	Promedio	2,469	1,039	4,013
10	6,0	2,443	0,60	5,434
11	6,0	2,443	0,60	5,434
12	6,0	2,443	0,60	5,434
	Promedio	2,443	0,602	5,434
13	7,0	2,417	0,16	6,855
14	7,0	2,417	0,16	6,855
15	7,0	2,417	0,16	6,855
	Promedio	2,417	0,156	6,855
Promedio	General	2,469	1,030	4,013

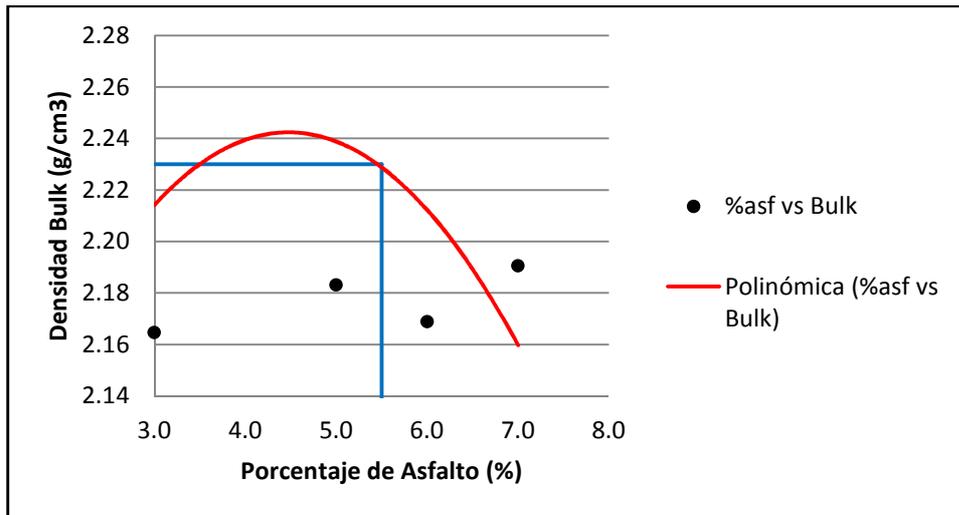
Tabla 5.9: Comprobación de gravedades.

Gsb	<	Gse	<	Gsa
2,4077	<	2,4687	<	2,6791

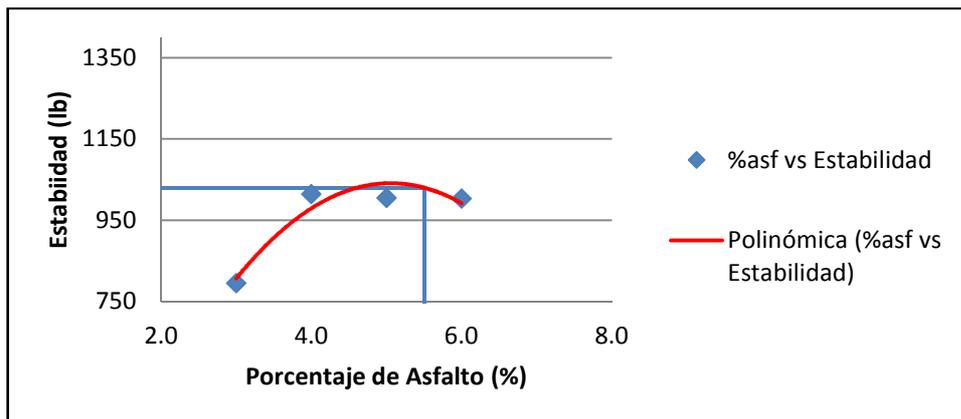
Tabla 5.10: Resultados ensayos Marshall.

Briqueta	% Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Sec	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm ³)	Gmb g/cm ³	Gmm g/cm ³	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
											Medida	Correc.	Corregida	
1	3,0	1115,1	1113,36	605,99	507,37	2,198	2,41	8,91	11,46	22,19	826	1,00	826	10
2	3,0	1161,9	1159,04	615,97	543,07	2,139	2,41	11,33	13,81	17,92	825	0,89	734	11
3	3,0	1102,4	1112,70	601,62	511,08	2,157	2,41	10,61	13,11	19,04	825	1,00	825	10
					Promedio	2,165	2,41	10,3	12,79	19,72			795	10
4	4,0	1194,11	1195,69	649,39	546,30	2,186	2,36	7,25	12,85	43,54	1123	0,89	999	13
5	4,0	1200,10	1215,25	655,52	559,73	2,144	2,36	9,03	14,51	37,81	1123	0,86	965	11
6	4,0	1193,58	1205,12	651,45	553,67	2,156	2,36	8,53	14,05	39,28	1214	0,89	1080	12
					Promedio	2,162	2,36	8,3	13,80	40,21			1015	12
7	5,0	1200,89	1212,85	664,20	548,65	2,189	2,30	4,97	13,64	63,58	1177	0,89	1047	16
8	5,0	1212,56	1224,35	667,95	556,40	2,179	2,30	5,38	14,01	61,61	1105	0,86	950	14
9	5,0	1200,59	1214,47	664,14	550,33	2,182	2,30	5,28	13,92	62,07	1145	0,89	1019	12
					Promedio	2,183	2,30	5,2	13,86	62,42			1005	14
10	6,0	1251,88	1269,34	687,50	581,84	2,152	2,25	4,46	16,00	72,13	1214	0,81	983	15
11	6,0	1233,77	1242,43	675,63	566,80	2,177	2,25	3,34	15,02	77,75	1201	0,86	1033	16
12	6,0	1244,69	1249,75	678,42	571,33	2,179	2,25	3,26	14,95	78,19	1198	0,83	994	17
					Promedio	2,169	2,25	3,7	15,32	76,02			1003	16
13	7,0	1258,02	1265,46	690,19	575,27	2,187	2,20	0,73	15,53	95,27	1400	0,83	1162	18
14	7,0	1256,03	1263,68	690,25	573,43	2,190	2,20	0,57	15,40	96,27	1477	0,83	1226	18
15	7,0	1257,43	1263,46	690,48	572,98	2,195	2,20	0,38	15,23	97,47	1380	0,83	1145	19
					Promedio	2,191	2,20	0,6	15,39	96,34			1178	18

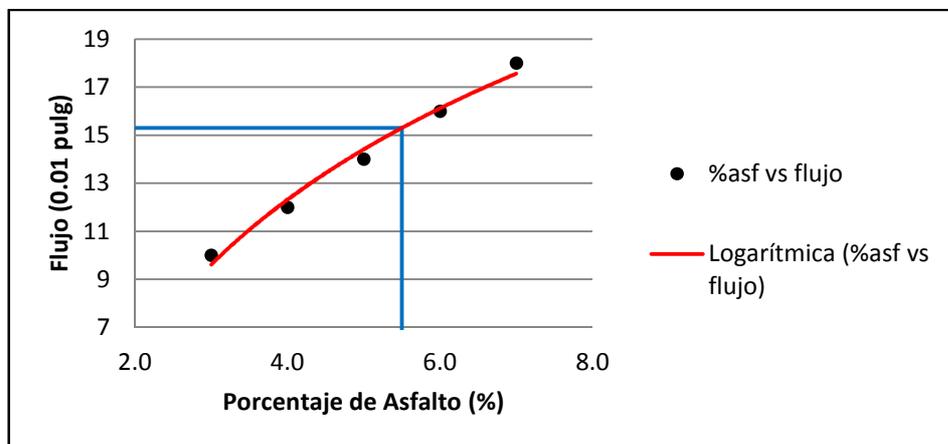
Cuadro 5.3: Densidad Vs Porcentaje de Asfalto.



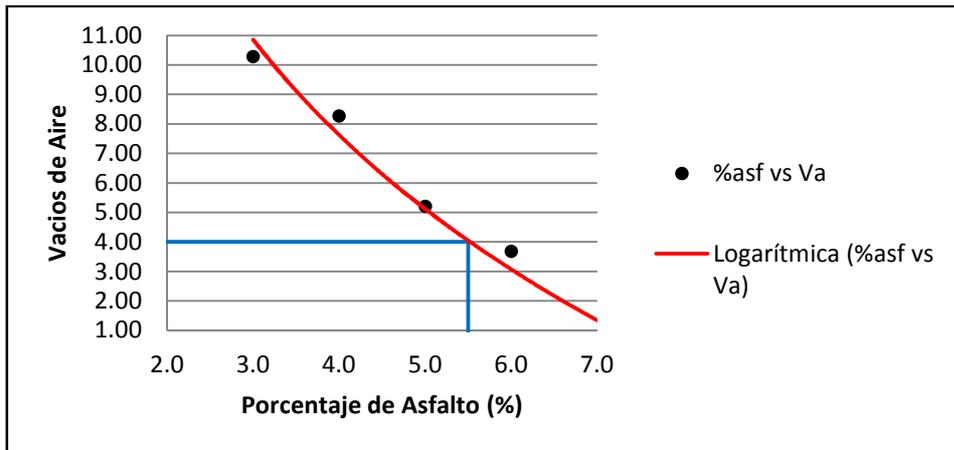
Cuadro 5.4: Estabilidad Vs Porcentaje de Asfalto.



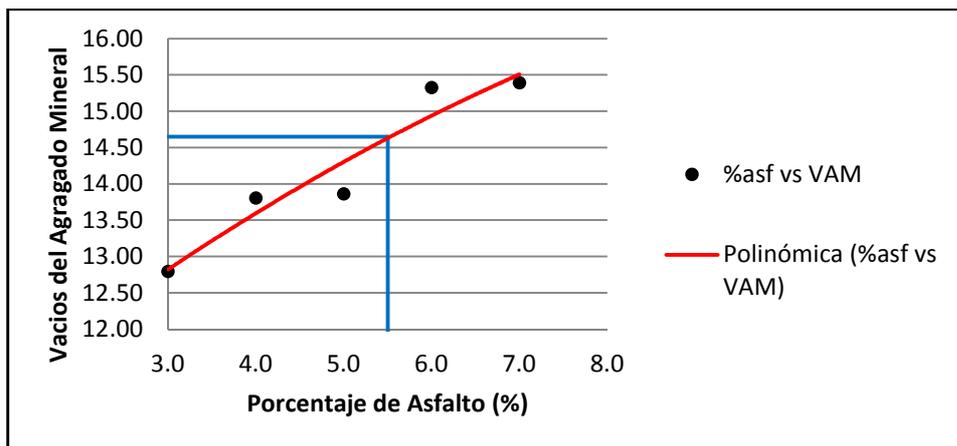
Cuadro 5.5: Flujo Vs Porcentaje de Asfalto.



