

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DE CENIZA ORGÁNICA
SUBPRODUCTO DE LADRILLERAS ARTESANALES COMO
FILLER EN LOS VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL DE LAS
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL
MÉTODO MARSHALL”**

Por:

ALEJANDRA NOGALES MARIACA

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 - 2024

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DE CENIZA ORGÁNICA
SUBPRODUCTO DE LADRILLERAS ARTESANALES COMO
FILLER EN LOS VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL DE LAS
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MEDIANTE EL
MÉTODO MARSHALL”**

POR:

ALEJANDRA NOGALES MARIACA

SEMESTRE II - 2024

TARIJA - BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez
DECANO a.i.
**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

M.Sc. Ing. Fernando E. Cortez Michel
VICEDECANO a.i.
**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

APROBADO POR EL TRIBUNAL:

M.Sc. Ing. Trinidad C. Baldiviezo Montalvo
Tribunal 1

M.Sc. Ing. Oscar M. Chávez Calla
Tribunal 2

M.Sc. Ing. Freddy R. Molina Aguirre
Tribunal 3

DEDICATORIA

A mis padres Femia Mariaca y Alberto Nogales que siempre me enseñaron que con perseverancia y esfuerzo se puede llegar muy lejos, a mis hermanos por su apoyo incondicional.

A mi pareja Luis Rodriguez y especialmente a mi hija Lucia por ser mi luz y motivación en mi vida.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación	2
1.3.1. Justificación académica	2
1.3.2. Justificación sobre la técnica - práctica	3
1.3.3. Justificación e importancia social	3
1.4. Planteamiento del problema	3
1.4.1. Situación problemática	3
1.4.2. Delimitación temporal	4
1.4.3. Delimitación del espacio	5
1.4.4. Formulación del problema	6
1.5. Objetivos	6
1.5.1. Objetivo general	6
1.5.2. Objetivos específicos	6
1.6. Hipótesis	7
1.6.1. Identificación de variables	7
1.7. Conceptualización y operacionalización de variables	7
1.8. Alcance y tipo de investigación	8

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página
2.1. Mezcla asfáltica.....	9
2.1.1. Clasificación de mezclas asfálticas.....	9
2.1.2. Mezcla asfáltica densa en caliente	10
2.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.....	10
2.2.1. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas	11
2.2.2. Durabilidad	11
2.2.3. Flexibilidad	11
2.2.4. Resistencia a la fatiga	11
2.2.5. Resistencia al fracturamiento por baja temperatura.....	12
2.2.6. Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad	12
2.2.7. Resistencia al deslizamiento	12
2.2.8. Trabajabilidad	12
2.3. Componentes de la mezcla asfáltica	12
2.3.1. Cemento asfáltico	12
2.3.2. Agregados pétreos	13
2.3.3. Ceniza orgánica	14
2.3.3.1. Origen y proceso de obtención de la ceniza orgánica.....	15
2.3.3.2. Propiedades físicas de la ceniza orgánica	16
2.4. Características y comportamiento de la mezcla.....	16
2.4.1. Densidad	17
2.4.2. Vacíos de aire	17
2.4.3. Vacíos en el agregado mineral.....	18
2.4.4. Contenido de asfalto efectivo	18

	Página
2.5. Tratamiento estadístico	20
2.5.1. Estadística descriptiva	20
2.5.2. Estadística inferencial	21
2.5.2.1. Tipos de pruebas: paramétricas y no paramétricas	22
2.5.2.2. Método de los intervalos de confianza.....	23
2.5.2.3. La hipótesis y su formulación de hipótesis.....	23
2.5.2.4. Distribución normal ($n \geq 30$).....	23
2.6. Caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica.....	25
2.6.1. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico	25
2.6.2. Ensayos de caracterización de los agregados pétreos.....	27
2.7. Diseño De Mezclas Asfálticas en caliente Método Marshall	28
2.7.1. Consideraciones generales.....	28
2.8. Método de diseño Marshall.....	28
2.8.1. Metodología.....	28
2.8.2. Especificaciones de la metodología.....	29
2.9. Parámetros volumétricos.....	30
2.9.1. Gravedad específica neta del agregado.....	30
2.9.2. Gravedad específica efectiva del agregado.....	30
2.9.3. Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.....	31
2.9.4. Absorción del asfalto	31
2.9.5. Contenido de asfalto efectivo	32
2.9.6. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).....	32
2.9.7. Porcentaje de vacíos de aire (Va)	33

