

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LA FIBRA DE VIDRIO COMO COMPONENTE EN
UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA EL
MANTENIMIENTO DE CARRETERAS”**

Por:

ALBORNOZ GAITE JUAN ORLANDO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

SEMESTRE I - 2022

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO
DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE LA FIBRA DE VIDRIO COMO COMPONENTE EN
UNA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE PARA EL
MANTENIMIENTO DE CARRETERAS”**

Por:

ALBORNOZ GAITE JUAN ORLANDO

SEMESTRE I - 2022

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. José Aurelio Navia Ojeda
DECANO a. i.

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Ing. Marlene Simons Sánchez
VICEDECANA a. i.

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL

.....
M. Sc. Ing. Marcelo Humberto Pacheco Núñez

.....
M. Sc. Ing. Mirtha Torrez Chávez

.....
Ing. José Ricardo Arce Avendaño

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Zenón Juan Albornoz que desde el cielo me mira y siempre confió en mí, un beso hasta el cielo, y Eda Gaité mi madre que me apoyo en todo momento y siempre luchó por mí y a toda su familia para sacarnos adelante, a mi hermana Evita que siempre está ahí, cuando más la necesito y a mi hermano Jhon que siempre cree en mí, a mis hijos Mariluz y Facundo por ser el motivo de seguir luchando en esta vida, y a toda mi familia por apoyarme siempre, para cumplir mis metas e ideales.

ÍNDICE GENERAL

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

Capítulo I Introducción

	Pág.
1.1.Introducción.....	1
1.2.Justificación.....	3
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.3.1. Situación problemática.....	5
1.3.2.Problema.....	5
1.3.3. Relevancia y factibilidad del problema.....	5
1.4. Objetivos de la investigación.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Definición de variables independientes y dependientes.....	7
1.6.1. Variable independiente.....	7
1.6.2. Variable dependiente.....	7
1.7. Diseño metodológico.....	8

1.7.1. Métodos y técnicas empleadas.....	8
1.7.1.1. Método.....	8
1.7.1.1.1. Método inductivo.....	8
1.7.2. Componentes.....	9
1.7.3. Técnicas.....	10
1.7.3.1. Técnicas de investigación experimental.....	10
1.8. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	11
1.8.1. Estadística descriptiva.....	11
1.8.1.1. Fórmulas para la estadística descriptiva.....	12
1.8.1.2. Medidas de centralización.....	12
1.8.1.3. Medidas de dispersión.....	13
1.9. Procesamiento de la información.....	14
1.10. Alcance de la investigación.....	15

Capítulo II

Marco teórico

	Pág.
2.1. Asfalto.....	17
2.1.1. Definición.....	17
2.1.2. Propiedades físicas del asfalto.....	19
2.1.2.1. Durabilidad.....	19
2.1.2.2. Adhesión y cohesión.....	19

2.1.2.3. Susceptibilidad a la temperatura.....	19
2.1.2.4. Endurecimiento y envejecimiento.	20
2.1.3. Ensayo de caracterización del cemento asfáltico.....	21
2.1.3.1. Ensayos de penetración.....	21
2.1.3.2. Ensayo de punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland.....	22
2.1.3.3. Ensayo de punto de ablandamiento mediante el aparato de anillo y bola.....	22
2.1.3.4. Ensayos de peso específico.....	22
2.1.3.5. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.....	23
2.2. Agregado en mezclas asfáltica.....	23
2.2.1. Propiedades de los agregados.....	24
2.2.2. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas.....	24
2.2.2.1. Agregado grueso.	24
2.2.2.2. Agregado fino.....	24
2.2.3. Ensayos de caracterización de los agregados.	25
2.2.3.1. Granulometría.....	25
2.2.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso.....	26
2.2.3.3. Peso específico y absorción del agregado fino.....	26
2.2.3.4. Resistencia al desgaste por abrasión.....	26
2.2.3.5. Equivalente de arena.....	26

