

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



**«ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES  
VOLUMÉTRICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN  
CALIENTE CON CARBÓN MINERAL»**

**Por:**

**RAUL FREDI GARCIA SULLCA**

**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 - 2021**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**«ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA EN LAS PROPIEDADES  
VOLUMÉTRICAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN  
CALIENTE CON CARBÓN MINERAL»**

**POR:**

**RAUL FREDI GARCIA SULLCA**

**SEMESTRE II – 2021**  
**TARIJA - BOLIVIA**

VºBº

---

M.Sc. Ing. José Aurelio Navia Ojeda  
**DECANO a. i.**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

---

M.Sc. Lic. Deysi B. Arancibi Márquez  
**VICEDECANA a. i.**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR EL TRIBUNAL:**

---

M.Sc. Ing. Trinidad C. Baldiviezo M.

**Tribunal 1**

---

M.Sc. Ing. Adolfo R. Molina López

**Tribunal 2**

---

Ing. José Ricardo Arce Avendaño

**Tribunal 3**

El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas, únicamente responsabilidad del autor.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y a toda mi familia por su paciencia y comprensión.

A los ingenieros que me facilitaron información y me guiaron en el proceso de la investigación y la realización del documento, a mis amistades que de una u otra manera me apoyaron y motivaron a seguir adelante.

## **PENSAMIENTO**

‘No es la especie más fuerte la que sobrevive, ni la más inteligente, sino la que responde mejor al cambio’.

*Charles Darwin*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por haberme dado unos excelentes padres, a quienes son la luz de mi camino, toda mi familia y a todas aquellas personas que al caminar me hicieron crecer como persona.

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3. SITUACIÓN PROBLÉMICA .....	2
1.3.1 Determinación del problema .....	2
1.4 OBJETIVOS .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	3
1.5.1. Hipótesis.....	3
1.5.2. Identificación de las Variables .....	3
1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	4
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	4
1.7.1. Unidad de estudio.....	4
1.7.2. Población.....	4
1.7.3 Muestra.....	5
1.7.4. Tamaño de la muestra .....	5
1.8. LIMITACIONES .....	5
1.9. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	5
1.8.1. Listado de actividades a realizar .....	5
1.9.2 Productos esperados en correspondencia con el procedimiento .....	7
1.9.3 Resultados esperados.....	7

1.9.4 Análisis de resultados.....	7
1.9.5. Esquema de actividades en función al procedimiento definido .....	8
1.10. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN .....	9

## **CAPÍTULO II**

### **CARBÓN MINERAL COMO FILLER EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS**

	Página
2.1. INTRODUCCIÓN .....	11
2.2. TIPO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	11
2.2.1. Diseño de mezclas asfálticas .....	12
2.2.2. Mezclas densas o cerradas .....	12
2.2.3. Especificaciones de la metodología .....	12
2.3. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	13
2.4. CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA.....	15
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA (ANALIZANDO EL MÉTODO MARSHALL) .....	15
2.5.1 Densidad.....	15
2.5.2 Vacíos de aire.....	16
2.5.3 Vacíos en el agregado mineral (VAM) .....	17
2.5.4 Contenido de asfalto.....	17
2.5.5. Vacíos llenos de asfalto o relación betún vacíos (R.B.V.).....	19
2.6. COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	19
2.6.1. Cemento asfáltico.....	19
2.7. AGREGADOS .....	22
2.7.1. Clasificación de los agregados .....	22
2.7.2. Clasificación según su procedencia .....	22
2.8. ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS .....	24

2.8.1 Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99) .....	24
2.8.2. Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85, AASHTO T84) .....	24
2.8.3. Equivalente de arena (ASTM D 2419 AASHTO T176-00).....	24
2.8.4. Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).....	25
2.8.5. Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 AASHTO T104-99).....	25
2.8.6. Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821).....	25
2.9. ESPECIFICACIONES QUE DEBEN CUMPLIR LOS AGREGADOS .....	25
2.9.1. Agregado grueso .....	25
2.9.2. Agregado fino.....	26
2.10. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL .....	27
2.10.1 Metodología .....	27
2.10.2 Propósito de la metodología.....	28
2.10.3 Descripción general.....	28
2.10.4. Especificaciones de la metodología .....	30
2.10.5 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada.....	33
2.11. CARBÓN MINERAL.....	35