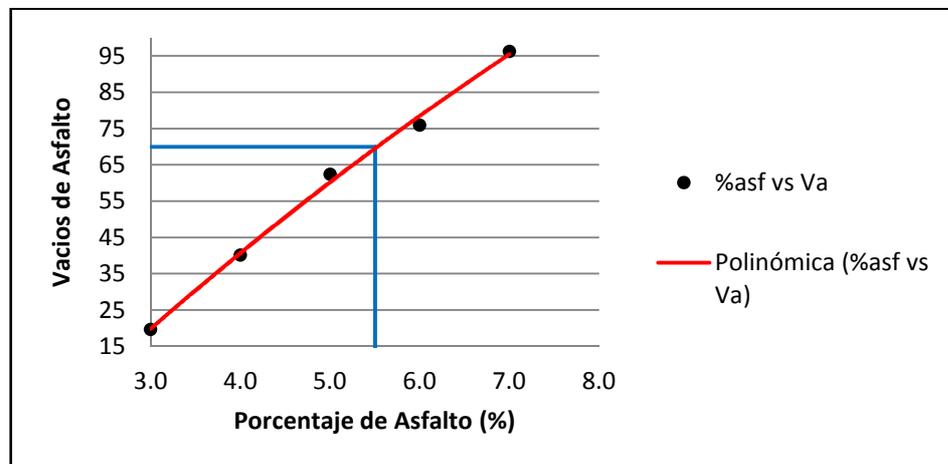
Cuadro 5.6: Vacíos de Aire Vs Porcentaje de Asfalto.



Cuadro 5.7: Vacíos de Agregado Mineral Vs Porcentaje de Asfalto.



Cuadro 5.8: Vacíos de Asfalto Vs Porcentaje de Asfalto.



Analizando la graficas de Vacíos de aire versus Porcentaje de asfalto se selecciona el porcentaje de asfalto que cumpla con vacíos de 4.

Para este análisis el porcentaje de asfalto óptimo para el agregado de la cantera de Guayllabamba es del 5.5 % que equivale a 66 gramos de asfalto.

5.2.6. Determinación del porcentaje óptimo de polímero SBS

Se adicionan los diferentes porcentajes de polímero SBS al porcentaje de asfalto previamente calculado (5.5 % de asfalto), y se escoge el porcentaje con el cual las propiedades del asfalto mejore.

5.2.7. Procedimiento

- Polimerizar el asfalto con los distintos porcentajes en una mezcladora la cual se calibra previamente el número de revoluciones por segundo, para nuestro tipo de asfalto la velocidad es 5 r.p.s.
- Debido al tipo de polímero esta polimerización dura aproximadamente 4 horas por cada contenido de polímero, se debe controlar frecuentemente que la temperatura de la mezcla no supere los 210°C.



Figura 5.11: Adición del polímero SBS en el Asfalto.

- Preparar tres probetas usando el asfalto polimerizado con distintos porcentajes, con el procedimiento que se indicó en el literal 5.3.2.
- Se toman los pesos: al aire, saturada con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas.
- Ensayar las muestras como se indicó en el literal 5.3.3.

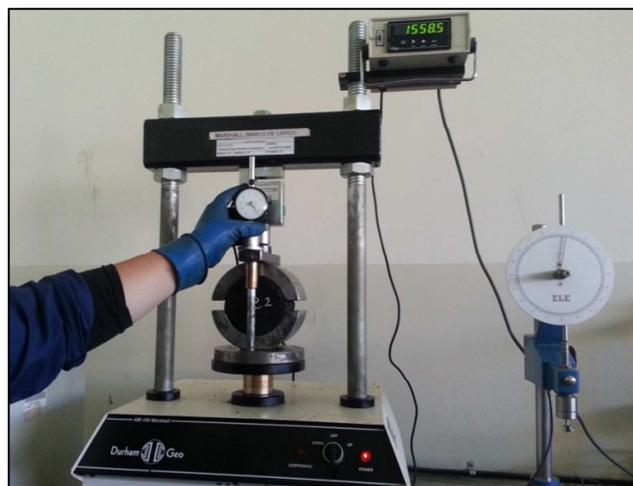


Figura 5.12: Ensayo de las probetas con polímero SBS.

- Reportar los datos de estabilidad y flujo.

5.2.8. Resultados

Tabla 5.11: Resultados de Gravedad específica efectiva (Gse), Absorción de asfalto (Pba) y Contenido efectivo de asfalto (Pbe).

Briqueta	% Asfalto	% Polímero	Gse	Pba	Pbe
1	5,5	0	2,425	0,29	5,224
2	5,5	0	2,456	0,82	4,724
3	5,5	0	2,456	0,82	4,724
		Promedio	2,445	0,645	4,890
4	5,5	2	2,456	0,82	4,724
5	5,5	2	2,456	0,82	4,724
6	5,5	2	2,456	0,82	4,724
		Promedio	2,456	0,822	4,724
7	5,5	3	2,456	0,82	4,724
8	5,5	3	2,456	0,82	4,724
9	5,5	3	2,456	0,82	4,724
		Promedio	2,456	0,822	4,724
10	5,5	4	2,456	0,82	4,724
11	5,5	4	2,456	0,82	4,724
12	5,5	4	2,456	0,82	4,724
		Promedio	2,456	0,822	4,724
13	5,5	5	2,456	0,82	4,724
14	5,5	5	2,456	0,82	4,724
15	5,5	5	2,456	0,82	4,724
		Promedio	2,456	0,822	4,724
PROMEDIO GENERAL			2,454	0,786	4,757

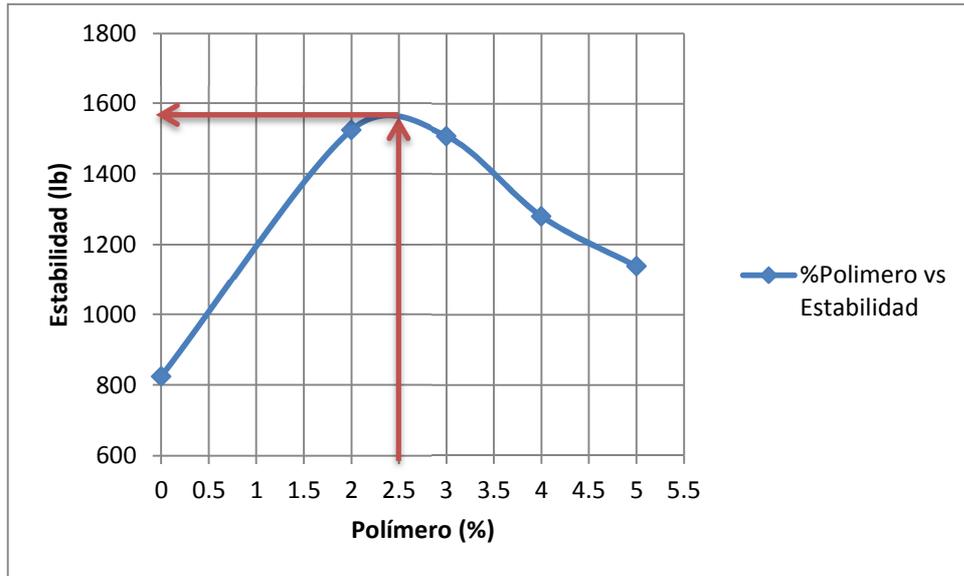
Tabla 5.12: Comprobación de gravedades.

Gsb	<	Gse	<	Gsa
2,4077	<	2,4536	<	2,6791

Tabla 5.13: Resultados ensayo Marshall a briquetas con polímeros.

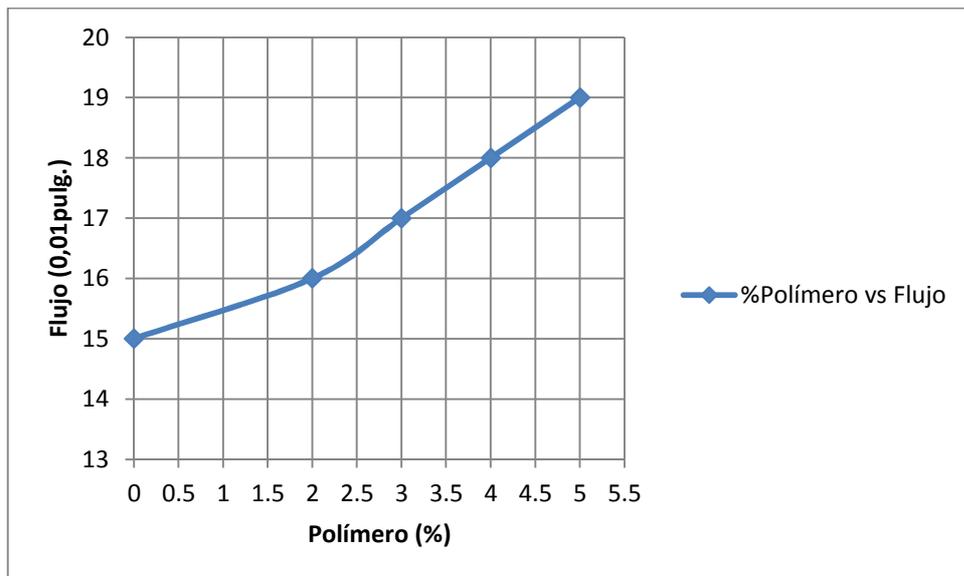
Briqueta	porcentaje polimero	Porcentaje Asfalto	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso en agua	Volumen Briqueta (cm3)	Gmb g/cm3	Gmm (calc) g/cm3	V. a. %	VAM %	VAF %	Estabilidad (lb)			Flujo 0.01"
												Medida	Correc.	Corregida	
1	0	5,5	1247,09	1257,04	665,64	591,40	2,109	2,25	6,36	17,24	63,09	744	1,00	744	15
2	0	5,5	1248,35	1254,39	664,30	590,09	2,116	2,28	7,10	16,97	58,13	838	1,00	838	15
3	0	5,5	1253,56	1263,90	667,22	596,68	2,101	2,28	7,75	17,54	55,84	891	1,00	891	14
						Promedio	2,108	2,27	7,1	17,25	59,02			824	15
4	2	5,5	1234,35	1246,64	654,49	592,15	2,085	2,28	8,47	18,19	53,45	1456	1,00	1456	16
5	2	5,5	1242,62	1252,63	656,78	595,85	2,085	2,28	8,42	18,15	53,58	1559	1,00	1559	15
6	2	5,5	1243,76	1258,13	666,98	591,15	2,104	2,28	7,61	17,42	56,31	1559	1,00	1559	16
						Promedio	2,091	2,28	8,2	17,92	54,45			1524	16
7	3	5,5	1244,66	1257,03	678,11	578,92	2,150	2,28	5,59	15,62	64,19	1488	1,00	1488	18
8	3	5,5	1154,17	1161,54	623,11	538,43	2,144	2,28	5,87	15,87	62,99	1492	1,00	1492	16
9	3	5,5	1241,32	1251,35	659,33	592,02	2,097	2,28	7,93	17,71	55,22	1544	1,00	1544	17
						Promedio	2,130	2,28	6,5	16,40	60,80			1508	17
10	4	5,5	1243,80	1254,36	670,27	584,09	2,129	2,28	6,49	16,42	60,47	1307	1,00	1307	18
11	4	5,5	1243,25	1250,58	672,43	578,15	2,150	2,28	5,57	15,60	64,28	1271	1,00	1271	17
12	4	5,5	1242,48	1253,81	664,19	589,62	2,107	2,28	7,47	17,29	56,82	1263	1,00	1263	18
						Promedio	2,129	2,28	6,5	16,44	60,52			1280	18
13	5	5,5	1233,29	1240,88	662,73	578,15	2,133	2,28	6,33	16,28	61,11	1124	1,00	1124	19
14	5	5,5	1237,99	1245,17	664,24	580,93	2,131	2,28	6,42	16,36	60,74	1170	1,00	1170	19
15	5	5,5	1234,16	1240,13	669,24	570,89	2,162	2,28	5,07	15,15	66,53	1120	1,00	1120	18
						Promedio	2,142	2,28	5,9	15,93	62,79			1138	19

Cuadro 5.9: Estabilidad vs Porcentaje de polímero SBS.