2.3. Mezcla asfáltica convencional.....	27
2.3.1. Definición.....	27
2.3.2. Contenido de asfalto.....	27
2.3.3. Propiedades de mezclas asfálticas.	28
2.3.4. Tipos de elaboración de mezclas asfálticas convencionales.....	28
2.3.4.1. Mezcla asfáltica en caliente.....	28
2.4. Mezcla asfáltica modificadas con polímeros.	29
2.4.1. Definición de polímero.	29
2.5. Características y comportamiento de mezclas asfálticas.....	30
2.5.1. Densidad efectiva.....	30
2.5.2. Huecos en la mezcla o vacíos de aire (va).....	30
2.5.3. Vacíos en el agregado mineral (vam).....	31
2.5.4. Relación betún - vacíos (%).....	32
2.6. Diseño de mezclas por el método Marshall.....	34
2.6.1. Descripción del método de Marshall.....	34
2.6.2. Procedimiento en resumen del ensayo Marshall.....	34
2.7. Normativa a utilizar en el proyecto de experimentación.....	36
2.8. Mantenimiento de carreteras.....	37
2.8.1. Tipos de mantenimiento vial.....	37
2.8.1.1. Mantenimiento de rutina.....	38

2.8.1.1.1 bacheo de caminos.....	38
2.8.1.2. Mantenimiento preventivo de carreteras.....	38
2.8.1.3. Mantenimiento periódico de carreteras.....	39
2.8.1.4. Mantenimiento de emergencia.....	39
2.9. Fibra de vidrio.....	40
2.9.1. Tipos de fibra de vidrio.....	41
2.9.2. Formación de la fibra de vidrio.....	41
2.9.3. Procesos de fabricación de la fibra vidrio.....	41
2.9.3.1. Fundición.....	41
2.9.3.2. Formación.....	41
2.9.3.3. Proceso de filamentos continuos.....	42
2.9.3.4. Proceso de fibra corriente.....	42
2.9.3.5. Usos de la fibra de vidrio.....	42
2.9.4. Propiedades de la fibra de vidrio.....	43
2.9.4.1. Resistencia química.	43
2.9.4.2. Peso ligero.....	43
2.9.4.3. Bajo mantenimiento.....	43
2.9.4.4. Aislamiento eléctrico.....	43
2.9.4.5. Versatilidad.....	43
2.9.4.6. Excelente aislante térmico.....	43
2.9.5. Ventajas y desventajas.....	44
2.9.5.1. Ventajas.....	44

2.9.5.2. Desventajas.....	44
2.9.6. Características técnicas de la fibra de vidrio.....	44

Capítulo III

Desarrollo experimental

	Pág.
3.1. Componentes.....	47
3.1.1. Unidad de estudio o muestreo.....	47
3.1.2. Población.	47
3.1.3. Muestra.	47
3.1.4. Muestreo.	47
3.2. Métodos y técnicas empleadas.....	47
3.3. Caracterización de los materiales.	48
3.4. Instrumentos para realizar el trabajo de investigación.....	49
3.5. Selección de material.....	50
3.5.1. Agregados.....	50
3.5.2. Cemento asfáltico.....	51
3.6. Especificaciones técnicas de los asfaltos.....	51
3.5.3. Fibra de vidrio.....	52
3.5.3.1. Presentación de la fibra de vidrio.....	52

3.5.3.2. Características técnicas de la fibra de vidrio mat 300.....	54
3.5.3.3. Proveedor de la fibra de vidrio.....	55
3.6. Caracterización de los agregados.	56
3.6.1. Granulometría de los agregados (ASTM e-40; AASHTO T27-99).....	56
3.6.1.1. Granulometría del agregado grueso (grava).....	57
3.6.1.2. Granulometría del agregado grueso (gravilla).....	58
3.6.1.3. Granulometría del agregado fino (arena).....	59
3.6.1.4. Granulometría formada.....	60
3.6.2. Determinar el peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM E-127 AASHTO T85-91)	62
3.6.2.1. Peso específico - agregado grueso grava $\frac{3}{4}$	62
3.6.2.2. Peso específico del agregado grueso (gravilla).....	62
3.6.2.3. Peso específico del agregado fino (arena).....	63
3.6.3. Determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).....	63
3.6.3.1. Desgaste de los ángeles de la grava.....	63
3.6.3.2. Desgaste de los ángeles de la gravilla.....	64
3.6.4. Determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00).....	66
3.6.4.1. Equivalente de arena.....	66