	Página
2.9.8. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA).....	33
2.10. Pruebas a las mezclas asfálticas.....	33
2.10.1. Pruebas volumétricas	34
2.10.2. Pruebas mecánicas	34
2.11. Otros estudios relacionados con la presente investigación.....	34
2.12. Análisis del aporte teórico	36

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Selección de los componentes de la mezcla asfáltica	37
3.1.1. Selección de agregados pétreos	37
3.1.2. Selección del cemento asfáltico.....	38
3.1.3. Selección de ceniza orgánica como filler	38
3.2. Criterios de diseño metodológico	39
3.2.1. Unidad de muestra, población y muestra.....	39
3.2.2. Tamaño confiable de muestra.....	40
3.3. Caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica.....	42
3.3.1. Caracterización de los agregados pétreos	42
3.3.1.1. Análisis granulométrico de los agregados (AASHTO T 27 /ASTM C-136)....	42
3.3.1.2. Peso específico y de absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T 85/ASTM C-127).....	47
3.3.1.3. Peso específico y de absorción de agua en agregados finos (AASHTO T 84/ASTM C-128).....	50
3.3.1.4. Método para determinar el porcentaje de desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los ángeles (AASHTO T-96/ASTM C-131).....	52

3.3.1.5. Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T 19/ASTM C-29).....	55
3.3.1.6. Ensayo de equivalente de arena (ASTM D-2419)	57
3.3.2. Caracterización de la ceniza orgánica.....	59
3.3.2.1. Granulometría de ceniza orgánica (AASHTO T 27 /ASTM C-136).....	59
3.3.2.2. Ensayo de peso específico de la ceniza orgánica (AASHTO T-100/ASTM D-854)	60
3.3.2.3. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D-422)	62
3.3.3. Caracterización del cemento asfáltico	68
3.3.3.1. Ensayo de penetración (AASHTO T-49/ASTM D-5)	68
3.3.3.2. Ensayo de peso específico del asfalto (AASHTO T-43/ASTM D-70).....	69
3.3.3.3. Ensayo de punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (AASHTO T-79/ASTM D1310-01)	71
3.3.3.4. Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T-53//ASTM D-36)	72
3.3.3.5. Ensayo de ductilidad (AASHTO T-51/ASTM D-113).....	73
3.3.4. Resultados de la caracterización de materiales.....	74
3.4. Ensayos aplicados en la investigación	76
3.4.1. Diseño de la mezcla asfáltica por el método Marshall	76
3.4.2. Justificación de criterios en la investigación	77
3.4.3. Diseño Granulométrico.....	79
3.4.4. Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico.....	86
3.4.5. Número de briquetas a realizar	87
3.4.6. Dosificación de las mezclas asfálticas según el contenido de ceniza orgánica como filler por medio del método Marshall (ASTM D153)	87
3.4.6.1. Elaboración de briquetas de mezcla asfáltica con el método Marshall	90

	Página
3.4.6.2. Ensayo para determinar la densidad de la mezcla asfáltica	92
3.4.6.3. Determinación de vacíos en la mezcla asfáltica	94
3.4.6.4. Ensayo de estabilidad y fluencia Marshall.....	96
3.4.7. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 0% de ceniza orgánica.....	104
3.4.8. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 2% de ceniza orgánica.....	107
3.4.9. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 3% de ceniza orgánica.....	110
3.4.10. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 3,5% de ceniza orgánica	113
3.4.11. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 4% de ceniza orgánica	116
3.4.12. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico para una mezcla con 6% de ceniza orgánica	119
3.5. Análisis de los vacíos de agregado mineral (V.A.M.) según la variación de ceniza orgánica y el contenido de asfalto.....	123
3.6. Análisis de resultados con contenido óptimo de ceniza orgánica.....	125

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS OBSERVADOS

4.1. Tratamiento estadístico de los resultados	128
4.1.1. Datos estadísticos.....	128
4.2. Estadística descriptiva.....	129
4.3. Estadística inferencial	132
4.4. Prueba de hipótesis	133

	Página
4.5. Análisis de costos.....	136
4.5.1. Rendimiento de los componentes de una mezcla convencional (e = 5cm)	136
4.5.2. Rendimiento de los componentes de una mezcla asfáltica con 3% ceniza orgánica (e = 5cm).....	137
4.5.3. Análisis de resultados de costos de mezcla convencional y mezcla con ceniza orgánica.....	139

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	141
5.2. Recomendaciones	142
BIBLIOGRAFÍA	144