- El porcentaje óptimo de polímero SBS es el 2,5% que equivale a 30 gramos.
- Con este porcentaje óptimo tenemos una estabilidad de 1550 lb.

Cuadro 5.10: Flujo vs Porcentaje de polímero SBS.



- Con este porcentaje óptimo de 2,5 tenemos un Flujo de 16,5 (0,01pulg).

5.3. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO MODIFICADA CON POLÍMERO SBR

5.3.1. Cantidad aproximada de emulsión asfáltica para determinar el contenido de óptimo de agua

La cantidad de emulsión asfáltica se estima para las mezclas de prueba mediante el ensayo de queroseno centrífuga equivalente o por sus siglas en inglés CKE.²⁸

Si el equipo de CKE no está disponible, una aproximación del contenido de asfalto emulsificado para mezclas de prueba se puede hacer con la siguiente formula:

$$P = (0.05A + 0.1B + 0.5C) \times (0.7)$$

Dónde:

P = Porcentaje* en peso de asfalto emulsificado, basado en el peso del agregado seco

A = Porcentaje* de agregado retenido en el tamiz 236 mm (N. 8)

²⁸ Asphalt Institute (1998). Cold mix manual MS-14. Estados Unidos: Asphalt Institute.

B = Porcentaje* de árido que pasa por el tamiz 236 mm (N. 8) y retenidas en el tamiz 75µm (N. 200)

C = Porcentaje* del agregado que pasa por el tamiz 75 µm (N. 200)

*Expresado como un número entero.

Tabla 5.14: Cantidad aproximada de emulsión asfáltica.

A	57
B	43
C	0
P=	5
P sumido=	8%

5.3.2. Prueba de recubrimiento

La evaluación preliminar de cada emulsión asfáltica seleccionada para el diseño de mezcla se lleva a cabo a través de una prueba de recubrimiento. La emulsión se combina con el agregado de trabajo, y el recubrimiento se estima visualmente como un porcentaje del área total.



Figura 5.13: Muestra recubierta con emulsión.

5.3.3. Contenido de agua óptima para la compactación

Las propiedades de la mezcla se relacionan estrechamente con la densidad de las muestras compactadas. Por lo tanto, es necesario optimizar el contenido de agua en compactación para maximizar las propiedades de la mezcla deseadas.

5.3.3.1. Procedimiento

- Para determinar el contenido óptimo de agua se prepararan tres muestras para cada contenido de agua en compactación para ser evaluados. Generalmente tres incrementos de contenido de agua son suficientes para definir la estabilidad (densidad) / contenido de agua en la curva de compactación.
- Se limpia el molde de muestra y la cara del martillo de compactación.
- Se coloca una hoja de papel encerado cortada a medida en el fondo del molde antes de colocar la mezcla en el molde.
- Se recombina cada fracción de tamaño del agregado para producir una masa total de agregado de 1200 g para cada muestra.

- Para la compactación de las muestras se acomoda la mezcla con una espátula de filo redondeado golpeándola 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces más en la parte central.
- Se coloca el conjunto de molde primero en el pedestal de compactación en el soporte del molde y se aplican 50 golpes con el martillo de compactación. Retire el collar y la placa base, invertir el molde y volver a montar. Se aplica el mismo número de golpes de compactación a la superficie de la muestra invertida.



Figura 5.14: Compactación de la muestra para determinar contenido óptimo de agua.

- Se retira los collares, placas base, y papel de todos los ejemplares.
- Para el curado de las briquetas se las deja un día en los moldes a temperatura ambiente, después de este tiempo se retira de los moldes y se deja la muestra dos días en el horno.
- Se toman los pesos: al aire, saturada con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas.

- Se ensaya cada muestra en la máquina de compresión utilizando el método de Marshall modificado, que se lo realiza a temperatura ambiente.



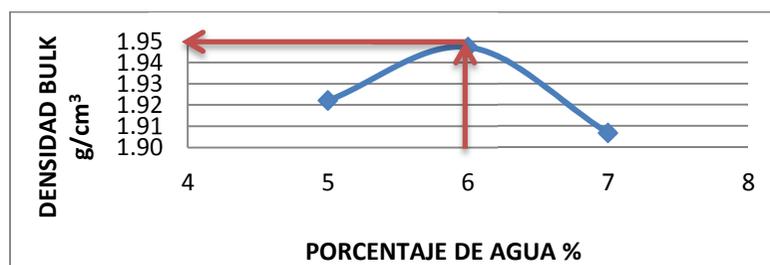
Figura 5.15: Ensayo de Marshall modificado.

5.3.3.2. Resultados

Tabla 5.15: Determinación del contenido óptimo de agua.

% DE AGUA	BRIQUETA	PESO DEL AGUA	PESO DE LA EMULSIÓN 8%	PESO EN EL AIRE	PESO SATU. SUPER. SECA	PESO SUMERGIDO	VOLUMEN	Gmb (g/cm ³)	Estabilidad (lb)			Flujo (0.01")
									Medida	Correc.	Corregida	
5	1	60	96	1193.32	1197.75	571.41	626.34	1.91	1834.9	0.71	1302.78	30
	2	60	96	1213.87	1217.6	591.56	626.04	1.94	2489.1	0.71	1767.26	26
				1203.595	1207.675	581.485	626.19	1.92	2162.00		1535.02	28
6	1	72	96	1226.8	1228.93	598.03	630.9	1.94	2474.7	0.71	1757.04	33
	2	72	96	1168.97	1172.99	558.27	614.72	1.90	1502.9	0.74	1112.15	33
	3	72	96	1171.08	1172.74	585.88	586.86	2.00	3215.8	0.83	2669.11	28
				1188.95	1191.55	580.72	610.83	1.95	2397.80		1846.10	31
7	1	84	96	1220.43	1222.71	585.25	637.46	1.91	2737.4	0.71	1943.55	32
	2	84	96	1194.16	1195.42	582.14	613.28	1.95	2957.5	0.74	2188.55	30
	3	84	96	1159.08	1161.88	538.13	623.75	1.86	1535.4	0.74	1136.20	29
				1191.22	1193.33	568.50	624.83	1.91	2410.10		1756.10	30

Cuadro 5.11: Contenido óptimo de agua.



Cuatro cálculos se requieren para cada combinación de agregado y asfalto: Son masa de: asfalto-agregado, emulsión, agua añadida en la premezcla y la pérdida de agua por compactación.

a= masa del agregado seco (gr)	1200
b=porcentaje del contenido del agua agregada al agregado seco (%)	0
c= contenido de asfalto residual deseado, porcentaje del peso seco agregado (%)	8
d= porcentaje de asfalto residual en la emulsión (%)	63.7
e= porcentaje de agua en la emulsión = (100 - d)	36.3
f= porcentaje del contenido de agua en la pre mezcla (masa del agregado seco)	5 6 7
g= porcentaje de contenido de agua en la compactación (masa del agregado seco)	3 3.5 4

Tabla 5.16: Cálculos para pérdida de agua por compactación.

Porcentaje de agua	5%	6%	7%
A) Masa en el aire del agregado añadido = $[a / (100 - b)] \times 100$	1200	1200	1200
B) Masa de la emulsión asfáltica = $(a \times c) / d$	150.7 4	150.7 4	150.74
C) Masa del agua añadida en la pre mezcla = $a (f - b - (e \times c) / d) / 100$	5.26	17.26	29.26
D) Masa del agua perdida por compactación = $a ((f - g) / 100)$	24	30	36
Porcentaje de agua perdida (%)	2	2.5	3



Figura 5.16: Perdida de agua por compactación.

5.3.4. Contenido óptimo de emulsión para la mezcla

Para la determinación de contenido óptimo de emulsión para un agregado particular, una serie de muestras de prueba se preparan en un rango de contenido de emulsión, utilizando previamente los valores establecidos del contenido óptimo de agua para la mezcla y compactación.

5.3.4.1. Procedimiento

- Se preparan seis ejemplares por cada contenido de emulsión.
- Se preparan los moldes y martillos sin cambios a lo explicado anteriormente.
- La adición de agua a la mezcla será la obtenida en el contenido óptimo de agua para todas las muestras.
- Se compacta la muestra con 50 golpes por cara.

- Cada muestra se cura un día a temperatura ambiente, después de esto se lo desmolda y se lo cura en un horno por dos días.
- Se toman los pesos: al aire, saturada con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas.
- Tres muestras por cada porcentaje de emulsión serán ensayadas de forma normal en la máquina de compresión con el ensayo de Marshall modificado.
- Las otras tres muestras se someterán a una saturación de agua mediante la inmersión en una bomba de vacíos a una presión de 4 pulgadas-Hg.



Figura 5.17: Saturación de la briquea en la bomba de vacíos.

- Después de la saturación se ensayan las muestras en la máquina de compresión con el ensayo de Marshall modificado.



Figura 5.18: Briquetas ensayadas.

- Se reportan los datos de estabilidad y flujo.

5.3.4.2. Resultados

Tabla 5.17: Cálculo del porcentaje óptimo de emulsión.

