

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



**“ANÁLISIS DEL EFECTO QUE TIENE EL LLENANTE MINERAL
EN LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS”**

Por:

SILVINA GALLARDO RUIZ

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 II - GESTIÓN 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 DEL EFECTO QUE TIENE EL LLENANTE MINERAL
EN LAS PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS”**

Por:

SILVINA GALLARDO RUIZ

Proyecto de Grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II – GESTIÓN 2022

Tarija- Bolivia

DEDICATORIA

A mis padres, Luis Gallardo Torrez QEPD (+) que desde el cielo me ilumina para poder seguir con mis proyectos y Natividad Ruiz Contreras, porque creyeron en mí, porque me dieron ejemplos dignos de superación y han sabido formarme con buenos hábitos, sentimientos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DEL EFECTO QUE TIENE EL LLENANTE MINERAL EN LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Diseño teórico.....	2
1.3.1. Planteamiento del problema.....	2
1.3.1.1. Situación problémica.....	2
1.3.1.2. Formulación del problema.....	3
1.3.2. Objetivos.....	3
1.3.2.1. Objetivo general.....	3
1.3.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3.3. Hipótesis.....	3
1.3.4. Conceptualización de las variables independiente y dependiente.....	4
1.3.4.1. Variable independiente.....	4
1.3.4.2. Variable dependiente.....	5
1.3.4.3. Unidad de observación.....	5
1.4. Diseño metodológico.....	5
1.4.1. Unidad de estudio y decisión muestral.....	5
1.4.1.1. Unidad de estudio.....	5
1.4.1.2. Población.....	5
1.4.1.3. Muestra.....	6
1.4.2. Métodos y técnicas empleadas.....	6
1.4.2.1. Experimentales.....	6
1.4.2.2. Aplicación técnica – práctica.....	6
1.4.2.3. Plan de trabajo.....	6
1.4.2.4. Delimitación del espacio.....	7
1.4.2.5. Delimitación del tiempo.....	7

CAPÍTULO II
ASPECTOS TÉCNICOS SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y SUS
PROPIEDADES

	Página
2.1. Mezclas asfálticas o bituminosas.....	8
2.2. Mezclas asfálticas en caliente.....	9
2.2.1. Materiales utilizados para las mezclas asfálticas en caliente.....	9
2.2.2. Funcionalidad de la mezcla asfáltica en un pavimento flexibles.....	10
2.2.2.1. Densidad.....	10
2.2.2.2. Vacíos de aire.....	10
2.2.3. Contenido de asfalto.....	11
2.4. Diseño de mezclas asfálticas.....	11
2.4.1. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	11
2.4.1.1. Diferencia entre las propiedades físicas y mecánicas.....	12
2.4.1.2. Propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas.....	12
2.4.2. Clasificación de las mezclas asfálticas.....	13
2.4.2.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado.....	13
2.4.2.2. Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	13
2.4.2.3. Por la granulometría.....	14
2.4.2.4. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.....	14
2.4.2.5. Por la temperatura de puesta.....	14
2.4.3. Características volumétricas de las mezclas asfálticas.....	16
2.4.3.1. Gravedad específica bruta “Bulk” (Gmb).....	17
2.4.3.2. Densidad máxima teórica (Gmm).....	18
2.4.3.3. Porcentaje de vacíos con aire (Va).....	18
2.4.3.4. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	19
2.4.3.5. Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto (VFA).....	19
2.4.3.6. Contenido de asfalto efectivo (Pbe).....	20
2.4.4. Ensayos que se realizan a las mezclas.....	21
2.5. Método Marshall.....	21
2.5.1. Estabilidad.....	22

2.5.2. Fluencia.....	22
2.5.3. Equipo requerido para la rotura por el ensayo Marshall.....	22
2.6. Componentes de la mezcla asfáltica.....	24
2.6.1. Cemento asfáltico.....	24
2.6.2. Agregados pétreos.....	25
2.6.3. Llenante mineral.....	26
2.6.3.1. Especificaciones técnicas del polvo de roca.....	26
2.6.3.2. Especificaciones técnicas de la cal hidratada.....	27
2.6.3.3. Especificaciones técnicas del cemento Portland IP-30.....	30
2.7. Normas aplicadas para el diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall...	35
2.8. Otros estudios relacionados con la presente investigación.....	37
2.9. Análisis del aporte teórico.....	38

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON DIFERENTES TIPOS DE FILLER

