

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**“EFECTO DE LA GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES Y CON
POLIMEROS”**

Por:

ARTURO HUAYHUA CONDORI

**Diciembre de 2013
TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**“EFECTO DE LA GRANULOMETRÍA SUPERPAVE EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES Y CON
POLIMEROS”**

Por:

ARTURO HUAYHUA CONDORI

Trabajo Dirigido presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**Diciembre de 2013
TARIJA – BOLIVIA**

.....
MSC. ING. ERNESTO R. ALVARES G.
**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
ING. SILVANA S. PAZ RAMÍREZ
**VICE DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

APROBADO POR:
TRIBUNAL:

.....
ING. MARCELO H. PACHECO N.

.....
ING. LAURA SOTO S.

.....
ING. OSCAR CHÁVEZ C.

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres, por su apoyo, esfuerzo y sacrificio, y a todos mis amigos que los llevo siempre en el corazón, y en especial a ti Dios por guiarme en el camino de la vida.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades.....	1
1.2 Problemática.....	2
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General	4
1.4.2 Objetivos Específicos	4
1.5 Alcance.....	5
1.6 Limitaciones.....	6
1.6 Medios y metodología.....	7

CAPITULO II
ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 AGREGADOS PÉTREOS.....	11
2.2.1 Importancia del agregado en mezcla asfáltica.....	11
2.2.2 Definición de agregado	11
2.2.2.1 Tipos de agregado.....	12
2.2.2.2 Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados.....	12
2.2.3 Clasificación de rocas.....	13
2.2.4 Clasificación y Producción de Agregados.....	15
2.2.4.1. Clasificación de los Agregados	15
2.2.4.2. Producción de Agregados	16
2.2.5 Importancia de la reducción de agregado.....	17
2.2.6 Propiedades de los agregados utilizados en Mezclas Asfálticas	17
2.2.6.1 Graduación y Tamaño Máximo de la Partícula	18
2.2.7 Requisitos que deben cumplir los agregados.....	23
2.2.7.1 Agregado Grueso.....	23

2.2.7.2 Agregado Fino	23
2.2.7.3 Granulometría de agregados combinados (finos y gruesos).....	24
2.2.8 Especificaciones sobre Agregados pétreos.....	26
2.3 ASFALTO.....	27
2.3.1 Definición de asfalto	27
2.3.2 Obtención del Asfalto en Refinerías	27
2.3.2.1 Destilación Primaria.....	27
2.3.2.2 Destilación al Vacío	27
2.3.2.3 Desasfaltización con propano o butano.....	28
2.3.3 Composición del Asfalto.....	28
2.3.4 Propiedades físicas del asfalto de pavimentación	29
2.3.4.1 Durabilidad	29
2.3.4.2 Adhesión y cohesión.....	30
2.3.4.3 Susceptibilidad a la temperatura.....	30
2.3.4.4 Endurecimiento y envejecimiento	31
2.3.5 Clasificación de los asfaltos de pavimentación.....	32
2.3.5.1 Cementos asfálticos	32
2.3.5.2 Asfaltos rebajados.....	33
2.3.5.3 Asfaltos emulsificados.....	33
2.3.6 Especificaciones sobre cementos asfálticos	34
2.4 POLÍMEROS	34
2.4.1 Definición de polímero.....	34
2.4.3.1 Elastómeros.....	36
2.5 ASFALTOS MODIFICADOS.....	38
2.5.1 Definición de asfalto modificado	38
2.5.2 Principales modificadores utilizados en el asfalto.....	38
2.5.2.1 Polímero Tipo I.....	38
2.5.2.2 Polímero Tipo II.....	39
2.5.2.3 Polímero Tipo III	39
2.5.2.4 Hule molido de neumáticos	39