3.6.5. Resultados de caracterización de los agregados pétreos.....	67
3.7. Caracterización del cemento asfáltico 85-100 betún.....	67
3.7.1. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico convencional 85-100...	68
3.8. Ensayos de caracterización a la fibra de vidrio.....	69
3.8.1. Ensayo para determinar el peso específico a granel de la fibra vidrio con referencia a (ASTM E-128 AASHTO T84-00).....	69
3.8.2. Ensayo de película delgada en fibra de vidrio con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05).....	72
3.8.3. Ensayo de resistencia a la temperatura en fibra de vidrio utilizando el horno de ignición con referencia a (ASTM D1757 AASHTO T179-05).....	77
3.8.4. Resultados de ensayos de caracterización de la fibra de vidrio.....	80
3.9. Mezcla de agregados.....	81
3.9.1. Curva de diseño granulométrico - método Marshall (ASTM D 3515).....	82
3.10. Determinación del contenido óptimo.....	83
3.10.1. Desarrollo de las briquetas.....	83
3.10.2. Análisis de resultados del porcentaje óptimo.....	88
3.10.2.1. Diseño de la mezcla de trabajo con cemento asfáltico convencional 85-100.....	88
3.10.2.1.1. Determinación del contenido óptimo Marshall.....	88
3.11. Modo de empleo de la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.....	96
3.12. Desarrollo de las briquetas con fibra de vidrio.....	102

3.13. Determinación del porcentaje óptimo de fibra de vidrio con un porcentaje de cemento asfáltico de 6.00% mediante ensayos de Marshall.....	107
3.14. Análisis estadístico.....	117
3.14.1. Muestras para el análisis estadístico.....	117
3.14.2. Análisis estadístico de datos.....	119
3.14.2.1. Gráficos q-q normal.....	123
3.14.2.2. Diagramas de cajas.....	125
3.14.2.3. Pruebas normalidad.....	129
3.15. Determinación del contenido óptimo del cemento asfáltico agregando diferentes porcentajes de cemento asfáltico manteniendo un contenido de fibra de vidrio de 0.60%.....	130
3.15.1. Desarrollo de las briquetas.....	131
3.16. Análisis complementario de la estabilidad agregando 0.60 % de fibra de vidrio y con diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	142
3.17. Precios unitarios de la mezcla convencional, con otra modificada con fibras de vidrio con su porcentaje óptimo de fibra de vidrio y una mezcla asfáltica con un porcentaje de 0.60% de fibra de vidrio y un porcentaje de cemento asfáltico óptimo de 5.42%.....	144
3.18. Análisis de la Resistencia, económico y medio ambiente, con y sin la fibra de vidrio en la mezcla asfáltica.....	148
3.18.1. Análisis de la Resistencia.....	148
3.18.2. Análisis económico.....	149

3.18.3. Análisis de medio ambiente.....	150
3.19. Factibilidad técnica, económica y ambiental.....	151
3.19.1. Factibilidad técnica.....	151
3.19.2. Factibilidad económica.....	151
3.19.3. Factibilidad ambiental.....	151
3.20. Análisis de las ventajas y desventajas del uso de la fibra de vidrio.....	152

Capítulo IV

Conclusiones y recomendaciones

	Pág.
4.1. Conclusiones.....	153
4.2. Recomendaciones.....	155

Bibliografía

Anexos

Anexo 1. Procedimiento de ensayos de caracterización de los agregados.

Anexo 2. Procedimiento de ensayos de caracterización del cemento asfáltico.

Anexo 3. Procedimiento de ensayos de caracterización de la fibra de vidrio.

Anexo 4. Planilla de caracterización de los agregados.

Anexo 5. Planilla de caracterización del cemento asfáltico.

Anexo 6. Planilla de caracterización de la fibra de vidrio.

Anexo 7. Planilla de dosificación de mezcla asfáltica.

Anexo 8. Planilla del método Marshall.

Anexo 9. Ensayo adicional al material de la fibra de vidrio.

Anexo 10. Solicitudes de provisión de materiales y prestación de insumos y equipos de laboratorio y cartas realizadas para el siguiente proyecto.