	Página
3.1. Criterios del diseño metodológico.....	39
3.1.1. Unidad de estudio.....	39
3.1.2. Población.....	39
3.1.3. Muestra.....	39
3.1.4. Muestreo.....	39
3.2. Procesamiento de datos.....	41
3.2.1. Descripción de los ensayos de laboratorio.....	41
3.2.1.1. Ensayos de laboratorio a realizarse para agregados.....	41
3.2.1.2. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico 85/100.....	42
3.2.1.3. Ensayo sobre la mezcla asfáltica (caliente).....	42
3.3. Selección de materiales.....	42
3.3.1. Criterios a utilizar.....	42
3.3.2. Materiales de aporte.....	43
3.3.2.1. Agregados pétreos empleados en la mezcla asfáltica.....	43

3.3.2.2. Cemento asfáltico empleado en la mezcla asfáltica.....	45
3.4. Ensayos de caracterización.....	46
3.4.1. Caracterización del agregado pétreo.....	46
3.4.1.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO 27, ASTM C-136)....	47
3.4.1.2. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D-2419).....	51
3.4.1.3. Desgaste de los Ángeles (ASTM C 131, AASHTO T-96).....	53
3.4.1.4. Peso específico del agregado grueso (ASTM D127, AASHTO T85).....	57
3.4.1.5. Peso específico del agregado fino (ASTM C128, AASHTO T84).....	59
3.4.1.6. Peso unitario de los agregados (ASTM C29, AASHTO T19).....	62
3.4.2. Caracterización del cemento asfáltico.....	64
3.4.2.1. Ensayo de viscosidad Saybolt – Furol (ASTM 102).....	65
3.4.2.2. Ensayo de ductilidad (ASTM D113, AASHTO T51).....	67
3.4.2.3. Ensayo de punto de inflamación (ASTM D 92, AASHTO T 48).....	69
3.4.2.4. Ensayo de peso específico (ASTM D-70).....	70
3.4.2.5. Ensayo de penetración (ASTM D-5, AASHTO T201).....	72
3.4.2.6. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D36-89, AASHTO T53-92)....	74
3.4.2.7. Ensayo de la película delgada (ASTM D 1754).....	75
3.4.3. Resultados de los ensayos de caracterización de los materiales.....	77
3.5. Ensayos aplicados en la investigación.....	78
3.5.1. Ensayos de elaboración de mezclas asfálticas.....	79
3.5.1.1. Diseños de mezcla asfáltica por el método Marshall.....	79
3.5.1.2. Franja granulométrica para mezclas asfálticas densas.....	80
3.5.1.3. Justificación de los porcentajes de filler aplicados a la investigación.....	80
3.5.1.4. Curvas granulométricas aplicada a la investigación por el método Marshall	81
3.5.1.5. Procedimiento y materiales para la realización de mezclas asfálticas.....	87
3.5.1.6. Dosificación con diferentes porcentajes de filler.....	88
3.5.1.7. Procedimiento para la fabricación de briquetas.....	91
3.5.2. Ensayos de control de resultados de las mezclas asfálticas.....	95
3.5.2.1. Determinación de la densidad, estabilidad y fluencia Marshall.....	95
3.5.2.2. Determinación del % óptimo de C.A. para cada contenido de filler.....	104
3.6. Ensayos de control del llenante mineral para comparación.....	110

3.6.1. Dosificación con óptimos de cemento asfáltico para cada % de filler.....	110
3.6.2. Resultados Marshall para diferentes tipos de filler.....	110

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1. Análisis de los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall.....	116
4.2. Determinación del contenido óptimo de filler.....	122
4.3. Determinación del contenido óptimo de C.A. para cada tipo de filler.....	124
4.4. Análisis técnico y económico de las mezclas asfálticas.....	125
4.4.1. Análisis técnico.....	125
4.4.2. Análisis económico.....	127
4.4.2.1. Rendimiento de los componentes de la mezcla con cemento Portland.....	128
4.4.2.2. Rendimiento de los componentes de la mezcla con cal hidratada.....	129
4.4.2.3. Rendimiento de los componentes de la mezcla con polvo de roca.....	130
4.4.2.4. Análisis de precios unitarios con cada tipo de filler.....	131
4.4.3. Análisis técnico – económico.....	134

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	135
5.2. Recomendaciones.....	136

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1. Planillas de caracterización de los agregados.

Anexo 2. Planillas de caracterización del cemento asfáltico.