2.5.3	¿Por qué se modifican los asfaltos?.....	40
2.5.4	Estructura de los Asfaltos Modificados.....	40
2.5.5	Cambio de Propiedades en el ligante asfáltico.	41
2.5.6	Especificaciones de asfaltos modificados	42
2.6	DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA	42
2.6.1	Definición de mezcla asfáltica.	42
2.6.2	Clasificación de las mezclas asfálticas.....	43
2.6.2.1	Por Fracciones de agregado pétreo empleado.....	43
2.6.2.2	Por la Temperatura de puesta en obra.	43
2.6.2.3	Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica.	44
2.6.2.4	Por el Tamaño máximo del agregado pétreo.	44
2.6.2.5	Por la Estructura del agregado pétreo.	45
2.6.2.6	Por la Granulometría.....	45
2.6.3	Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente.....	45
2.6.4	Propiedades de las mezclas asfálticas.....	47
2.6.4.1	Estabilidad	47
2.6.4.2	Durabilidad	48
2.6.4.3	Flexibilidad	48
2.6.4.4	Resistencia a la fatiga.....	48
2.6.4.5	Resistencia al deslizamiento	49
2.6.4.6	Impermeabilidad	49
2.6.4.7	Trabajabilidad.....	49
2.7.1	Densidad	50
2.7.2	Vacíos de aire (V.T.M.)	50
2.7.3	Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).....	51
2.7.4	Vacíos Llenos de Asfalto VFA	52
2.7.5	Contenido de asfalto.....	52
2.8	Especificaciones de la metodología	52

CAPITULO III
EL SUPERPAVE EN MEZCLAS ASFÁLTICAS

3.1	Introducción	55
3.2	Niveles de diseño SUPERPAVE.	55
3.2.1	Primer nivel	56
3.2.2	Nivel intermedio	56
3.2.3	Nivel completo	57
3.3	Requerimientos de la granulometría SUPERPAVE	57
3.3.1	Agregados minerales	57
3.3.2	Propiedades de Consenso	58
3.3.2.1	Angularidad del Agregado Grueso	58
3.3.2.2	Angularidad del Agregado Fino	59
3.3.2.3	Partículas Planas y Alargadas	59
3.3.2.4	Contenido de Arcilla.....	59
3.3.3	Propiedades de la fuente de origen.....	60
3.3.3.1	Tenacidad.....	60
3.3.3.2	Durabilidad.	61
3.3.3.3	Materiales deletéreos.	61
3.4	Análisis de la granulometría SUPERPAVE.....	61
3.4.1	Grafica elevada al exponente 0.45	61
3.4.2	Origen de la Gráfica de Fuller.	62
3.4.3	Importancia de la Gráfica de Fuller.....	62
3.5	Granulometría SUPERPAVE.	64
3.5.1	Mecanismos de Control de la Granulometría.....	67
3.5.2	La Zona Restringida	69

CAPITULO IV
APLICACIÓN DE LA INVESTIGACION EFECTOS DE LA
GRANULOMETRIA SUPERPAVE EN MEZCLAS ASFALTICAS
CONVENCIONES Y CON POLIMEROS

4.1	Programa experimental	71
-----	-----------------------------	----

4.2 Muestreo de materiales	75
4.2.1 Materiales pétreos.....	75
4.2.2 Materiales asfálticos	75
4.3 Caracterización de materiales pétreos.....	76
4.3.1 Angularidad del agregado gruesoASTM D 5821	76
4.3.1.1 Objetivo	76
4.3.1.2 Equipo y materiales	76
4.3.1.3 Procedimiento	76
4.3.1.4 Cálculo y resultados.....	77
4.3.2 Partículas largas y achatadas ASTM D 4791	78
4.3.2.1 Objetivo	78
4.3.2.2 Equipo y materiales	78
4.3.2.3 Procedimiento	78
4.3.2.4 Cálculo y resultado	79
4.3.3 Determinación del valor Equivalente de arena de suelos y agregados finos.79	
4.3.3.1 Objetivo	79
4.3.3.2 Equipo y materiales:	80
4.3.3.3 Procedimiento	80
4.3.3.4 Cálculo y resultado:	81
4.3.4 Abrasión por medio de la Máquina de los Ángeles ASTM C131	82
4.3.4.1 Objetivo	82
4.3.4.2 Equipo.....	82
4.3.4.3 Procedimiento:.....	82
4.3.4.4 Cálculo y resultado	84
4.3.5 Ensayo de Durabilidad ASTM C68.....	85
4.3.5.1 Objetivo	85
4.3.5.2 Equipo y materiales	85
4.3.5.3 Procedimiento	86
4.3.5.4 Cálculos resultados	87
4.3.6 Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos88	