ANEXOS

Anexo 1. Solicitudes y respaldos

Anexo 2. Planillas de caracterización

Anexo 3. Planillas de diseño Marshall

Anexo 4. Análisis de costos

Anexo 5. Imágenes de la investigación

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Delimitación temporal	4
Tabla 1.2. Operacionalización de la variable independiente.....	7
Tabla 1.3. Operacionalización de la variable dependiente.....	7
Tabla 2.1. Clasificación de mezclas asfálticas	9
Tabla 2.2. Propiedades físicas de las cenizas orgánicas.....	16
Tabla 2.3. Porcentaje mínimo de VAM	20
Tabla 2.4. Estadísticos descriptivos y gráficos	21
Tabla 2.5. Valores de la población y de la muestra	22
Tabla 2.6. Tipo de pruebas	22
Tabla 2.7. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico	25
Tabla 2.8. Requisitos para cemento asfáltico clasificado por penetración	26
Tabla 2.9. Ensayos de caracterización de agregados	27
Tabla 2.10. Requisitos de caracterización de agregados.....	27
Tabla 2.11. Criterio de diseño de mezclas Marshall	29
Tabla 3.1. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico.....	38
Tabla 3.2. Nivel de confianza	40
Tabla 3.3. Estimación del número de ensayos para la investigación	41
Tabla 3.4. Planilla de ajuste de número de ensayos:.....	41
Tabla 3.5. Resultado de la granulometría promedio de la grava.....	44
Tabla 3.6. Resultado de la granulometría promedio de la gravilla	45
Tabla 3.7. Resultado de la granulometría promedio de la arena.....	46
Tabla 3.8. Peso específico y absorción del agregado grueso (Grava).....	49
Tabla 3.9. Peso específico y absorción del agregado grueso (Gravilla)	49

Tabla 3.10. Datos las muestras del agregado fino.....	52
Tabla 3.11. Resultados del peso específico y absorción del agregado fino (Arena).....	52
Tabla 3.12. Pesos de agregado y número de esferas según la gradación	53
Tabla 3.13. Datos para el desgaste de los ángeles (Grava)	54
Tabla 3.14. Resultados de desgaste de los ángeles (Grava).....	54
Tabla 3.15. Datos para el desgaste de los ángeles (Gravilla).....	54
Tabla 3.16. Resultados de desgaste de los ángeles (Gravilla).....	55
Tabla 3.17. Resultados del ensayo de peso unitario suelto (Grava)	56
Tabla 3.18. Resultados del ensayo de peso unitario compactado (Grava).....	56
Tabla 3.19. Resultados del ensayo de peso unitario suelto (Gravilla)	56
Tabla 3.20. Resultados del ensayo de peso unitario compactado (Gravilla)	57
Tabla 3.21. Resultados del ensayo de peso unitario suelto (Arena)	57
Tabla 3.22. Resultados del ensayo de peso unitario compactado (Arena).....	57
Tabla 3.23. Resultados del ensayo equivalente de arena	58
Tabla 3.24. Granulometría promedio de ceniza orgánica	59
Tabla 3.25. Datos de la calibración de frasco volumétrico	61
Tabla 3.26. Datos de ensayo de peso específico de la ceniza orgánica	62
Tabla 3.27. Corrección por temperatura	63
Tabla 3.28. Valores K para determinar “a” en función al peso específico y temperatura	64
Tabla 3.29. Valores de profundidad efectiva basado en hidrómetro 152 H.....	65
Tabla 3.30. Valores del factor de corrección para diferentes pesos específicos de partículas de suelo	66
Tabla 3.31. Granulométrica por hidrómetro de la ceniza orgánica.....	67
Tabla 3.32. Resultados de granulometría por hidrómetro de ceniza orgánica	68

Tabla 3.33. Datos y resultados de ensayo penetración.....	69
Tabla 3.34. Resultados de ensayo peso específico.....	71
Tabla 3.35. Resultados del ensayo punto de inflamación	71
Tabla 3.36. Resultados de ensayo punto de ablandamiento.....	73
Tabla 3.37. Resultados del ensayo de ductilidad	74
Tabla 3.38. Resumen de resultados de los agregados pétreos.....	75
Tabla 3.39. Resumen de resultados de la caracterización del cemento asfáltico	75
Tabla 3.40. Resumen de resultados de caracterización de la ceniza orgánica	76
Tabla 3.41. Graduaciones propuestas para la mezcla densa (ASTM D 3515).....	77
Tabla 3.42. Criterios de diseño de mezclas Marshall.....	78
Tabla 3.43. Graduación para tamaño máximo 1”	78
Tabla 3.44. Resumen de granulometría por peso	79
Tabla 3.45. Granulometría formada con 0% de filler	80
Tabla 3.46. Granulometría formada con 2% de filler	81
Tabla 3.47. Granulometría formada con 3% de filler	82
Tabla 3.48. Granulometría formada con 3,50% de filler	83
Tabla 3.49. Granulometría formada con 4% de filler	84
Tabla 3.50. Granulometría formada con 6% de filler	85
Tabla 3.51. Número total de briquetas	87
Tabla 3.52. Dosificación para 0% de ceniza orgánica	88
Tabla 3.53. Dosificación para 2% de ceniza orgánica	88
Tabla 3.54. Dosificación para 3% de ceniza orgánica	88
Tabla 3.55. Dosificación para 3,50% de ceniza orgánica	89
Tabla 3.56. Dosificación para 4% de ceniza orgánica	89