Anexo 3. Planillas de diseño Marshall.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Operacionalización de la variable independiente.....	4
Tabla 1.2. Operacionalización de la variable dependiente.....	5
Tabla 2.1. Propiedades físicas de la mezcla asfáltica.....	12
Tabla 2.2. Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	13
Tabla 2.3. Clasificación de mezclas asfálticas.....	16
Tabla 2.4. Especificaciones de la prensa Marshall.....	24
Tabla 2.5. Propiedades físicas de la cal hidratada.....	27
Tabla 2.6. Principales compuestos del cemento Portland.....	32
Tabla 2.7. Descripción de ensayos para el método Marshall norma NLT-159/00.....	36
Tabla 3.1. Cantidad de ensayos de caracterización de los agregados pétreos.....	40
Tabla 3.2. Cantidad de ensayos de caracterización del cemento asfáltico.....	40
Tabla 3.3. Cantidad de briquetas realizado según el estudio.....	40
Tabla 3.4. Características del agregado.....	44
Tabla 3.5. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico.....	46
Tabla 3.6. Resultados de granulometría de la grava.....	48
Tabla 3.7. Resultados de granulometría de la gravilla.....	49
Tabla 3.8. Resultados de la granulometría de la arena.....	50
Tabla 3.9. Resultados del equivalente de arena.....	53
Tabla 3.10. Pesos de agregados y número de esferas según la gradación.....	56
Tabla 3.11. Resultados del ensayo de desgaste de los ángeles (grava $\frac{3}{4}$ ").....	56
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla $\frac{3}{4}$ ").....	56
Tabla 3.13. Resultados del ensayo de peso específico de la grava.....	59
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de peso específico de la gravilla.....	59
Tabla 3.15. Resultados del ensayo de peso específico de la arena.....	62
Tabla 3.16. Resultados del peso unitario suelto y compactado de la grava.....	64
Tabla 3.17. Resultados del peso unitario suelto y compactado de la gravilla.....	64
Tabla 3.18. Resultados del peso unitario suelto y compactado de la arena.....	64
Tabla 3.19. Resultados del ensayo de viscosidad Saybolt-Furol.....	67

Tabla 3.20. Resultados del ensayo de ductilidad.....	68
Tabla 3.21. Resultados del ensayo de punto de inflamación.....	69
Tabla 3.22. Resultados del ensayo de peso específico del asfalto.....	72
Tabla 3.23. Resultados del ensayo de penetración.....	73
Tabla 3.24. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento.....	75
Tabla 3.25. Resultados del ensayo de película delgada.....	77
Tabla 3.26. Resumen de resultados de los agregados pétreos.....	77
Tabla 3.27. Resumen de resultados del cemento asfáltico.....	78
Tabla 3.28. Franjas granulométricas para mezclas densas.....	80
Tabla 3.29. Distribución granulométrica para tamaño máximo de 1”.....	81
Tabla 3.30. Distribución granulométrica para 0% filler.....	82
Tabla 3.31. Distribución granulométrica para 2% filler.....	83
Tabla 3.32. Distribución granulométrica para 4% filler.....	84
Tabla 3.33. Distribución granulométrica para 6% filler.....	85
Tabla 3.34. Distribución granulométrica para 8% filler.....	86
Tabla 3.35. Dosificación para 0% filler.....	89
Tabla 3.36. Dosificación para 2% filler.....	89
Tabla 3.37. Dosificación para 4% filler.....	90
Tabla 3.38. Dosificación para 6% filler.....	90
Tabla 3.39. Dosificación para 8% filler.....	91
Tabla 3.40. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 0% filler.....	99
Tabla 3.41. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 0% filler.....	100
Tabla 3.42. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 2% filler.....	100
Tabla 3.43. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 2% filler.....	101
Tabla 3.44. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 4% filler.....	101
Tabla 3.45. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 4% filler.....	102
Tabla 3.46. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 6% filler.....	102
Tabla 3.47. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 6% filler.....	103
Tabla 3.48. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 6% filler.....	103
Tabla 3.49. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 6% filler.....	104