4.3.6.1	Objetivo:	88
4.3.6.2	Equipo y materiales:	90
4.3.6.4	Cálculos y resultados	91
4.3.7	Gravedad Específica y absorción en Agregados Finos ASTM C-128	92
4.3.7.1	Objetivo	92
4.3.7.2	Equipo y material.....	92
4.3.7.3	Procedimiento:.....	92
4.3.7.4	Cálculo y resultados.....	93
4.3.8	Granulometría de agregados ASTM C136.....	94
4.3.8.1	Objetivo	94
4.3.8.2	Equipos y materiales:.....	94
4.3.8.3	Procedimiento	95
4.3.8.4	Cálculo y resultado	96
4.3.9	Dosificación de agregados para la granulometría combinada.....	100
4.3.9.1	Objetivo	100
4.3.9.2	Procedimiento	100
4.4	Caracterización de materiales asfálticos	105
4.4.1	Penetración ASTM D5, AASHTO T49	105
4.4.1.1	Objetivo	105
4.4.1.2	Equipo y material.....	105
4.4.1.3	Procedimiento	106
4.4.1.4	Cálculo y resultados.....	107
4.4.2	Ensayo de Viscosidad Saybolt Furolb ASTM D244.....	108
4.4.2.1	Objetivo.	108
4.4.2.2	Equipo y materiales	108
4.4.2.3	Procesamiento.....	108
4.4.2.4	Cálculo y resultados.....	110
4.4.3	Punto de reblandecimiento Anillo y Bola ASTM D 36	111
4.4.3.1	Objetivo.	111
4.4.3.2	Procesamiento.....	112

4.4.3 Cálculo y resultados	113
4.4.4 Ensayo de peso específico ASTM D-70.....	114
4.4.4.1 Objetivo	114
4.4.4.2 Procesamiento.....	114
4.4.4.3 Procesamiento.....	115
4.4.4.4 Cálculo y resultado	117
4.4.5 Puntos de inflamación copa abierta de Cleveland ASTM D-92	117
4.4.5.1 Objetivo	117
4.4.5.2 Procesamiento.....	117
4.4.5.3 Resultado	120
4.4.6 Ensayo de ductilidad en el asfalto ASTM 113	120
4.4.6.1 Objetivo	120
4.4.6.2 Equipo.....	120
4.4.6.1 Procedimiento	121
4.4.6.1 Cálculo y resultado	122
4.4.7 Ensayo de la mancha AASHTO T-102	122
4.4.7.1 Objetivo	122
4.4.7.2 Equipo.....	123
4.4.7.3 Procedimiento	123
4.4.7.4 Resultado	125
4.4.8 Índice de penetración del asfalto.....	125
4.4.8.1 Objetivo	125
4.4.8.2 Procedimiento	125
4.4.8.3 Cálculo y resultado	125
4.4.9 Recuperación elástica por ductilometro ASTM D-6084	126
4.4.9.1 Objetivo	126
4.4.9.2 Equipos	126
4.4.9.3 Procedimiento	126
4.4.9.4 Cálculo y Resultado.....	127
4.4.10 Prueba de película delgada en horno ASTM D1754.....	127