### **CAPÍTULO III**

#### **DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

	Página
3.1 INTRODUCCIÓN .....	38
3.2 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA .....	38
3.2.1 Selección de agregados pétreos.....	38
3.2.2 Selección del cemento asfáltico .....	38
3.2.3 Selección del carbón mineral como filler.....	39

3.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	40
3.3.1	Caracterización de los agregados pétreos.....	40
3.3.2	Caracterización del carbón mineral.....	53
3.3.3	Caracterización del cemento asfáltico.....	56
3.4	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	60
3.4.1	Resultados previos de la caracterización.....	60
3.4.2	Metodología de diseño .....	62
3.4.3	Diseño granulométrico .....	64
3.4.4	Número de ensayos a realizar.....	71
3.4.5	Contenido mínimo de cemento asfáltico.....	71
3.4.6	Dosificación de las mezclas según el contenido de carbón mineral con el método Marshall (ASTM D-159).....	72
3.4.7	Elaboración de briquetas – método Marshall.....	74
3.5	DESARROLLO DEL ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA.....	76
3.6	PROCESO DE CÁLCULO DE PROPIEDADES MECÁNICAS MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	78
3.6.1	Altura de las briquetas.....	78
3.6.2	Base de mezcla y agregado .....	79
3.6.3	Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S.) .....	79
3.6.4	Peso de la briqueta en el aire.....	79
3.6.5	Peso de la briqueta sumergida en el agua.....	79
3.6.6	Volumen de la briqueta .....	80
3.6.7	Densidad de la briqueta.....	80
3.6.8	Porcentaje de vacíos .....	81
3.6.9	Estabilidad y fluencia.....	82

3.7 ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON PORCENTAJES ÓPTIMOS DE CEMENTO ASFÁLTICO SEGÚN CONTENIDO DE CARBÓN MINERAL.....	84
3.7.1. Resultados de la mezcla con 0% carbón mineral .....	84
3.7.2 Resultados de la mezcla con 1% carbón mineral .....	87
3.7.3. Resultados de la mezcla con 2% carbón mineral .....	90
3.7.4 Resultados de la mezcla con 3% carbón mineral .....	93
3.7.5. Resultados de la mezcla con 4% carbón mineral .....	96
3.7.6. Resultados de la mezcla con 5% carbón mineral .....	99
3.8 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS MARSHALL SEGÚN CONTENIDO DE ASFALTO PARA CADA VARIACIÓN DE CARBÓN MINERAL .....	105
3.9 RESULTADOS DE PROPIEDADES MARSHALL DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	105
3.9.1 Análisis de la densidad.....	105
3.9.2 Análisis de los vacíos de la mezcla .....	107
3.9.3 Análisis de los vacíos del agregado mineral (V.A.M.) .....	110
3.9.4 Análisis de la relación betún vacíos (R.B.V.) .....	112
3.10. ANÁLISIS PARA DETERMINAR EL CONTENIDO ÓPTIMO DE CARBÓN MINERAL Y CEMENTO ASFÁLTICO .....	114
3.11 ANÁLISIS DE RESULTADOS CON CONTENIDO ÓPTIMO DE CARBÓN MINERAL .....	114
3.12. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO .....	118
3.12.1 Datos estadísticos .....	118
3.12.2 Estadística descriptiva.....	119
3.12.3. Estadística inferencial .....	122
3.13 ANÁLISIS DE COSTOS.....	124

3.13.1 Dosificación para la mezcla asfáltica.....	124
---	-----

## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página
4.1. CONCLUSIONES .....	129
4.2 RECOMENDACIONES .....	130

#### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXOS**

Anexo 1. Solicitudes y respaldos

Anexo 1.1. Adquisición de agregados

Anexo 1.2. Adquisición del cemento asfáltico

Anexo 1.3. Ficha técnica del carbón mineral

Anexo 2. Planillas de caracterización

Anexo 2.1. Planillas de caracterización de los agregados

Anexo 2.2. Planillas de caracterización del cemento asfáltico

Anexo 2.3. Planillas de ensayos realizados al carbón mineral

Anexo 3. Planillas de diseño método Marshall

Anexo 3.1. Diseños granulométricos

Anexo 3.2. Dosificaciones

Anexo 3.3. Planillas Marshall para determinar óptimos

Anexo 3.4. Planillas Marshall con valores óptimos para validación de resultados.

Anexo 4. Planillas de precios unitarios

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. 1. Operacionalización de la variable independiente.....	4
Tabla 1. 2. Operacionalización de las variables dependientes.....	4
Tabla 2. 1. Criterios de diseño de mezclas Marshall.....	13
Tabla 2. 2. Causas y efectos de una poca durabilidad.....	14
Tabla 2. 3. Causas y efectos de problemas en trabajabilidad.....	15
Tabla 2. 4. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración .....	21
Tabla 2. 5. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	24
Tabla 2. 6. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso. ....	25
Tabla 2. 7. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino. ....	26
Tabla 2. 8. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29. ....	26
Tabla 2. 9. Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall .	31
Tabla 2. 10. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo .....	32
Tabla 2. 11. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459) .....	32
Tabla 2. 12. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA). ....	33
Tabla 3. 1. Especificaciones técnicas del cemento asfáltico. ....	39
Tabla 3. 2. Especificaciones técnicas del carbón mineral. ....	40
Tabla 3. 3. Tabla granulométrica promedio de la grava.....	42
Tabla 3. 4. Tabla granulométrica promedio de la gravilla. ....	43
Tabla 3. 5. Tabla granulométrica promedio de la arena.....	44
Tabla 3. 6. Desgaste de los ángeles para la grava. ....	45
Tabla 3. 7. Desgaste de los ángeles para la gravilla.....	46
Tabla 3. 8. Resultados de peso específico de la grava. ....	47
Tabla 3. 9. Resultados de peso específico de la gravilla.....	47

Tabla 3. 10. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.....	48
Tabla 3. 11. Resultados del ensayo de peso unitario suelto de la grava. ....	49
Tabla 3. 12. Resultados del ensayo de peso unitario compactado de la grava.....	50
Tabla 3. 13. Resultados del ensayo de peso unitario suelto de la gravilla. ....	50
Tabla 3. 14. Resultados del ensayo de peso unitario compactado de la gravilla. ....	50
Tabla 3. 15. Resultados del ensayo de peso unitario suelto de la arena.....	51
Tabla 3. 16. Resultados del ensayo de peso unitario compactado de la arena.....	51
Tabla 3. 17. Resultados del ensayo equivalente de arena. ....	52
Tabla 3. 18. Datos de la calibración de frasco volumétrico. ....	53
Tabla 3. 19. Datos de ensayo de peso específico del carbón mineral. ....	54
Tabla 3. 20. Tabla granulométrica de hidrómetro del carbón mineral.....	55
Tabla 3. 21. Resultados granulométricos del carbón mineral. ....	56
Tabla 3. 22. Resultados del Ensayo Penetración del Cemento Asfáltico 85-100. ....	57
Tabla 3. 23. Resultados del ensayo punto de inflamación. ....	58
Tabla 3. 24. Resultados del ensayo peso específico. ....	59
Tabla 3. 25. Resultados del ensayo punto de ablandamiento.....	60
Tabla 3. 26. Datos del ensayo de ductilidad. ....	60
Tabla 3. 27. Resultados de la caracterización de los agregados pétreos. ....	61
Tabla 3. 28. Resultados de la caracterización del carbón mineral. ....	61
Tabla 3. 29. Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico. ....	62
Tabla 3. 30. Clasificación de Vehículos por tipo de ejes Administradora Boliviana de carreteras.....	62
Tabla 3. 31. Clasificación de Vehículos.....	63
Tabla 3. 32. Criterios de diseño de mezclas Marshall.....	63