Tabla 3.50. Contenido óptimo de asfalto para 0% filler.....	105
Tabla 3.51. Contenido óptimo de asfalto para 2% filler.....	106
Tabla 3.52. Contenido óptimo de asfalto para 4% filler.....	107
Tabla 3.53. Contenido óptimo de asfalto para 6% filler.....	108
Tabla 3.54. Contenido óptimo de asfalto para 8% filler.....	109
Tabla 3.55. Dosificaciones para cada % de filler con su contenido óptimo de C.A...	110
Tabla 3.56. Densidad y vacíos para el 0% de filler y su óptimo de C.A.....	111
Tabla 3.57. Estabilidad y fluencia para el 0% de filler Y su óptimo de C.A.....	111
Tabla 3.58. Densidad y vacíos para 2% de diferentes filler y su óptimo de C.A.....	112
Tabla 3.59. Estabilidad y fluencia para 2% de diferentes filler y su óptimo de C.A..	112
Tabla 3.60. Densidad y vacíos para 4% de diferentes filler y su óptimo de C.A.....	113
Tabla 3.61. Estabilidad y fluencia para 4% de diferentes filler y su óptimo de C.A..	113
Tabla 3.62. Densidad y vacíos para 6% de diferentes filler y su óptimo de C.A.....	114
Tabla 3.63. Estabilidad y fluencia para 6% de diferentes filler y su óptimo de C.A..	114
Tabla 3.64. Densidad y vacíos para 8% de diferentes filler y su óptimo de C.A.....	115
Tabla 3.65. Estabilidad y fluencia para 8% de diferentes filler y su óptimo de C.A..	115
Tabla 4.1. Densidad de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	116
Tabla 4.2. Vacíos de la mezcla de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	117
Tabla 4.3. VAM de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	118
Tabla 4.4. RBV de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	119
Tabla 4.5. Estabilidad de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	120
Tabla 4.6. Fluencia de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	121
Tabla 4.7. Determinación del contenido óptimo de filler para el cemento Portland...	122
Tabla 4.8. Determinación del contenido óptimo de filler para la cal hidratada.....	123
Tabla 4.9. Determinación del contenido óptimo de filler para el polvo de roca.....	123
Tabla 4.10. Contenidos óptimos de asfalto para diferentes contenidos de filler.....	124
Tabla 4.11. Resumen de % óptimos de filler y C.A. para diferentes tipos de filler...	124
Tabla 4.12. Dosificaciones finales de mezclas asfálticas con diferentes filler.....	125
Tabla 4.13. Resultados finales de propiedades físicas Marshall.....	126
Tabla 4.14. Resultados finales de propiedades mecánicas Marshall.....	126

Tabla 4.15. Resumen de resultados finales de propiedades Marshall.....	127
Tabla 4.16. Análisis de precios unitarios de la mezcla con polvo de roca.....	131
Tabla 4.17. Análisis de precios unitarios de la mezcla con cal hidratada.....	132
Tabla 4.18. Análisis de precios unitarios de la mezcla con cemento Portland IP-30..	133
Tabla 4.19. Balance final de costos.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Aplicación de una mezcla en caliente.....	15
Figura 2.2. Aplicación de una mezcla en frío.....	15
Figura 2.3. Parámetros de diseño volumétrico.....	17
Figura 2.4. Diagrama de compactación de una mezcla asfáltica.....	20
Figura 2.5. Ensayo Marshall.....	22
Figura 2.6. Equipo prensa Marshall.....	23
Figura 2.7. Ligante cemento asfáltico.....	25
Figura 2.8. Llenante mineral polvo de roca.....	27
Figura 2.9. Llenante mineral cal hidratada.....	29
Figura 2.10. Llenante mineral cemento Portland IP-30.....	35
Figura 3.1. Ubicación de la planta de áridos.....	45
Figura 3.2. Planta de áridos.....	45
Figura 3.3. Cemento asfáltico 85/100.....	46
Figura 3.4. Peso del agregado y vaciado a los tamices.....	47
Figura 3.5. Tamizado de los agregados en el equipo ROP-TAP.....	47
Figura 3.6. Materiales para realizar el ensayo equivalente de arena.....	51
Figura 3.7. Defloculante para el ensayo equivalente de arena.....	52
Figura 3.8. Defloculante actuando en la separación del filler de la arena.....	52
Figura 3.9. Medición de la altura de la arena.....	52
Figura 3.10. Lavado y secado en el horno antes del desgaste de los Ángeles.....	54
Figura 3.11. Introduciendo la muestra y las cargas abrasivas.....	54
Figura 3.12. Agregado después del desgaste.....	54
Figura 3.13. Tamizado del agregado triturado en el tamiz N°12.....	55
Figura 3.14. Guardado del polvo de roca que pasa tamiz N°200, para filler.....	55
Figura 3.15. Ensayo de peso específico del agregado grueso.....	57
Figura 3.16. Material saturado y superficialmente seco.....	58
Figura 3.17. Determinación del peso sumergido.....	58
Figura 3.18. Muestra de arena saturada en agua por 24 horas.....	60
Figura 3.19. Determinación del peso superficialmente seco.....	60