4.4.10.1	Objetivo	127
4.4.10.2	Equipo.....	127
4.4.10.3	Procedimiento	127
4.5	Asfaltos Modificados con SBS	131
4.5.1	Ensayo de Penetración.....	131
4.5.2	Punto de reblandecimiento del Bitumen usando Anillo y Bola	131
4.5.3	Gravedad especifica	131
4.5.4	Puntos de inflamación copa abierta de Cleveland.....	132
4.5.5	Ensayo de ductilidad en el asfalto ASTM 113	132
4.5.6	Ensayo de la mancha AASHTO T-102	132
4.5.7	Índice de penetración del asfalto	132
4.5.8	Recuperación elástica por ductilometro ASTM D-6084	133
4.5.9	Prueba de película delgada en horno ASTM D1754.....	133
4.6	ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	134
4.6.1	Método de Diseño Marshall Convencional AASHTO T 245	134
4.6.1.1	Objetivo	134
4.6.1.2	Resumen del metodo.....	134
4.6.1.3	Equipo y materiales	135
4.6.1.4	Evaluación de agregados	136
4.6.1.5	Evaluación del cemento asfáltico convencional y modificado SBS..	138
4.6.1.6	Preparación de los Especímenes Marshall.....	139
4.6.1.8	Compactación de Briquetas	146
4.6.1.9	Gravedad Específica Bulk mezcla compactada (Gmb)	147
4.6.1.11	Calculo de las Propiedades volumétricas.....	149
4.6.1.12	Medición de la estabilidad y la fluencia	153
4.4.1.13	Determinación del Óptimo Contenido de Asfalto	157
4.6.2	Método de Diseño Marshall con Polimero.....	158
4.6.2.1	Objetivo	158
4.6.3.2	Resumen del método.....	158
4.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS	165

4.8.1 Caracterización de los materiales pétreos	166
4.8.2 Caracterización de cemento asfáltico	166
4.8.3 Comparación de propiedades volumétricas mezcla asfáltica con asfalto convencional.....	169
4.8.4 Comparación de propiedades volumétricas de mezcla asfáltica con asfalto convencional y asfalto con polímero.....	175

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES	181
5.2 RECOMENDACIONES	183

INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 - Clasificación de Agregados.....	14
TABLA 2.2 - Requerimientos de Graduación para agregados Finos	24
TABLA 2.3 - Rango de Valores para Graduación de Agregados para Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente.	25
TABLA 2.4 - Requisitos de la gradación de agregados.....	25
TABLA 2. 5 - Normas AASHTO y ASTM aplicables para agregados	26
TABLA 2.6 - Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos.	34
TABLA 2.7 - Normas AASHTO y ASTM aplicables a asfaltos modificados	42
TABLA 2.8 - Criterios del Instituto del Asfalto para el Diseño Marshall.....	53
TABLA 2.9 - Porcentaje Mínimo de VMA	54
TABLA 3.1- Niveles de Análisis Método SUPERPAVE.....	56
TABLA 3.2 - Requisitos de propiedades de consenso del agregado	60
TABLA 3.3 - Distintos tipos de requerimientos para granulometrías SUPERPAVE	67
TABLA 4.1 - Granulometrías para ensayos y porcentaje que pase cada tamiz	71
TABLA 4. 2 - Resultado de porcentaje de caras fracturadas grava 3/4" y grava 3/8"	77
TABLA 4.3 - Porcentaje de partículas chatas alargadas grava 3/4" y grava 3/8"	79
TABLA 4.4 - Resultado de Porcentaje de arena.....	81