% EMULSION		briqueta #	peso de la emulsión	peso del agua 6%	peso en el aire	peso satura. sup. seca	peso sumergido	volumen briqueta	Gmb (g/cm3)	Estabilidad (lb)			Flujo (0.01")	
										Medida	Correc.	Corregida		
6	SECO	6.1	72	72	1186.96							0.00		
		6.2	72	72	1211.85	1216.77	584.13	632.64	1.916	2609.7	0.71	1852.89	20	
		6.4	72	72	1202.85	1207.8	575.1	632.7	1.901	2597.4	0.71	1844.15	20	
	promedios								632.67	1.908			1848.52	20
	HUMEDO	6.5	72	72	1210.58	1276	632.03	643.97	1.880	2142	0.68	1456.56	19	
		6.6	72	72	1207.59	1301.82	650.03	651.79	1.853	2494.2	0.68	1696.06	19	
promedios								647.88	1.866			1576.31	19.00	
8	SECO	8.1	96	72	1218.91	1224.98	592.6	632.38	1.927	3285.3	0.71	2332.56	24	
		8.2	96	72	1196.68	1202.58	600.76	601.82	1.988	3336.6	0.77	2569.18	24	
		8.3	96	72	1211.13	1216.53	596.69	619.84	1.954	3395.2	0.74	2512.45	24	
	promedios								618.01	1.957			2471.40	24
	HUMEDO	8.4	96	72	1202	1298.62	665.46	633.16	1.898	3326.3	0.71	2361.67	26	
		8.5	96	72	1190.85	1245.05	617.27	627.78	1.897	3227.7	0.71	2291.67	26	
8.6		96	72	1212.4	1317.91	673.22	644.69	1.881	3447.4	0.68	2344.23	24		
promedios								635.21	1.891			2332.52	25	
10	SECO	10.1	120	72	1202.06	1207.51	607.71	599.8	2.004	3624.1	0.8	2899.28	26	
		10.2	120	72	1155.84	1160.72	591.71	569.01	2.031	3398.9	0.86	2923.05	26	
		10.3	120	72	1189.32	1194.36	601.24	593.12	2.005	3812.2	0.8	3049.76	27	
	promedios								587.31	2.014			2957.36	26
	HUMEDO	10.4	120	72	1185.23	1231.28	613.43	617.85	1.918	3534.6	0.74	2615.60	26	
		10.5	120	72	1216.9	1245.83	625.15	620.68	1.961	3374.2	0.74	2496.91	27	
10.6		120	72	1193.62	1267.87	661.59	606.28	1.969	3382.3	0.77	2604.37	28		
promedios								614.93	1.949			2572.29	27	

Cuadro 5.12: Asfalto Residual Vs. Densidad Bulk.

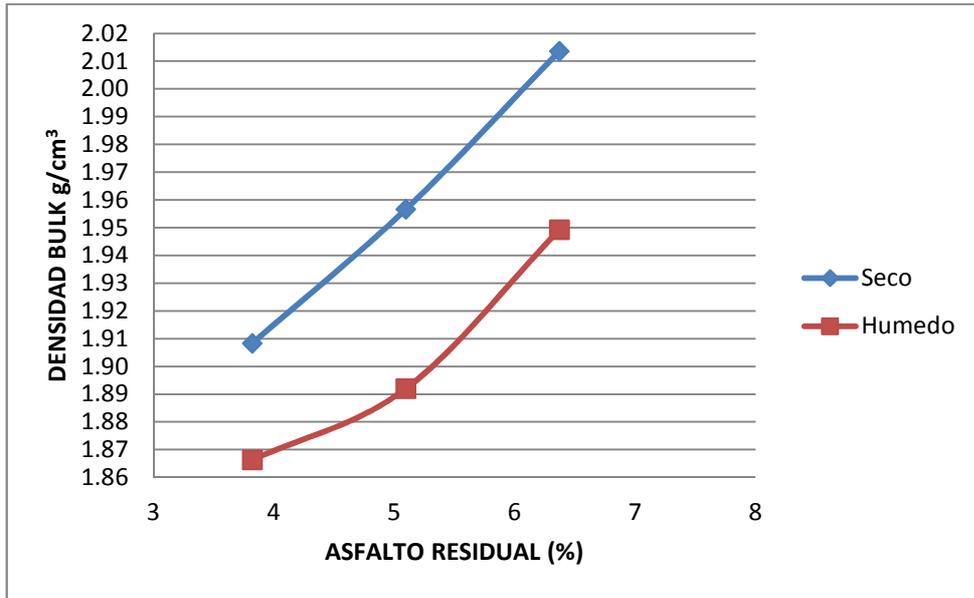


Tabla 5.18: Datos del Cuadro 5.12.

% Asfalto	% A. Residual	Seco	Húmido
6	3,822	1,91	1,87
8	5,096	1,96	1,89
10	6,37	2,01	1,95

Cuadro 5.13: Asfalto Residual Vs. Estabilidad.

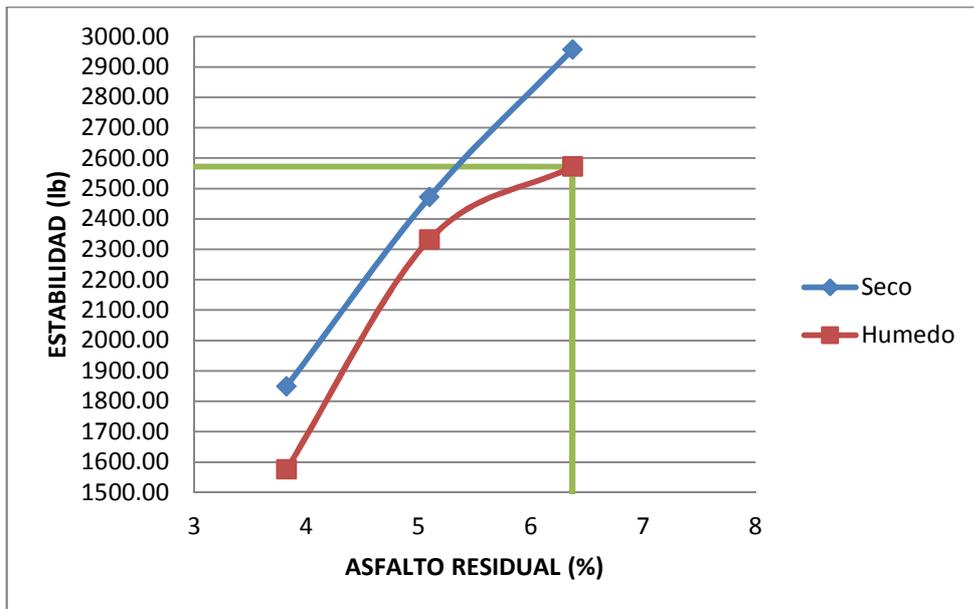


Tabla 5.19: Datos del Cuadro 5.13.

% Asfalto	% A. Residual	Seco	Húmedo
6	3,822	1848,52	1576,31
8	5,096	2471,40	2332,52
10	6,37	2957,36	2572,29

Cuadro 5.14: Asfalto Residual Vs. Variación de la Estabilidad.

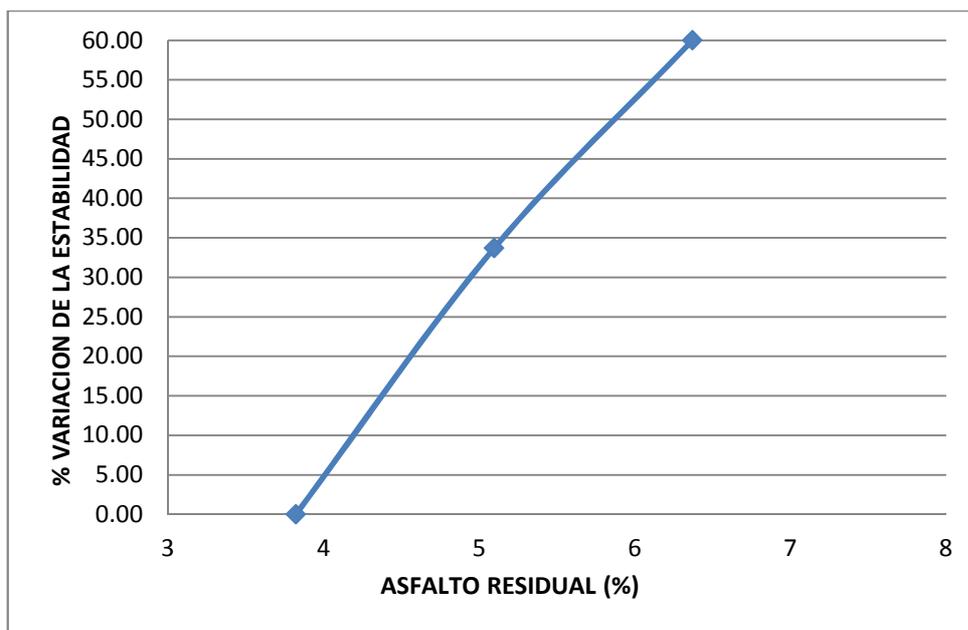


Tabla 5.20: Datos del Cuadro 5.14.

% A. Residual	% Variación
3,822	0,00
5,096	33,70
6,37	59,99

5.3.5. Obtención de la mezcla con polímero óptimo

Se hace la adición de los diferentes porcentajes de polímero SBR al porcentaje de emulsión asfáltica previamente calculada (10 % de emulsión asfáltica).



Figura 5.19: Adición del polímero SBR en la emulsión.

5.3.5.1. Procedimiento

- Se preparan tres ejemplares por cada contenido de polímero.
- Se preparan los moldes y martillos sin cambios a lo explicado anteriormente.
- La adición de agua a la mezcla será la obtenida en el contenido óptimo de agua para todas las muestras.



Figura 5.20: Adición del agua en el agregado.

- Se mezcla el agregado, el agua y la emulsión con polímero para después poner la mezcla en el molde.



Figura 5.21: Mezcla de agregado, agua y emulsión con polímero.

- Se compacta la muestra con 50 golpes por cara.
- Cada muestra se cura un día a temperatura ambiente, después de esto se lo desmolda y se lo cura en un horno por dos días.
- Se toman los pesos: al aire, saturada con superficie seca y saturada sumergida de las briquetas.
- Las briquetas son ensayadas en la máquina de compresión con el ensayo de Marshall modificado.



Figura 5.22: Ensayo de briqueta en la máquina de compresión Marshall.

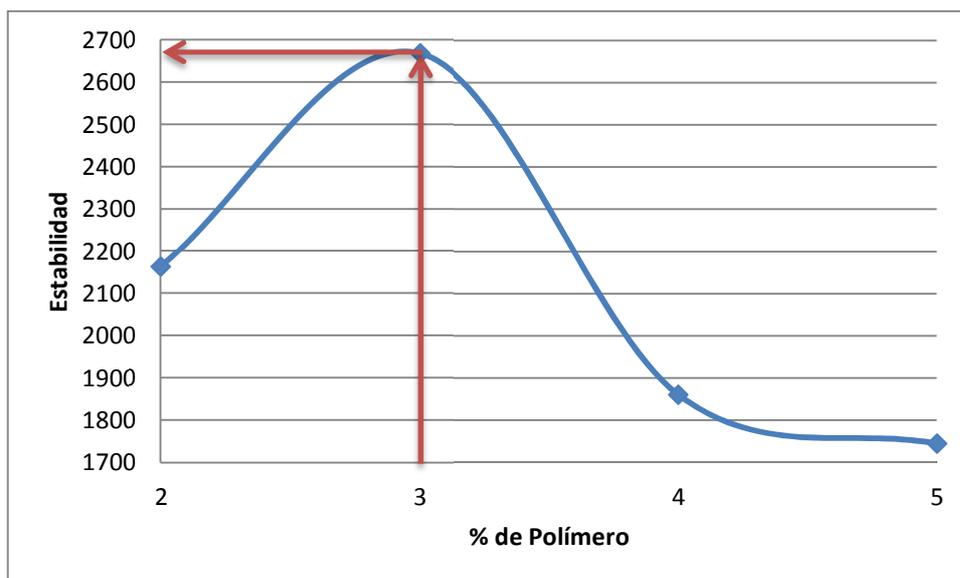
- Se reportan los datos de estabilidad y flujo.