Figura 3.20. Calibración del matraz.....	60
Figura 3.21. Peso superficialmente seco de cada muestra en un matraz.....	61
Figura 3.22. Pesaje del matraz + agua + muestra y secado por 24h.....	61
Figura 3.23. Secado de la muestra en el horno y peso seco.....	61
Figura 3.24. Compactado del agregado grueso en el molde de peso unitario.....	62
Figura 3.25. Enrasado de la muestra.....	63
Figura 3.26. Pesaje de la muestra + molde.....	63
Figura 3.27. Control de la temperatura a 135°C.....	66
Figura 3.28. Determinación del tiempo que tarda en llenar 60 ml.....	66
Figura 3.29. Moldes de ductilidad llenos con el cemento asfáltico.....	67
Figura 3.30. Moldes en baño María a 25°C.....	68
Figura 3.31. Momento del ensayo de ductilidad.....	68
Figura 3.32. Ensayo punto de inflamación.....	69
Figura 3.33. Pesaje de cada frasco para peso específico.....	70
Figura 3.34. Calibración de los frascos con agua destilada en baño María a 25°C...	71
Figura 3.35. Calibración del frasco más cemento asfáltico a 25°C.....	71
Figura 3.36. Peso del frasco + cemento asfáltico + agua.....	71
Figura 3.37. Cemento asfáltico en los moldes de penetración a 25°C en baño María	73
Figura 3.38. Realización del ensayo de penetración.....	73
Figura 3.39. Anillos con cemento en baño María invertido a 5°C.....	74
Figura 3.40. Ensayo puesto en calor con las esferas de acero.....	75
Figura 3.41. Pesaje de platillos para horno rotatorio de película delgada.....	76
Figura 3.42. Peso del cemento asfáltico + planillo antes de llevar al horno.....	76
Figura 3.43. Pesado del platillo + muestra después de 5 hr en el horno.....	77
Figura 3.44. Pesaje de los agregados para la elaboración de briquetas.....	91
Figura 3.45. Pesaje de los llenantes minerales.....	92
Figura 3.46. Preparación de las mezclas asfálticas.....	92
Figura 3.47. Mezclado de materiales y control de temperatura.....	93
Figura 3.48. Preparación del molde con la mezcla para su compactación.....	93
Figura 3.49. Compactado de la mezcla.....	94
Figura 3.50. Extracción de las briquetas de los moldes.....	94

Figura 3.51. Determinación de las dimensiones de la briqueta.....	95
Figura 3.52. Determinación del peso seco de la muestra.....	96
Figura 3.53. Determinación del peso saturado con superficie seca.....	96
Figura 3.54. Determinación del peso sumergido de las briquetas.....	96
Figura 3.55. Baño María a 60 °C, previo a la rotura de las briquetas.....	97
Figura 3.56. Briquetas con distintos porcentajes de asfalto para ser ensayadas.....	97
Figura 3.57. Rotura de briquetas en la prensa Marshall.....	98
Figura 3.58. Briquetas después de la rotura.....	98

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1. Resistencia del cemento IP-30 en diferentes edades.....	34
Gráfico 3.1. Curva granulométrica de la grava.....	48
Gráfico 3.2. Curva granulométrica de la gravilla.....	49
Gráfico 3.3. Curva granulométrica de la gravilla.....	50
Gráfico 3.4. Curva granulométrica para 0% filler.....	82
Gráfico 3.5. Curva granulométrica para 2% filler.....	83
Gráfico 3.6. Curva granulométrica para 4% filler.....	84
Gráfico 3.7. Curva granulométrica para 6% filler.....	85
Gráfico 3.8. Curva granulométrica para 8% filler.....	86
Gráfico 3.9. Curvas de diseño Marshall para 0% filler.....	105
Gráfico 3.10. Curvas de diseño Marshall para 2% filler.....	106
Gráfico 3.11. Curvas de diseño Marshall para 4% filler.....	107
Gráfico 3.12. Curvas de diseño Marshall para 6% filler.....	108
Gráfico 3.13. Curvas de diseño Marshall para 8% filler.....	109
Gráfico 4.1. Densidad de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	116
Gráfico 4.2. Vacíos de la mezcla de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	117
Gráfico 4.3. VAM de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	118
Gráfico 4.4. RBV de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	119
Gráfico 4.5. Estabilidad de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	120
Gráfico 4.6. Fluencia de diferentes tipos y porcentajes de filler.....	121
Gráfico 4.7. Contenidos de filler vs. contenidos óptimos de asfaltos.....	124