TABLA 4.5 - Grados de ensayo (Definidos por tipos y sus rangos de tamaños, en mm)	83
TABLA 4.6 - Resultados desgaste de los ángeles grava ¾”	84
TABLA 4.7- Resultados desgaste de los ángeles grava 3/8”	85
TABLA 4.8 - Resultado método sulfato de sodio de agregado grueso	87
TABLA 4.9 - Resultado método sulfato de sodio de agregado fino	88
TABLA 4.10 - Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal	90
TABLA 4.11 - Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado grueso	92
TABLA 4.12 - Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado fino	94
TABLA 4.13 - Serie de Tamices (* Tamices utilizados en el ensayo)	95
TABLA 4.14 - Cantidad mínima de muestra (* Utilizado)	95
TABLA 4.15 - Resultado de granulometría de grava ¾”	97
TABLA 4.16 - Resultado de granulometría de grava 3/8”	98
TABLA 4.17 - Resultado de granulometría de Arena	99
TABLA 4.18 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C	101
TABLA 4.19 - Requerimientos de Superpave para la granulometría de mezcla asfáltica para agregados de tamaño máximo nominal 19mm.	102
TABLA 4.20 - Combinaciones Granulométricas -Superpave para agregado de 19mm.	103
TABLA 4.21 - Dosificación mediante porcentajes retenidos para una briqueta	104
TABLA 4.22 - Resultado de Ensayo de Penetración 85-100 Convencional	107
TABLA 4. 23 – Resultado de Viscosidad Saybolt asfalto convencional.....	110
TABLA 4. 24 - Viscosidad a diferente temperatura asfalto convencional	110
TABLA 4.25 - Resultado del punto de ablandamiento.....	113
TABLA 4. 26 Resultado de la gravedad específica de asfalto convencional	117
TABLA 4.27 - Valores de corrección del punto de Inflamación	120
TABLA 4.28 - Resultado del punto de Inflamación asfalto convencional	120
TABLA 4. 29 - Resultado del ensayo de ductilidad asfalto convencional	122
TABLA 4. 30 - Resultado de recuperación elástica de Asfalto Convencional	127
TABLA 4. 31- Resultado de pérdida de peso asfalto convencional	130
TABLA 4. 32 – Penetración después del ensayo TFOT	130
TABLA 4. 33 - Resultado de ductilidad después del ensayo TFOT.....	130
TABLA 4. 34 - Resultados de penetración de asfalto modificado SBS	131
TABLA 4. 35 - Resultado de ablandamiento del asfalto modificado	131
TABLA 4. 36 - Resultado de gravedad específica de asfalto modificado SBS	132

TABLA 4. 37 - Resultado de inflamación asfalto modificado SBS	132
TABLA 4. 38 - Resultado de ductilidad asfalto modificado SBS	132
TABLA 4. 39 - Resultado recuperación elástica asfalto modificado SBS.....	133
TABLA 4. 40 - Resultado de pérdida de peso después del ensayo TFOT.....	133
TABLA 4. 41 – Penetración después del ensayo TFOT	133
TABLA 4. 42 - Resultado de ductilidad después del ensayo TFOT.....	134
TABLA 4. 43 - Resumen de los resultados de caracterización de materiales pétreos	136
TABLA 4. 44 - Resultado de Gravedades específicas bulk de la combinación de los agregados	137
TABLA 4. 45 - Resumen de control de calidad asfalto convencional.....	138
TABLA 4. 46 - Resumen de control de calidad asfalto modificado SBS	139
TABLA 4. 47 - Porcentaje calculado para cada fracción del agregado	140
TABLA 4. 48 - Estimación de porcentaje óptimo de Cemento asfáltico.....	142
TABLA 4. 49 - Porcentajes de Cemento Asfálticos de las granulometrías	142
TABLA 4. 50 - Dosificación para una briqueta de 1200 g de 5% de C.A.....	143
TABLA 4. 51 - Dosificaciones de agregado y asfalto para una briqueta de 1200 g.....	144
TABLA 4. 52 - Resultados de gravedades específicas (Gmb).....	149
TABLA 4. 53 - Resultado de porcentaje de Vacíos en Total de la Mezcla (VTM).....	151
TABLA 4. 54 - Resultado de porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).....	152
TABLA 4. 55 - Resultado de porcentaje de Vacíos llenos de asfalto (VFA)	153
TABLA 4. 56 - Resultado de Estabilidad y flujo de Granulometría 1 Convencional.....	156
TABLA 4. 57 Cuadro resumen diseño de mezcla asfáltica, Granulometría Convencional para agregado con tamaño máximo de 3/4"	159
TABLA 4. 58 - Cuadro resumen diseño de mezcla asfáltica, Granulometría SUPERPAVE para agregado con tamaño máximo de 3/4"	160
TABLA 4. 59 - Cuadro resumen diseño de mezcla asfáltica, Granulometría SUPERPAVE de máxima densidad TMN de 3/4"	161
TABLA 4. 60 - Cuadro resumen de diseño de mezcla asfáltica con polímero de las tres granulometrías con tamaño máximo de 3/4"	164
TABLA 4. 61 – Perdidas de peso, penetración y ductilidad.....	169
TABLA 4. 62 – Resumen de las propiedades volumétricas de diseño mezclas convencionales	175
TABLA 5. 1 – Variación porcentual de propiedades volumétricas M.A.C.....	182