5.3.5.2. Resultados

Tabla 5.21: Cálculo para la mezcla óptima con polímero.

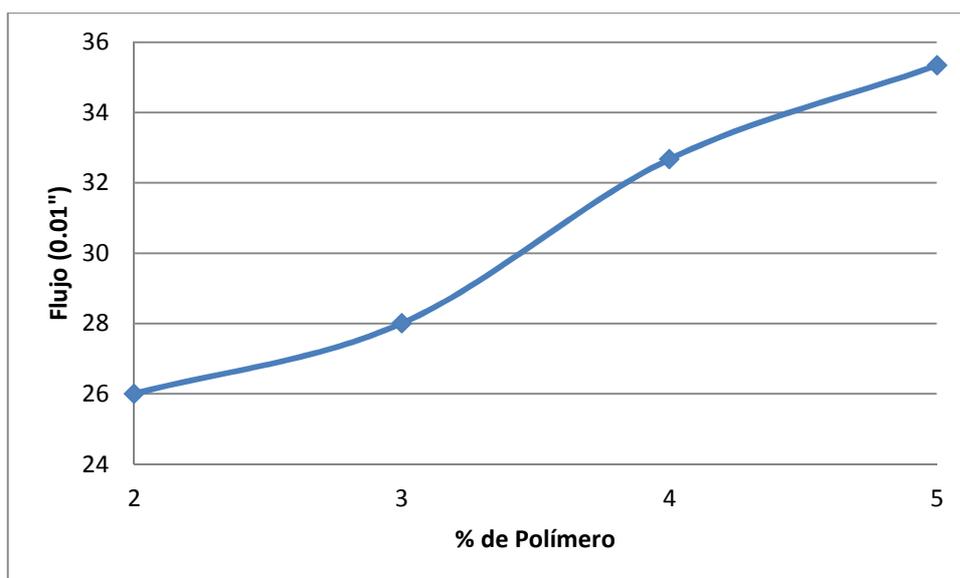
#	% de polímero	% de Emulsión	Peso Aire	Peso Sat. Sup. Seca	Peso Sumer.	Volumen Briqueta (cm ³)	Gmb (g/cm ³)	Gmm _(calc) (g/cm ³)	V. a. (%)	VAM (%)	VAF (%)	Estabilidad (lb)			Flujo (0.01")
												Medida	Correc.	Corregida	
1	2	10	1243.69	1259.00	599.62	659.38	1.886	2.252	6.36	17.24	63.09	2738	0.65	1780	27
2	2	10	1219.62	1228.40	595.74	632.66	1.928	2.277	7.10	16.97	58.13	3464	0.71	2459	25
3	2	10	1231.75	1241.72	599.23	642.49	1.917	2.277	7.75	17.54	55.84	3307	0.68	2249	26
						Promedio	1.910	2.27	7.1	17.25	59.02			2163	26
4	3	10	1224.68	1231.60	590.76	640.84	1.911	2.28	8.47	18.19	53.45	3837	0.68	2609	28
5	3	10	1228.32	1235.06	599.48	635.58	1.933	2.28	8.42	18.15	53.58	3617	0.71	2568	28
6	3	10	1207.39	1214.81	601.04	613.77	1.967	2.28	7.61	17.42	56.31	3818	0.74	2825	28
						Promedio	1.937	2.28	8.2	17.92	54.45			2667	28
7	4	10	1206.77	1217.44	609.06	608.38	1.984	2.28	5.59	15.62	64.19	2630	0.77	2025	32
8	4	10	1245.03	1261.42	612.07	649.35	1.917	2.28	5.87	15.87	62.99	2566	0.68	1745	33
9	4	10	1238.51	1248.64	597.95	650.69	1.903	2.28	7.93	17.71	55.22	2666	0.68	1813	33
						Promedio	1.935	2.28	6.5	16.40	60.80			1861	33
10	5	10	1242.71	1255.27	615.29	639.98	1.942	2.28	6.49	16.42	60.47	2516	0.68	1711	35
11	5	10	1197.27	1214.20	580.30	633.90	1.889	2.28	5.57	15.60	64.28	2692	0.71	1911	36
12	5	10	1245.95	1261.98	613.11	648.87	1.920	2.28	7.47	17.29	56.82	2368	0.68	1610	35
						Promedio	1.917	2.28	6.5	16.44	60.52			1744	35

Cuadro 5.15: Porcentaje de Polímero Vs. Estabilidad.



La mayor estabilidad se la obtiene con la adición del 3% de polímero SBR en la emulsión asfáltica, por lo observado el porcentaje óptimo de polímero es el 3%.

Cuadro 5.16: Porcentaje de Polímero Vs. Flujo.



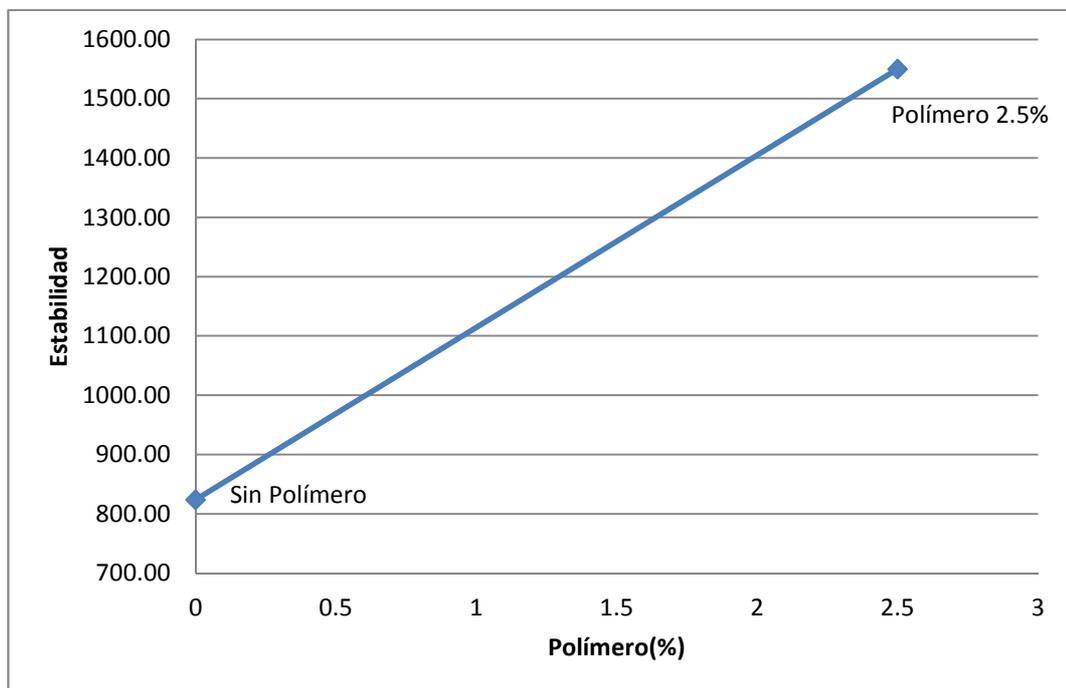
CAPITULO VI: ANALISIS COMPARATIVO Y PRECIOS

UNITARIOS

6.1. Análisis comparativo de las mezclas asfálticas

6.1.1. Análisis comparativo entre mezcla asfáltica en caliente simple y modifica con polímero SBS

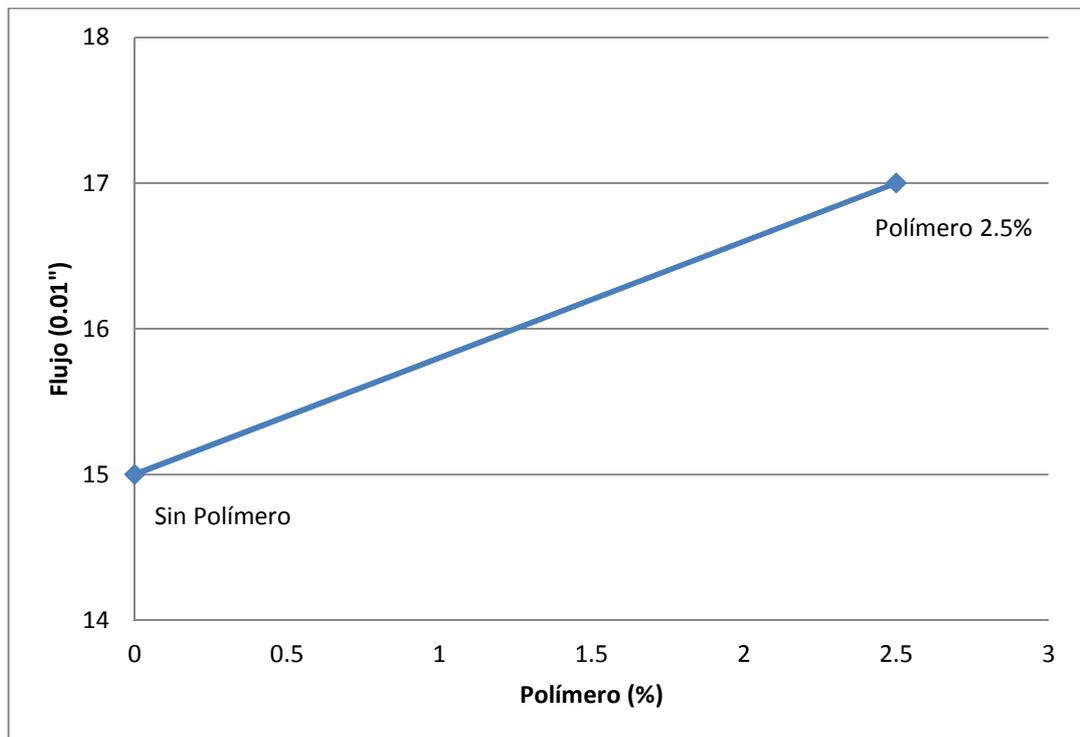
Cuadro 6.1: Incremento de la Estabilidad referente al porcentaje óptimo de polímero SBS.



En el Cuadro 6.1 se puede evidenciar que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS tiene una mayor estabilidad que la mezcla sin

polímero, su capacidad de carga aumenta en 88.10% con referencia a la mezcla simple sin polímero.