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1.1: Variable independiente.....	7
Tabla 1.2: Variable dependiente.....	7
Tabla 1.3: Muestras con porcentaje de fibra de vidrio.....	11
Tabla 2.1: Características técnicas de la fibra de vidrio en general.....	45
Tabla 2.2: Presentaciones de la fibra de vidrio.....	46
Tabla 3.1: Especificaciones técnicas del cemento asfáltico betunel.....	51
Tabla 3.2: Granulometría de la grava, gravilla y arena.....	56
Tabla 3.3: Granulometría de la grava.....	57
Tabla 3.4: Granulometría de la gravilla.....	58
Tabla 3.5: Granulometría de la arena	59
Tabla 3.6: Granulometría formada de la grava, gravilla y arena.....	60
Tabla 3.7: Peso específico grava.....	62
Tabla 3.8: Peso específico gravilla.....	62
Tabla 3.9: Peso específico agregado fino (arena).....	63
Tabla 3.10: Cantidad de material a emplear.....	63
Tabla 3.11: Graduación desgaste de los ángeles.....	64
Tabla 3.12: Resultados de desgaste de los ángeles.....	64
Tabla 3.13: Requerimiento según el tamaño de material que se tiene.....	64
Tabla 3.14: Graduación desgaste de los ángeles	65
Tabla 3.15: Resultados de desgaste de los ángeles.....	65
Tabla 3.16: Resultados de equivalente de la arena.....	66
Tabla 3.17: Equivalente de la arena.....	66

Tabla 3.18: Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados.	67
Tabla 3.19: Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico Convencional.	68
Tabla 3.20: Pesos antes de poner al horno por un tiempo de 4 horas.....	76
Tabla 3.21: Pesos después de poner al horno por un tiempo de 4 horas.....	76
Tabla 3.22: Pesos antes de poner al horno por un tiempo de 15 minutos.....	79
Tabla 3.23: Pesos después de poner al horno por un tiempo de 15 minutos.....	79
Tabla 3.24: Resultados de los ensayos de caracterización de la fibra de vidrio.....	80
Tabla 3.25: Planilla de granulometría proyectada.	81
Tabla 3.26: Especificaciones de la granulometría proyectada.....	82
Tabla 3.27: Dosificación con el cemento asfáltico.....	83
Tabla 3.28: Peso específico retenidos en diferentes tamices.....	88
Tabla 3.29: Método Marshall.....	89
Tabla 3.30: Peso específico del agregado.....	89
Tabla 3.31: Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico....	90
Tabla 3.32: Resultados a diferentes porcentajes de cemento asfáltico.	91
Tabla 3.33: Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	96
Tabla 3.34: Peso específico retenidos en diferentes tamices.....	99
Tabla 3.35: Método Marshall.....	100
Tabla 3.36: Peso específico del agregado.....	100
Tabla 3.37: Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio técnicas de empleo la fibra de vidrio.....	101
Tabla 3.38: Resultados aplicando de 3 formas diferentes la fibra de vidrio.....	102

Tabla 3.39: Peso específico retenidos en diferentes tamices.....	108
Tabla 3.40: Método Marshall.....	108
Tabla 3.41: Peso específico del agregado.....	108
Tabla 3.42: Dosificación con contenido de fibra de vidrio según granulometría de diseño.....	109
Tabla 3.43: Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio.....	110
Tabla 3.44: Resultados con diferentes porcentajes de fibra de vidrio.....	111
Tabla 3.45: Porcentaje óptimo de fibra de vidrio	116
Tabla 3.46: Resultados con 0.60% de fibra de vidrio para un análisis estadístico.....	118
Tabla 3.47: Resumen de procesamiento de casos.....	119
Tabla 3.48: Medidas centralizadas y de dispersión densidad.....	120
Tabla 3.49: Medidas centralizadas y de dispersión estabilidad.....	120
Tabla 3.50: Medidas centralizadas y de dispersión fluencia.....	121
Tabla 3.51: Medidas centralizadas y de dispersión vacíos.....	121
Tabla 3.52: Medidas centralizadas y de dispersión VAM.....	122
Tabla 3.53: Medidas centralizadas y de dispersión RBV.....	122
Tabla 3.54: Pruebas de normalidad.....	129
Tabla 3.55: Dosificación con contenido de fibra de vidrio a 0.60% y diferentes porcentajes de cemento asfáltico según granulometría de diseño.....	130
Tabla 3.56: Peso específico retenidos en diferentes tamices.....	135
Tabla 3.57: Método Marshall.....	135
Tabla 3.58: Peso específico del agregado.....	135
Tabla 3.59: Planilla método Marshall mezcla asfáltica con fibra de vidrio.....	136