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2. 1 - Esquema del comportamiento del pavimento flexible y rígido	10
FIGURA 2. 2 - Obtención del Asfalto	28
FIGURA 2.3 - Esquema coloidal de Pfeiffer.	29
FIGURA 2.4 - Comportamiento del asfalto: Consistencia vrs. Temperatura	31
FIGURA 2.5 - Esquema de polimerización por adición.....	35
FIGURA 2.6 - Esquema de polimerización por condensación.....	36
FIGURA 2. 7 – Polímero SBS y SBR	37
FIGURA 2. 8 - Comportamiento asfalto convencional vrs. Asfalto modificado.....	41
FIGURA 2.9 - Representación de la composición típica de una mezcla asfáltica.....	50
FIGURA 3. 1 - Representación de granulometrías según la FHWA	63
FIGURA 3.2 - Ilustración de cómo se grafican las abscisas.....	64
FIGURA 3.3 - Graduación de máxima densidad para tamaño máximo de 19 mm	65
FIGURA 3.4 - Límites para las granulometrías SUPERPAVE	68
FIGURA 4.1 - Banco de material “San José de Charaja”	75
FIGURA 4.2 - Separando las partículas fracturadas y no fracturadas	77
FIGURA 4.3 - Cuarteo de muestra	78
FIGURA 4.4 - Calibrador metálico.....	78
FIGURA 4.5 - Probeta para equivalente de arena con muestra y accesorios.....	81
FIGURA 4.6 - a) Cuarteando, b) Tamizado, c) Esferas de acero, d) Equipo de los Ángeles	84
FIGURA 4.7 - Muestra con reactivos de Sulfato de Sodio.....	86
FIGURA 4.8 - Muestra Secada en Horno	86
FIGURA 4.9 - Representación gráfica de los vacíos en los agregados.....	89
FIGURA 4.10 - a) Muestra saturada, b) Secando la Muestra, c) Peso de muestra en agua...	91
FIGURA 4.11 – a) Usando el molde cónico, b) Vacía en el matraz, c) Pesando la muestra el agua y matraz	93
FIGURA 4.12 - a) Cuartear los agregados, b) Peso de la muestra, c) Juego de tamices, d) Material Tamizado	96
FIGURA 4.13 - Penetración en el residuo a 25 °C, 5 segundos y con un peso de 100 g.....	107
FIGURA 4. 14 - a) limpieza, b) Vertiendo, c) Registro de tiempo en el viscosímetro.....	110
FIGURA 4.15 - a) Colocación del betún en el anillo, b) Colocación de esferas sobre anillos, c) Aparato sumergido, d) Registro de temperaturas.....	113
FIGURA 4. 16 - Pesando el conjunto picnómetro + asfalto	116

FIGURA 4. 17 - Baño de agua a 25°C conjunto picnómetro + asfalto +agua	116
FIGURA 4.18 - Aparato armado copa abierta de Cleveland	119
FIGURA 4.19 - Medición del nivel de llenado.....	119
FIGURA 4. 20 - Preparación de las briquetas	122
FIGURA 4. 21 – Elongación del asfalto en el equipo ductilómetro	122
FIGURA 4. 22 - Muestra en baño a 25°C	124
FIGURA 4. 23 - Agregando gasolina a la muestra	124
FIGURA 4. 24 - Tomando muestra para dejar caer en el papel filtro.....	124
FIGURA 4. 25 - Procedimiento de recuperación elástica.....	126
FIGURA 4. 27 - Repisa giratoria en horno.....	129
FIGURA 4. 26 - Cazuela tarada con asfalto	129
FIGURA 4. 28 - Paquetes de 1200 g para las briquetas.....	144
FIGURA 4. 29 - a) muestra tamizada, b) secado en el horno, c) pesado de la muestra, d) preparación de mezcla.....	145
FIGURA 4. 30 - a), b), c), d), e), f), g) Pasos para compactación de mezcla	147
FIGURA 4. 31 - a) Peso seco, b) Peso sat. Supef. Seco, c) Peso sumergido en agua.....	148
FIGURA 4. 32 Determinación de Estabilidad y flujo con la Marshall	154
FIGURA 4. 33 - Briquetas en baño de María	154
FIGURA 4. 34 - Granulometría para tráfico pesado y moderado.....	180