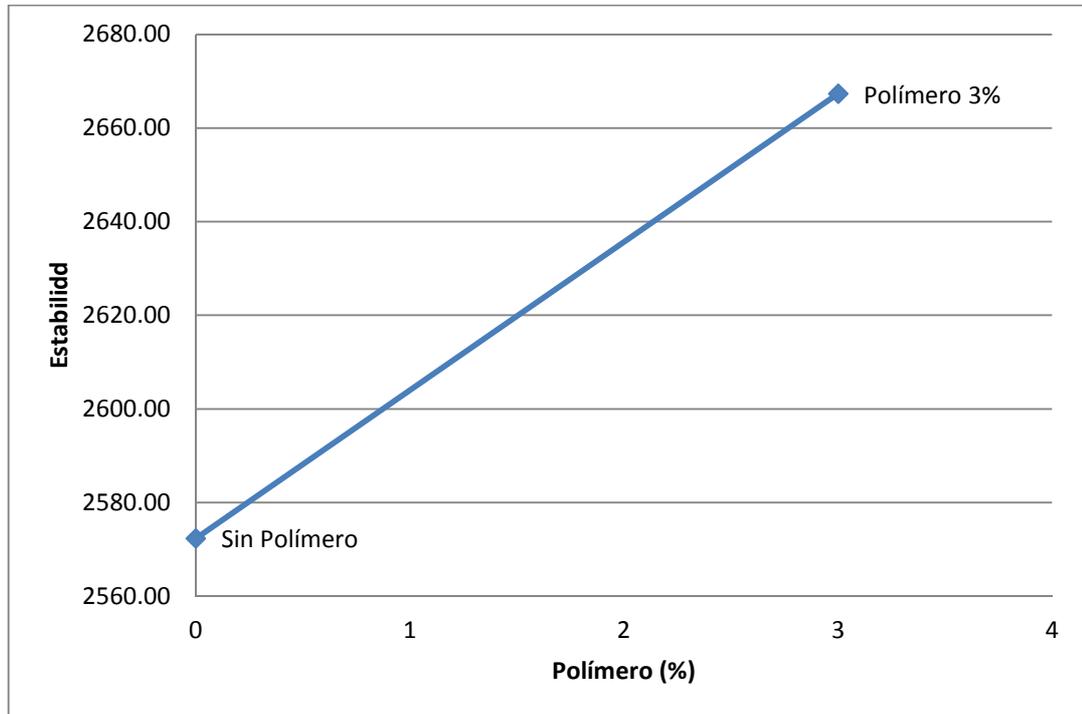
Cuadro 6.2: Incremento del Flujo referente al porcentaje óptimo de polímero SBS.



En el Cuadro 6.2 se puede evidenciar que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS tiene un mayor flujo que la mezcla sin polímero, su capacidad de deformación aumenta en 13.33% con referencia a la mezcla simple sin polímero.

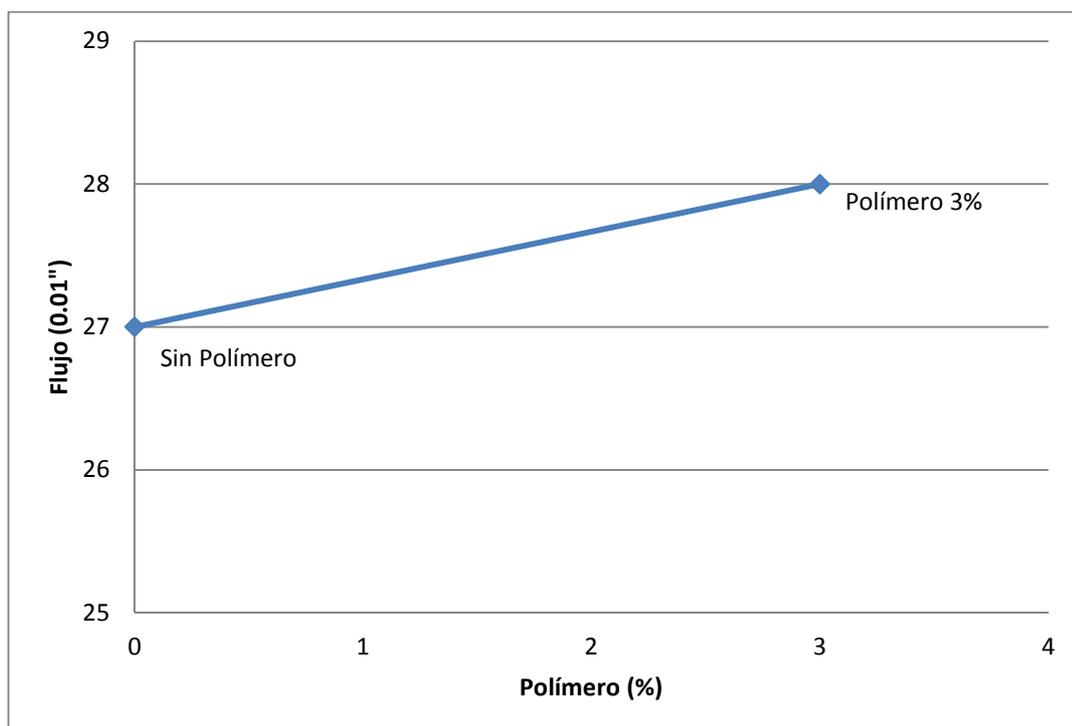
6.1.2. Análisis comparativo entre mezcla asfáltica en frío simple y modifica con polímero SBR

Cuadro 6.3: Incremento de Estabilidad referente al porcentaje óptimo de polímero SBR.



En el Cuadro 6.3 se puede evidenciar que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR tiene una mayor estabilidad que la mezcla sin polímero, su capacidad de carga aumenta en 3.68% con referencia a la mezcla simple sin polímero.

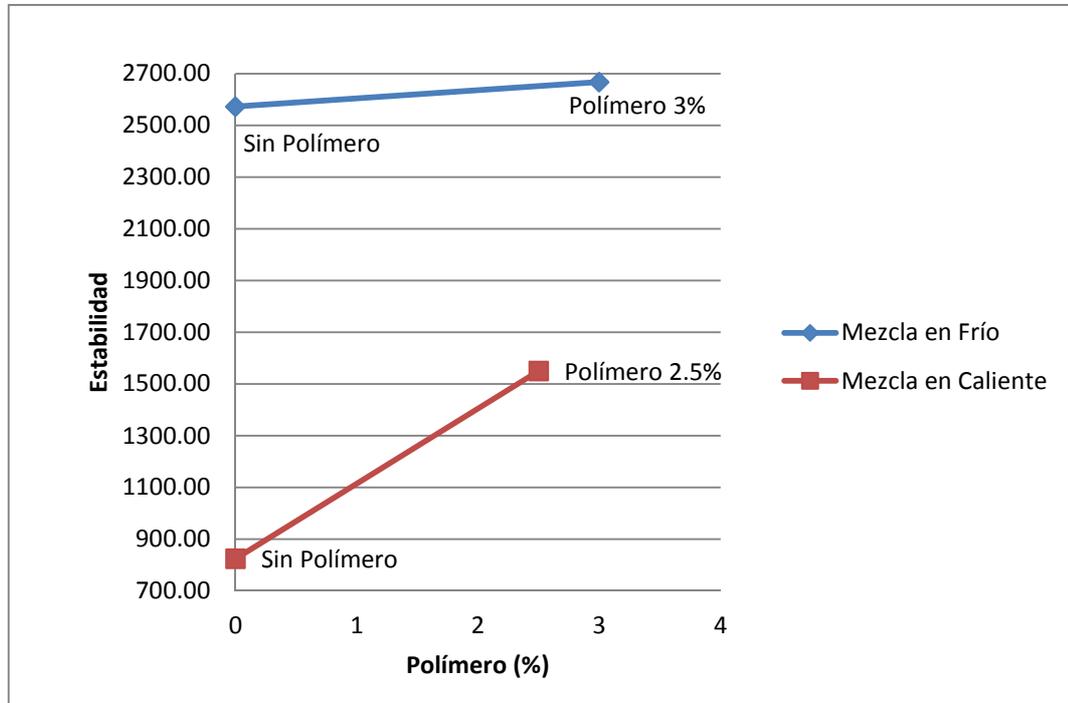
Cuadro 6.4: Incremento de Flujo referente al porcentaje óptimo de polímero SBR.



En el Cuadro 6.4 se puede evidenciar que la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR tiene un mayor flujo que la mezcla sin polímero, su capacidad de deformación aumenta en 3.70% con referencia a la mezcla simple sin polímero.

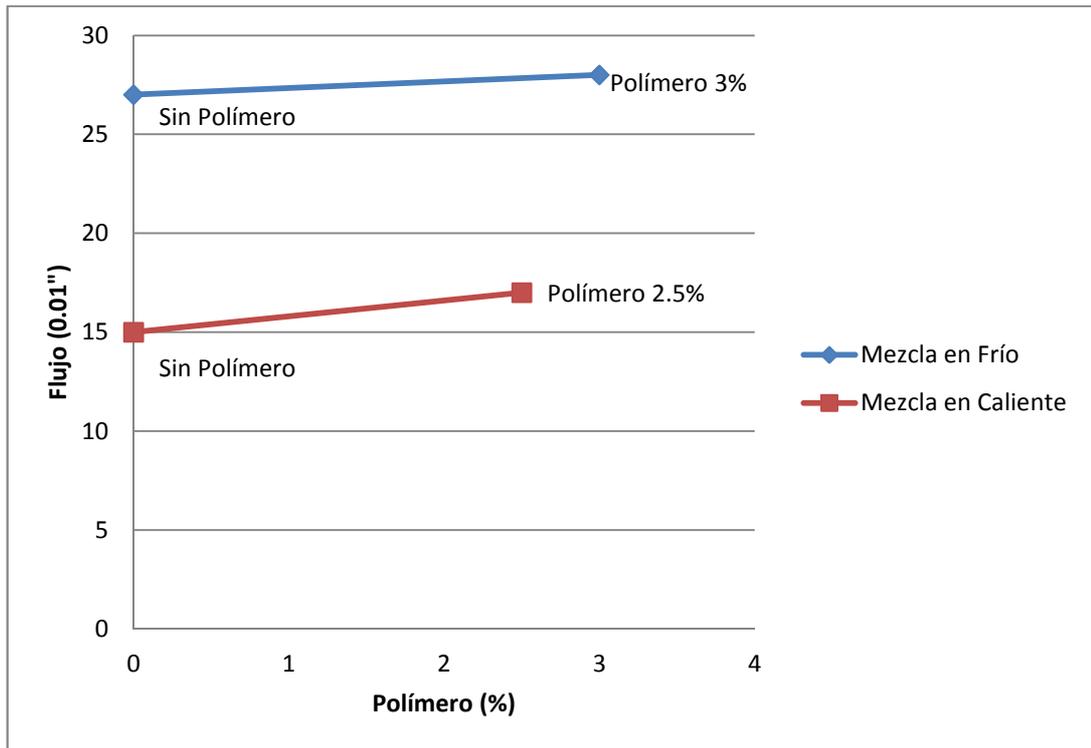
6.1.3. Análisis comparativo entre mezcla asfáltica caliente y fría

Cuadro 6.5: Comparación de estabilidad entre mezcla en caliente y frío.