Tabla 3.57. Dosificación para 6% de ceniza orgánica	89
Tabla 3.58. Resultados de la densidad de la mezcla asfáltica con 0% de filler	94
Tabla 3.59. Resultados de porcentaje de vacíos, V.A.M. y R.B.V. de la mezcla asfáltica.	95
Tabla 3.60. Resultados de la estabilidad y fluencia de la mezcla con 0% de filler.....	98
Tabla 3.61. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 2% de ceniza orgánica.....	99
Tabla 3.62. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 2% de ceniza orgánica	99
Tabla 3.63. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 3% de ceniza orgánica....	100
Tabla 3.64. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 3% de ceniza orgánica....	100
Tabla 3.65. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 3,50% de ceniza orgánica	101
Tabla 3.66. Resultados de estabilidad y fluencia para 3,5% de ceniza orgánica	101
Tabla 3.67. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 4% de ceniza orgánica....	102
Tabla 3.68. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 4% de ceniza orgánica....	102
Tabla 3.69. Resultados de densidad y vacíos Marshall para 6% de ceniza orgánica....	103
Tabla 3.70. Resultados de estabilidad y fluencia Marshall para 6% de ceniza orgánica....	103
Tabla 3.71. Resultados de la mezcla con 0% de ceniza orgánica	104
Tabla 3.72. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 0% de ceniza orgánica	106
Tabla 3.73. Resultados de la mezcla con 2% de ceniza orgánica	107
Tabla 3.74. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 2% de ceniza orgánica	109
Tabla 3.75. Resultados de la mezcla con 3% de ceniza orgánica	110
Tabla 3.76. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 3% de ceniza orgánica	112
Tabla 3.77. Resultados de la mezcla con 3,5% de ceniza orgánica	113

Tabla 3.78. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 3,5% de ceniza orgánica	115
Tabla 3.79. Resultados de la mezcla con 4% de ceniza orgánica	116
Tabla 3.80. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 4% de ceniza orgánica	118
Tabla 3.81. Resultados de la mezcla con 6% de ceniza orgánica	119
Tabla 3.82. Porcentaje óptimo de C.A. de la mezcla con 6% de ceniza orgánica	121
Tabla 3.83. Resumen de resultados de parámetros Marshall de acuerdo al contenido óptimo de C.A. y la combinación de ceniza orgánica.....	122
Tabla 3.84. Resumen de los Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) respecto al % de asfalto y ceniza orgánica.....	124
Tabla 3.85. Contenido óptimo de ceniza orgánica y cemento asfáltico.....	125
Tabla 3.86. Dosificación para diseño final.....	126
Tabla 3.87. Resultados del diseño final con contenidos óptimos de ceniza orgánica y cemento asfáltico.....	126
Tabla 3.88. Validación de diseño final.....	127
Tabla 4.1. Datos para el tratamiento estadístico	128
Tabla 4.2. Organización de datos para el tratamiento estadístico	129
Tabla 4.3. Valores estadísticos descriptivos	130
Tabla 4.4. Distribución de frecuencias.....	130
Tabla 4.5. Dosificación del total de mezcla convencional por m ²	137
Tabla 4.6. Dosificación del agregado por m ²	137
Tabla 4.7. Rendimiento por m ² de carpeta asfáltica.....	137
Tabla 4.8. Dosificación del total de mezcla convencional por m ²	138
Tabla 4.9. Dosificación del agregado por m ²	138
Tabla 4.10. Rendimiento por m ² de carpeta asfáltica.....	138