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRAFICA 4.1 - Granulometría experimental 1: Convencional	72
GRAFICA 4.2 - Grafica granulometría experimental 2: SUPERPAVE.....	73
GRAFICA 4.3 - Grafica granulometría experimental 3: SUPERPAVE de máxima densidad74	
GRAFICA 4.4 - Análisis de granulometría de grava ¾”	97
GRAFICA 4.5 - Análisis de granulometría de grava 3/8”	98
GRAFICA 4.6 - Análisis de granulometría de arena	99
GRAFICA 4.7 - Combinaciones Granulométricas –Convencional Tipo C	101
GRAFICA 4.8 - Granulometría 2 y 3 Superpave para agregado de TMN de 19 mm.....	104
GRAFICA 4.9 – Resultado de Penetración 85-100 Convencional	107
GRAFICA 4. 10 - Temperatura vs viscosidad asfalto convencional	111

GRAFICA 4.11 - Ensayo de Ablandamiento.....	114
GRAFICA 4. 12 - Relaciones volumétricas de la granulometría convencional	162
GRAFICA 4. 13 - Relaciones volumétricas de la granulometría SUPERPAVE.....	162
GRAFICA 4. 14 - Relaciones volumétricas de la granulometría SUPERPAVE de máxima densidad	163
GRAFICA 4. 15 – Penetración de los asfaltos.....	167
GRAFICA 4. 16 – Punto de ablandamiento de los asfaltos.....	167
GRAFICA 4. 17 – Ductilidad de los asfalto	168
GRAFICA 4. 18 – Recuperación elástica de los asfaltos.....	168
GRAFICA 4. 19 – Comparaciones volumétricas de Gravedades específicas.....	170
GRAFICA 4. 20 – Comparación de porcentaje de vacíos mezcla convencional.....	171
GRAFICA 4. 21 - Comparación de porcentaje de vacíos de agregado.....	172
GRAFICA 4. 22- Comparación de porcentaje de vacíos llenos con asfalto	173
GRAFICA 4. 23 – Comparación de estabilidades mezcla convencional.....	173
GRAFICA 4. 24 – Comparación de flujos en mezclas convencionales.....	174
GRAFICA 4. 25 – Gravedades específicas en mezclas asfálticas	176
GRAFICA 4. 26 – Porcentajes de vacíos de aire en las mezclas asfálticas	176
GRAFICA 4. 27 – Porcentaje de Vacíos de Agregado Mineral en mezclas asfálticas.....	177
GRAFICA 4.28 - Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto en mezclas asfálticas	178
GRAFICA 4. 29 - Estabilidades en mezclas asfálticas	178
GRAFICA 4. 30 - Flujos en mezclas asfálticas convencionales y modificadas	179

SIGLAS

- ASTM** : American Society for testing Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)
- AASHTO** : American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte)
- MAC** : Mezcla Asfáltica en Caliente
- NCHRP** : National Cooperative Highway Research Program (Programa Nacional Cooperativo para la Investigación de Carreteras)
- PG** : Performance Grade (Grado de desempeño)
- SHRP** : Strategic Highway Research Program (Programa Estratégico para la Investigación de Carreteras)
- SUPERPAVE** : Superior Performing Asphalt Pavements (Pavimentos Asfálticos de Rendimiento Superior)