Tabla 3.60: Resultados con diferentes porcentajes de cemento asfáltico y con un porcentaje 0.60% de fibra de vidrio.....	137
Tabla 3.61: Resultados de porcentaje óptimo de cemento asfáltico con 0.60% de fibra de vidrio.....	142
Tabla 3.62: Análisis de resultados resistencia.....	142
Tabla 3.63: Diferentes porcentajes de C.A y la estabilidad.....	144
Tabla 3.64: Análisis de precios unitarios, mezcla convencional	145
Tabla 3.65: Análisis de precios unitarios, mezcla con fibra de vidrio.....	146
Tabla 3.66: Análisis de precios unitarios, mezcla con porcentaje de fibra de vidrio de 0.60% y un contenido óptimo de cemento asfáltico de 5.42%.....	147
Tabla 3.67: Análisis de resultados de la resistencia.....	148
Tabla 3.68: Análisis de resultados económicos.....	149
Tabla 3.69: Ventajas y desventajas.....	152
Tabla 4.1: Contenido óptimo de fibra de vidrio.....	153
Tabla 4.2: Estadística aplicada a la Estabilidad.....	154

Índice de gráficos

	Pág.
Gráfico 3.1: Curva granulométrica grava	58
Gráfico 3.2: Curva granulométrica gravilla	59
Gráfico 3.3: Curva granulométrica agregado fino (arena).....	60
Gráfico 3.4: Curva granulométrica formada	61
Gráfico 3.5: Curva granulométrica formada ASTM 3515	82
Gráfico 3.6: Densidad vs. Contenido de C.A(%).	91
Gráfico 3.7: Estabilidad vs. Contenido de C.A(%).	92
Gráfico 3.8: Fluencia vs. Contenido de C.A(%).	92
Gráfico 3.9: V.A.M vs. Contenido de C.A(%).	93
Gráfico 3.10: R.B.V vs. Contenido de C.A. (%).	93
Gráfico 3.11: % Vacíos de Mezcla vs. Contenido de C.A(%).	93
Gráfico 3.12: Densidad vs. Contenido de fibra de vidrio (%)......	111
Gráfico 3.13: Estabilidad vs. Contenido de fibra de vidrio(%)......	112
Gráfico 3.14: V.A.M vs. Contenido de fibra de vidrio (%)......	112
Gráfico 3.15: Fluencia vs. Contenido de fibra de vidrio (%)......	113
Gráfico 3.16: R.B.V vs. Contenido de fibra de vidrio (%)......	113
Gráfico 3.17: Vacíos de Mezcla vs. Contenido de fibra de vidrio(%)......	114
Gráfico 3.18: Gráfico Q-Q densidad.....	123
Gráfico 3.19: Gráfico Q-Q estabilidad.	123
Gráfico 3.20: Gráfico Q-Q fluencia.	124
Gráfico 3.21: Gráfico Q-Q porcentaje de vacíos.	124

Gráfico 3.22: Gráfico Q-Q VAM.....	125
Gráfico 3.23: Densidad vs. Contenido C.A(%).	137
Gráfico 3.24: Estabilidad vs. Contenido C.A(%).	138
Gráfico 3.25: Fluencia vs. Contenido C.A(%).	138
Gráfico 3.26: V.A.M vs. Contenido C.A(%).	139
Gráfico 3.27: R.B.V vs. Contenido C.A. (%).	139
Gráfico 3.28: % Vacíos de Mezcla vs. Contenido C.A(%).	140
Gráfico 3.29: Estabilidad Vs Contenido C.A (%).....	143

Índice de diagramas

	Pág.
Diagrama 3.1: Diagrama de cajas densidad.....	126
Diagrama 3.2: Diagrama de cajas estabilidad.....	126
Diagrama 3.3: Diagrama de cajas fluencia.....	127
Diagrama 3.4: Diagrama de cajas porcentajes de vacíos.	127
Diagrama 3.5: Diagrama de cajas VAM.	128
Diagrama 3.6: Diagrama de cajas porcentajes de RBV.....	128