En el Cuadro 6.5 se puede evidenciar que la mezcla en frío tiene una mayor estabilidad que la mezcla en caliente, también se puede evidenciar que las mezcla asfáltica modificada con polímero SBS tiene un mayor aumento de estabilidad que la mezcla modificada con polímero SBR.

Cuadro 6.6: Comparación de flujo entre mezcla en caliente y frío.



En el Cuadro 6.6 se puede evidenciar que la mezcla en frío tiene un mayor flujo que la mezcla en caliente, también se puede evidenciar que las mezcla asfáltica modificada con polímero SBS tiene un mayor aumento de flujo que la mezcla modificada con polímero SBR.

6.2. Análisis de resultados de los ensayos aplicados a los Agregado y Ligantes

6.2.1. Agregados Procedentes de la cantera de Guayllabamba

Tabla 6.1: Caracterización del Agregado pétreo de la cantera de Guayllabamba usados para la mezcla en frío y en caliente.

ENSAYOS	NORMA	Mínimo	Máximo	RESULTADO	Observación
Equivalente de Arena, (%)	ASTM D-2419	50	-	84,5	Cumple
Abrasión de Grueso, (%)	ASTM C-131	-	40	30,87	Cumple
Peso Específico Finos	ASTM D-128	-	-	2,44	
Absorción de agregado Fino, (%)	ASTM D-128	-	-	3,64	
Peso Específico Gruesos	ASTM D-127	-	-	2,37	
Absorción de agregado Grueso, (%)	ASTM D-127	-	-	4	
Limite Plástico	ASTM D-4313	-	-	No Plástico	No Plástico

- Los agregados utilizados en el diseño de mezcla asfáltica modificada, cumplen con la normativa ASTM aplicables para los agregados y con los límites mínimos y máximos establecidos en el MOP 001.

6.2.2. Ligantes procedentes de Chova

ASFALTO

Tabla 6.2: Caracterización del Asfalto usado para la mezcla en caliente.

Ensayos	Normativa	Mínimo	Máximo	Valor Obtenido	Observación
Penetración (25°C, 100gr, 5s) mm/10	ASTM D-5	60	70	64.2	Cumple
Ductilidad (25°C, 5cm/min),cm	ASTM D-113	100	-	100,15	Cumple
Punto de Ablandamiento, °C	ASTM D-36	48	57	50,6	Cumple

EMULSIÓN ASFÁLTICA

Tabla 6.3: Caracterización de la emulsión asfáltica usada para la mezcla en frío.

Ensayos	Normativa	Mínimo	Máximo	Valor Obtenido	Observación
Asfalto Residual, (%)	ASTM D6934-8			63,7	Cumple

- El asfalto utilizado para la realización de este trabajo de investigación es tipo MS- 20, extraído y procesado en la refinería de Esmeraldas. Cumple con la normativa propuesta por ASTM y con los límites mínimos y máximos establecidos en el MOP 001.

6.3.2. Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero SBS (2.5%)

Tabla 6.5: Análisis de Precio Unitario de la mezcla asfáltica con polímero SBS al 2.5% en caliente.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Mezcla asfaltica con polimero SBS al 2.5% en caliente					
UNIDAD: m3					
A.- EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Planta dosificadora	1	105.92	105.92	37	2.863
Bulldozer	1	23.15	23.15	37	0.626
Herramientas menores					0.020
TOTAL A.					3.51
B.- MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL BÁSICO/H	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Operador de planta dosificadora	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Operador de Bulldozer	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Ayudante de maquinaria	2.000	2.810	5.620	37	0.152
TOTAL B.					0.31
			COSTO HORARIO TOTAL A + B		3.82
C.- MATERIALES		UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Arena Lavada		m3	11	0.51	5.610
Agregados para asfalto pasante 3/4 Lavados		m3	16.23	0.36	5.843
Asfalto		kg	0.35	113.03	39.561
Polimero SBS		kg	4.63	2.89	13.381
TOTAL D.					64.39
E.- TOTAL COSTO UNITARIO DIRECTO C + D					68.21
	F.- % COSTOS INDIRECTOS			20	
	G.- TOTAL INDIRECTOS				13.64
H- PRECIO UNITARIO TOTAL DEL RUBRO E + G					81.86

6.3.3. Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica en frío simple

Tabla 6.6: Análisis de Precio Unitario de la mezcla asfáltica en frío.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Mezcla asfáltica en frío					
UNIDAD: m3					
A.- EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Planta dosificadora	1	105.92	105.92	37	2.863
Cargador	1	22.20	22.20	37	0.600
Pala Cargadora	1	23.15	23.15	37	0.625676
Herramientas menores					0.020
TOTAL A.					4.11
B.- MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL BÁSICO/H	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Operador de planta dosificadora	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Operador de Cargador	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Operador de Pala Cargadora	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Ayudante de maquinaria	2.000	2.810	5.620	37	0.152
TOTAL B.					0.39
COSTO HORARIO TOTAL A + B					4.50
C.- MATERIALES	UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL	
Arena Lavada	m3	11	0.51	5.610	
Agregados para asfalto pasante 3/4 Lavados	m3	16.23	0.36	5.843	
Emulsión	lt	0.43	130	55.900	
TOTAL D.					67.35
E.- TOTAL COSTO UNITARIO DIRECTO C + D					71.85
	F.- % COSTOS INDIRECTOS 20				
	G.- TOTAL INDIRECTOS				14.37
H- PRECIO UNITARIO TOTAL DEL RUBRO E + G					86.22

6.3.4. Análisis de precio unitario de mezcla asfáltica en frío modificada con polímero SBR (3%)

Tabla 6.7: Análisis de Precio Unitario de la mezcla asfáltica con polímero SBR al 3% en frío.

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO: Mezcla asfáltica con polímero SBR al 3% en frío					
UNIDAD: m3					
A.- EQUIPO	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Planta dosificadora	1	105.92	105.92	37	2.863
Cargador	1	22.20	22.20	37	0.600
Pala Cargadora	1	23.15	23.15	37	0.625676
Herramientas menores					0.020
TOTAL A.					4.11
B.- MANO DE OBRA	CANTIDAD	JORNAL BÁSICO/H	COSTO HORARIO	RENDIMIENTO	COSTO TOTAL/H
Operador de planta dosificadora	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Operador de Cargador	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Operador de Pala Cargadora	1.000	2.960	2.960	37	0.080
Ayudante de maquinaria	1.000	2.810	2.810	37	0.076
TOTAL B.					0.32
			COSTO HORARIO TOTAL A + B		4.42
C.- MATERIALES		UNIDAD DE MEDIDA	PRECIO UNITARIO	CANTIDAD	COSTO TOTAL
Arena Lavada		m3	11	0.51	5.610
Agregados para asfalto pasante 3/4 Lavados		m3	16.23	0.36	5.843
Emulsión		lt	0.43	126.1	54.223
Polímero SBR		lt	5.02	3.9	19.578
TOTAL D.					85.25
E.- TOTAL COSTO UNITARIO DIRECTO C + D					89.68
	F.- % COSTOS INDIRECTOS			20	
	G.- TOTAL INDIRECTOS				17.94
H- PRECIO UNITARIO TOTAL DEL RUBRO E + G					107.61

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

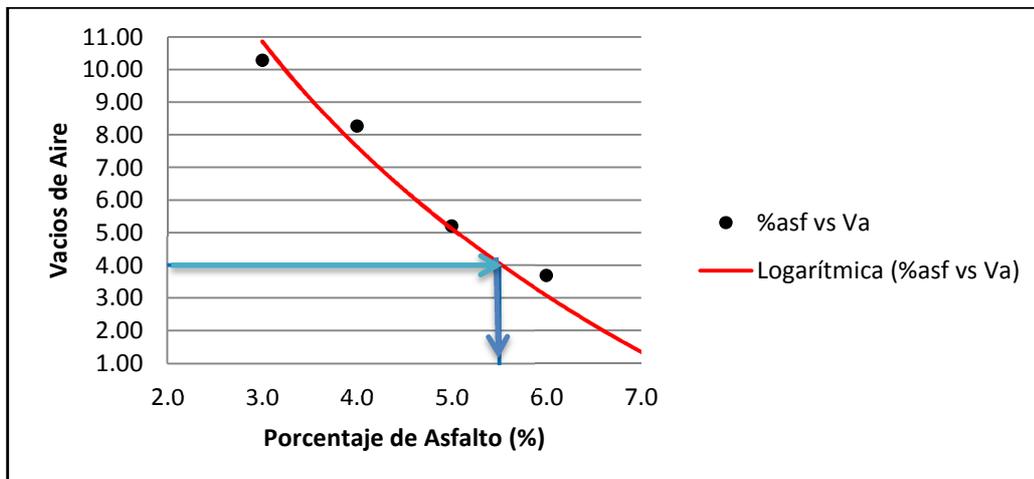
7.1. Conclusiones

En este capítulo se presentaran las conclusiones obtenidas durante el desarrollo y culminación de este proyecto de tesis “Análisis comparativo de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímeros SBR y SBS usando agregados de la cantera de Guayllabamba”, estas serán presentadas en base a los resultados de los ensayos realizados, para con esto poder establecer un análisis comparativo entre las mezclas modificadas y las sin modificar.

7.1.1. Conclusiones generales

- El porcentaje teórico de asfalto que se obtuvo es 3,20 %, realizando incrementos a este valor y con ello 3 briquetas por cada incremento, se determinó en base a la cantidad de vacíos de aire el porcentaje óptimo de asfalto con un valor de 5,5 % para la combinación de agregados determinada.

Cuadro 7.1. Determinación del Porcentaje de Asfalto Optimo.



- El porcentaje óptimo de polímero SBS para la mezcla en caliente es el 2,5%, con este porcentaje óptimo tenemos una estabilidad de 1550 lb teniendo una mejora del 88,10% en este parámetro, y un flujo de 16,5 (0,01 pulg.) teniendo incremento del 13,33%.
- La mezcla asfáltica en caliente de la investigación quedó constituida por 59 % de agregado grueso, 41 % de agregado fino, 5,5% de asfalto y 2,5% de polímero SBS.
- Se obtuvo un porcentaje óptimo de agua para la mezcla asfáltica en frío del 6,00%.
- El contenido óptimo de emulsión en la mezcla en frío para el agregado pétreo se obtiene con una serie de muestras de prueba con diferentes contenidos de emulsión, se determinó que con el 10,00%, las

características de la mezcla asfáltica llegan a sus valores máximos de estabilidad y flujo.