Tabla 4.11. Resultado final de costos 139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Ceniza orgánica	14
Figura 2.2. Horno de ladrillera artesanal.....	15
Figura 2.3. Esquema de una mezcla asfáltica compactada	19
Figura 2.4. Alternativas de hipótesis para medias.....	24
Figura 2.5. Nivel de significancia	24
Figura 3.1. Ubicación de la Posta Municipal de Tarija.....	37
Figura 3.2. Ubicación de las zonas ladrilleras en el Municipio de Tarija.....	39
Figura 3.3. Granulometría de agregado grueso	43
Figura 3.4 Sumersión y secado de grava y gravilla	47
Figura 3.5. Ensayo de peso específico y absorción de la arena	50
Figura 3.6. Ensayo de desgaste de los ángeles de agregado grueso.....	53
Figura 3.7. Ensayo de peso unitario de agregados	55
Figura 3.8. Ensayo de equivalente de arena.....	59
Figura 3.9 Granulometría de ceniza orgánica	60
Figura 3.10. Ensayo calibración de frasco y peso específico de ceniza.....	61
Figura 3.12. Muestras para ensayo de penetración del asfalto.....	68
Figura 3.13. Ensayo peso específico del asfalto	70
Figura 3.14. Ensayo de punto de inflamación.....	72
Figura 3.15. Ensayo de punto de ablandamiento	73
Figura 3.16. Ensayo de ductilidad.....	74
Figura 3.17. Proceso de calentamiento de agregados con ceniza orgánica.....	91
Figura 3.18. Ensayo de compactación de briquetas	92
Figura 3.19. Peso de briqueta en estado seco.....	93

Figura 3.20. Medición y baño maría a 60°C de briquetas..... 96

Figura 3.21. Rotura de briquetas 97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1. Curva granulométrica del agregado grueso (Grava).....	44
Gráfico 3.2. Curva granulométrica del agregado grueso (Gravilla).....	45
Gráfico 3.3. Curva granulométrica del agregado fino (Arena).....	46
Gráfico 3.4. Curva granulométrica de ceniza orgánica.....	60
Gráfico 3.5. Curva de calibración del frasco volumétrico	61
Gráfico 3.6. Curva de distribución granulométrica.....	67
Gráfico 3.7. Curva granulométrica con 0% de filler.....	80
Gráfico 3.8. Curva granulométrica con 2% de filler.....	81
Gráfico 3.9. Curva granulométrica con 3% de filler.....	82
Gráfico 3.10. Curva granulométrica con 3,50% de filler.....	83
Gráfico 3.11. Curva granulométrica con 4% de filler.....	84
Gráfico 3.12. Curva granulométrica con 6% de filler.....	85
Gráfico 3.13. Curvas Densidad vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica.....	104
Gráfico 3.14. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica	105
Gráfico 3.15. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica	105
Gráfico 3.16. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica	105
Gráfico 3.17. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica	106
Gráfico 3.18. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 0% de ceniza orgánica.....	106
Gráfico 3.19. Curvas Densidad vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica.....	107
Gráfico 3.20. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica	108
Gráfico 3.21. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica	108
Gráfico 3.22. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica	108
Gráfico 3.23. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica	109

Gráfico 3.24. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 2% de ceniza orgánica.....	109
Gráfico 3.25. Curva Densidad vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica	110
Gráfico 3.26. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica	111
Gráfico 3.27. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica	111
Gráfico 3.28. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica	111
Gráfico 3.29. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica	112
Gráfico 3.30. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 3% de ceniza orgánica.....	112
Gráfico 3.31. Curva Densidad vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica	113
Gráfico 3.32. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica	114
Gráfico 3.33. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica	114
Gráfico 3.34. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica	114
Gráfico 3.35. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica .	115
Gráfico 3.36. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 3,5% de ceniza orgánica.....	115
Gráfico 3.37. Curva Densidad vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica	116
Gráfico 3.38. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica	117
Gráfico 3.39. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica	117
Gráfico 3.40. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica	117
Gráfico 3.41. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica	118
Gráfico 3.42. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 4% de ceniza orgánica.....	118
Gráfico 3.43. Curvas Densidad vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica.....	119
Gráfico 3.44. Curva Vacíos vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica	120
Gráfico 3.45. Curva V.A.M. vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica	120
Gráfico 3.46. Curva R.B.V. vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica	120
Gráfico 3.47. Curva Estabilidad vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica	121

Gráfico 3.48. Curva Fluencia vs % C.A. de la mezcla al 6% de ceniza orgánica.....	121
Gráfico 3.49. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) respecto a % óptimo de C.A. y adición de ceniza orgánica	122
Gráfico 3.50. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) respecto al % de asfalto y ceniza orgánica	124
Gráfico 4.1 Histograma y polígono de frecuencias.....	131
Gráfico 4.2 Polígono de frecuencias acumuladas	131
Gráfico 4.3. Alternativas de hipótesis	134
Gráfico 4.4. Región 2, con valores calculados.....	135
Gráfico 4.5. Análisis económico de la mezcla asfáltica.....	140