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1.1: Método de empleo de la grilla de fibra de vidrio.....	4
Figura 2.1: Diagrama de compactación.....	33
Figura 2.2: Medidor de estabilidad. Marshall	35
Figura 2.3: Fibra de vidrio presentación en rollo	40
Figura 2.4: Fibra de vidrio picada	40
Figura 3.1: Mapa político de Tarija	50
Figura 3.2: Mapa político del municipio Uriondo	50
Figura 3.3: Ubicación SEDECA.	51
Figura 3.4: Fibra de vidrio doblada.	53
Figura 3.5: Fibra de vidrio en rollo.	53
Figura 3.6: Fibra de vidrio utilizada en la presente investigación.....	54
Figura 3.7: Presentaciones de la fibra de vidrio.	55
Figura 3.8: Información acerca de fibra center	55
Figura 3.9: Medidas de figura conocida.....	69
Figura 3.10: Medidas del material fibra de vidrio.....	70
Figura 3.11: Lectura de medida de la altura de fibra de vidrio.....	70
Figura 3.12: Peso de la fibra de vidrio.....	71
Figura 3.13: Material fibra vidrio.....	73
Figura 3.14: Material fibra de vidrio en horno giratorio.....	73

Figura 3.15: Fibra de vidrio en interior del horno vista desde el vidrio transparente.....	74
Figura 3.16: Fibra de vidrio a una temperatura de 162° C por un tiempo de 4 horas.....	74
Figura 3.17: Material fibra de vidrio en horno más grande la capacidad de temperaturas más altas.....	75
Figura 3.18: Fibra de vidrio a una temperatura de 200 °C por un tiempo de 4 horas.....	75
Figura 3.19: Horno de ignición.....	78
Figura 3.20: Material de fibra de vidrio dentro del horno de ignición.....	78
Figura 3.21: Agregado de cemento asfáltico a los agregados	84
Figura 3.22: Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.	85
Figura 3.23: Muestra compactada en ambas caras.	85
Figura 3.24: Extracción de briqueta con un gato hidráulico.	86
Figura 3.25: Briquetas desmoldadas.....	86
Figura 3.26: Medición de alturas de las briquetas.....	87
Figura 3.27: Baño de agua a 60 ° C durante 30 minutos.	87
Figura 3.28: Lectura de la estabilidad y fluencia equipo Marshall	88
Figura 3.29: Fibra de vidrio tipo manta y fibra de vidrio desmenuzada	97
Figura 3.30: Mezcla asfáltica con fibra de vidrio	97
Figura 3.31: Incorporando fibra de vidrio a la mezcla asfáltica	98
Figura 3.32: Muestras ya pesadas	98
Figura 3.33: Briquetas hechas con las tres formas de emplear la fibra de vidrio.	99
Figura 3.34: Pesaje de agregados y la fibra de vidrio.	102

Figura 3.35: Mezcla del agregado más el cemento asfáltico y la fibra de vidrio.....	103
Figura 3.36: Vaciado de la mezcla asfáltica con fibra de vidrio al molde.	104
Figura 3.37: Compactación manual de la mezcla asfáltica con la fibra de vidrio.	104
Figura 2.38: Total briquetas realizadas con fibra de vidrio 36 muestras.....	105
Figura 2.39: Briquetas con más alto porcentaje de fibra de vidrio.	105
Figura 2.40: Medición de alturas de las briquetas.....	106
Figura 2.41: Peso sumergido de las briquetas.	106
Figura 2.42: Briquetas listas para el equipo Marshall	107
Figura 2.43: Muestras ya pesadas	117
Figura 2.44: Briquetas con 0.60% de fibra de vidrio para el análisis estadístico	118
Figura 3.45. Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.....	131
Figura 3.46. Mezcla del agregado con el cemento asfáltico.....	132
Figura 3.47. Muestras compactadas en ambas caras.....	133
Figura 3.48. Medición de alturas de las briquetas.....	133
Figura 3.49. Baño de agua a 60 ° C durante 30 minutos.....	134
Figura 3.50. Lectura de la estabilidad y fluencia equipo Marshall.....	134