- El porcentaje óptimo de polímero SBR en la mezcla en frío es el 3,0 %, con este porcentaje óptimo tenemos una estabilidad de 2667 lb teniendo una mejora del 3,68% en este parámetro, y un flujo de 28 (0,01 pulg) teniendo incremento del 3,70%.
- La mezcla asfáltica en frío de la investigación quedó constituida por 59 % de agregado grueso, 41 % de agregado fino, 10,00% de emulsión asfáltica y 3,0 % de polímero SBR.
- En la mezcla asfáltica en caliente modificada con polímero SBS se obtuvo un incremento en la estabilidad de 88,10% y de flujo del 13,33%, mientras que la mezcla en frío modificada con polímero SBR su incremento fue 3,68% en estabilidad y 3,70% en flujo, donde se puede constatar que la mezcla en caliente mejora notoriamente sus características, en cambio, la mezcla en frío mejora sus características pero no son tan notorias en comparación a las mejoras que se obtuvo en caliente.
- Las mezclas en caliente con polímero SBS por sus características de estabilidad, flujo y por sus condiciones de ensayo son aptas para capas de rodadura, mientras que las mezclas en frío se las utiliza en el diseño de carpetas asfálticas como base mejorada, debido a que las mezclas en caliente usan solo asfalto como ligante por lo cual

existe una mayor cohesión y las mezclas en frío al utilizar emulsión asfáltica que contiene agua al momento de ser colocada en obra esta se evapora dejando espacios entre en agregado.

- En la mezcla asfáltica en caliente el costo de producción de un metro cúbico es 67,02 dólares, al momento de polimerizarle con SBS óptimo al 2,5% es de 81,86 dólares, obteniendo un incremento en el costo de producción del 22,14%, siendo este un factor que se debe considerar al tomar esta alternativa en el diseño de la carpeta asfáltica analizando el costo – beneficio que conlleva su utilización.
- En la mezcla asfáltica en frío el costo de producción de un metro cúbico es 86,22 dólares, al polimerizarle con SBS al 3,0% con el objetivo de mejorar sus características es de 107,61 dólares el metro cúbico, obteniendo un incremento en el costo de producción del 24,81%, siendo este un incremento que se debe considerar al tomar esta alternativa en el diseño de la carpeta asfáltica analizando el costo – beneficio que conlleva su utilización.

7.2. Recomendaciones

- Este trabajo se realizó sobre los asfaltos modificados con polímeros SBR y SBS, se espera tenga continuidad profundizando sobre los diferentes polímeros y mezclas asfálticas que se pueden lograr; así

como también un estudio sobre los beneficios obtenidos a largo y mediano plazo de los asfaltos modificados.

- Se debe tener en cuenta que el asfalto que llega a las plantas de producción de mezclas asfálticas varía en sus propiedades en cada abastecimiento, por lo que se recomienda realizar ensayos básicos de caracterización tales como punto de ablandamiento, penetración y ductilidad antes de empezar a trabajar con este asfalto.
- Se recomienda aplicar asfaltos modificados con polímeros, ya que, se pueden disminuir los espesores de la capa de rodadura conservando la capacidad estructural y disminuir costos en el mantenimiento preventivo.
- Es recomendable controlar la temperatura de la mezcla en caliente modificada con polímero SBS, se deben evitar temperaturas menores a 132°C, debido a que la mezcla se vuelve muy viscosa y poco trabajable.
- Se recomienda poner un porcentaje de polímero SBS del 2,5% en el cemento asfáltico.
- Se recomienda poner 3% de polímero SBR en la emulsión asfáltica.
- En la mezcla asfáltica en frío se disminuye la posibilidad de accidentes en la manipulación, producción y colocación, debido a las bajas temperaturas que requiere.

7.3. Bibliografía

- Asfalto, A. M. (2008). Emulsiones Asfálticas.
- ASOPAC. (05 de Abril de 2010). *SCRIBD*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/30910576/cartilla-de-asfalto>
- Canevarolo, S. (2002). *Ciencia dos Polímeros*. Brasil: Universidad Federal de San Carlos.
- E-Asfalto. (s.f.). Recuperado el Marzo de 2013, de http://www.e-asfalto.com/orig_asf/origenasf.htm
- e-asfalto. (s.f.). *E-asfalto*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.e-asfalto.com/modificados/modificados.htm>
- EDUCARCHILE. (s.f.). *Educar Chile, El portal de la Educación*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.educarchile.cl/Portal.Base/Web/VerContenido.aspx?ID=136400>
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). *Instituto Mexicano del Transporte*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt267.pdf#page=103>
- Institute, A. (1992). *Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente MS-22*. Estados Unidos: Asphalt Institute.
- Institute, A. (1998). *Cold mix manual MS-14*. Estados Unidos: Asphalt Institute.
- IPF, R. (2013). <http://www.repsol.com>. Recuperado el Febrero de 2013, de <http://www.repsol.com>

- IPF, R. (s.f.). *Respsol IPF*. Recuperado el Marzo de 2013, de www.repsol.com:
http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/fisicoquimica/composicion
- López, D. (2008). *Variabilidad del Módulo Resiliente de una mezcla asfáltica MDC-2 dentro de la Ventana de Diseño propuesto por M. Witczak*. Trabajo de grado para optar por el título de especialista en vías y transporte, Universidad de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Macías, J. (1994). XI Reunión Nacional de Vías Terrestres. Modificación de Asfaltos con Polímeros. Morelia, Michoacán.
- Maier, M. (s.f.). *DETEXTILES*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://www.detextiles.com/files/ESTRUCTURA%20DE%20LOS%20POLIMEROS.pdf>
- Materials, A. S. (2011). Concrete and Aggregates. En A. S. Materials, *American Society for Testing and Materials* (pág. Volume 04.02.). Estados Unidos.
- Maxil, R., & Salinas, M. (10 de Enero de 2006). *Colección de Tesis Digitales, Universidad de Puebla*. Recuperado el Marzo de 2013, de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/maxil_c_r/capitulo2.pdf
- Rojas, F. (2011). Curso de Pavimentos [diapositiva].
- Tipán, J. (2012). *Tesis de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica. Control de calidad de Cementos Asfálticos tipo Ap-3 utilizados en la fabricación de Hormigón Asfáltico para Capas de rodadura de las*

carreteras del Ecuador, mediante ensayos en Laboratorio. .

Sangolquí, Ecuador.

- Trinidad, J. d. (04 de Abril de 2011). *SCRIBD*. Recuperado el Marzo de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/52283919/asfalto>
- Vázquez, I. (2010). *Monografía de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana: Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfalto*. México.
- Velazquez, L. (1999). *Diseño de pavimentos flexibles con superficie de rodamiento conformada con asfaltos ahulados y reforzados con Polímeros*. México: Alhambra.
- Wikipedia, C. d. (20 de Julio de 2011). (L. e. Wikipedia, Productor) Recuperado el Marzo de 2013, de http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Emulsi%C3%B3n_asf%C3%A1ltica&oldid=48107672

BIOGRAFÍA

DATOS PERSONALES

Nombres y Apellidos: Stalin Wladimir López Jácome

Cédula de identidad: 172004524-2

Lugar y fecha de nacimiento: Quito, 29 de Junio de 1988

Nacionalidad: Ecuatoriana

Estado Civil: Soltero

Dirección: Quito, Ciudadela La Internacional, Cusumaza OE3-34 y Av. Tnte. Hugo Ortiz.

Teléfonos: 0998536998 - 022626662

E-Mail: slopezj88@hotmail.com

EDUCACIÓN

Primaria: Unidad Educativa “Paulo VI”

Secundaria: Colegio Nacional Experimental “Juan Pío Montúfar”

Estudios Superiores: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO, Facultad de Ingeniería Civil, Campus Sangolquí.

CAPACITACIÓN

- INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFÍA E HISTORIA - OEA
Seminario de Estructuras Sismo Resistentes – experiencia del Mega Sismo de Chile
Realizado el 20 y 21 de Mayo 2011 con una duración de 10 horas.

- **BOLSA DE VALORES DE QUITO**
Participación en la conferencia “Teórico – Práctica” y en la simulación bursátil El Juego de la Bolsa.
Realizado el 16 de Mayo 2011.

- **CÁMARA DE LA CONSTRUCCIÓN DE QUITO**
Participación en el “Tercer Congreso Internacional de la Construcción de Infraestructura y Vivienda”
Realizado el 4 y 5 de Mayo 2011.

- **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO – ESPE**
Asistencia al Segundo Encuentro Académico “Puentes Siglo XXI”
Realizado el 22 de Diciembre de 2010.

- **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO – SOCIEDAD ECUATORIANA DE INGENIERÍA DE TRANSPORTE**
Asistencia al “VII Congreso Nacional de Ingeniería de Transporte e Infraestructura Vial”
Realizado los días 14, 15 y 16 de Abril de 2010.

- **COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE PICHINCHA**
Asistencia y Aprobación al curso de “SAP BÁSICO”.
Realizado del 02 al 13 de Marzo de 2009 con una duración de 40 horas.

EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante

- ASOCIACIÓN DE MUNICIPALIDADES DEL ECUADOR - AME; (Quito – Ecuador)
- Ing. Jaime Erazo (Quito – Ecuador)
- Arq. Hugo Noriega (Quito – Ecuador)

IDIOMAS

- Español
- Inglés – Suficiencia de Idioma Ingles; Escuela Politécnica Ejercito

BIOGRAFÍA

DATOS PERSONALES

Nombres y Apellidos: Yadira Alexandra Veloz Vásquez

Cédula de identidad: 050322000-6

Lugar y fecha de nacimiento: Latacunga, 06 DE Mayo de 1989

Nacionalidad: Ecuatoriana

Estado Civil: Soltera

Dirección: Latacunga, Ciudadela los Molinos M8-C4

Teléfonos: 0983030725 - 032801100

E-Mail: yady_vv@hotmail.com

EDUCACIÓN

Primaria: Escuela “Elvira Ortega”, 2000

Secundaria: Instituto Tecnológico Superior “Victoria Vasconez Cuvi”.

Estudios Superiores: ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO, Facultad de Ingeniería Civil, Campus Sangolquí.

CAPACITACIÓN

- **Curso:** - Análisis Estructural en SAP2000; Escuela Politécnica del Ejército; 2008.
- **Curso:** - Gerencia de Trafico en las Ciudades; Escuela Politécnica del Ejército, 2012.

6EXPERIENCIA PROFESIONAL

Pasante

- CONSORCIO COTOPAXI; (Cotopaxi – Ecuador).
- Arq. Edwin Veloz; (Cotopaxi – Ecuador).
- ASOCIACIÓN DE MUNICIPALIDADES DEL ECUADOR; (Pichincha – Ecuador).
- Ing. Estuardo Peñaherrera; (Pichincha – Ecuador).

IDIOMAS

- Español
- Inglés – Suficiencia de Idioma Ingles; Escuela Politécnica Ejercito