Tabla 3. 33. Pesos retenidos por cada tipo de agregado, para diseñar las granulometrías Marshall.....	64
Tabla 3. 34. Granulometría formada con 0% carbón mineral.....	65
Tabla 3. 35. Granulometría formada con 1% carbón mineral.....	66
Tabla 3. 36. Granulometría formada con 2% carbón mineral.....	67
Tabla 3. 37. Granulometría formada con 3% carbón mineral.....	68
Tabla 3. 38. Granulometría formada con 4% carbón mineral.....	69
Tabla 3. 39. Granulometría formada con 5% carbón mineral.....	70
Tabla 3. 40. Total N° de briquetas elaboradas para la investigación. ....	71
Tabla 3. 41. Dosificación para 0% de carbón mineral. ....	72
Tabla 3. 42. Dosificación para 1% de carbón mineral. ....	73
Tabla 3. 43. Dosificación para 2% de carbón mineral. ....	73
Tabla 3. 44. Dosificación para 3% de carbón mineral. ....	73
Tabla 3. 45. Dosificación para 4% de carbón mineral. ....	74
Tabla 3. 46. Dosificación para 5% de carbón mineral. ....	74
Tabla 3. 47. Alturas medidas de cada briqueta. ....	78
Tabla 3. 48. Peso briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S).....	79
Tabla 3. 49. Peso al aire de las briquetas. ....	79
Tabla 3. 50. Peso briqueta sumergida en agua. ....	80
Tabla 3. 51. Datos del ensayo de estabilidad .....	82
Tabla 3. 52. Alturas promedio y factor de corrección por altura. ....	83
Tabla 3. 53. Estabilidad corregida.....	83
Tabla 3. 54. Resultados de fluencia. ....	83
Tabla 3. 55. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 0% carbón mineral. ....	84
Tabla 3. 56. Resultado de % óptimo de C.A. la mezcla con 0% carbón mineral. ....	87

Tabla 3. 57. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 1% carbón mineral.	87
Tabla 3. 58. Resultado de % óptimo de C.A. la mezcla con 1% carbón mineral. ....	90
Tabla 3. 59. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 2% carbón mineral.....	90
Tabla 3. 60. Resultado de % óptimo de C.A. de la mezcla con 2% carbón mineral. ....	93
Tabla 3. 61. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 3% carbón mineral. ....	93
Tabla 3. 62. Resultado de % óptimo de C.A. de la mezcla con 3% carbón mineral. ....	96
Tabla 3. 63. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 4% carbón mineral.....	96
Tabla 3. 64. Resultado de % óptimo de C.A. de la mezcla con 4% carbón mineral.....	99
Tabla 3. 65. Resultados de propiedades Marshall de la mezcla con 5% carbón mineral. ....	99
Tabla 3. 66. Resultado de % óptimo de C.A. de la mezcla con 5% carbón mineral.....	102
Tabla 3. 67. Dosificación con % óptimo de C.A. para cada variación de carbón mineral. ....	102
Tabla 3. 68. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 0% carbón mineral. ....	103
Tabla 3. 69. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 1% carbón mineral. ....	103
Tabla 3. 70. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 2% carbón mineral. ....	103
Tabla 3. 71. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 3% carbón mineral. ....	103
Tabla 3. 72. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 4% carbón mineral. ....	104
Tabla 3. 73. Resultados de propiedades Marshall con contenido óptimo de la mezcla con 5% carbón mineral. ....	104
Tabla 3. 74. Tabla resumen de propiedades Marshall con su contenido óptimo de C.A. para cada variación de carbón mineral. ....	104
Tabla 3. 75. Resumen de densidades para cada porcentaje de C.A. y carbón mineral .....	105

Tabla 3. 76. Resumen de vacíos de la mezcla para cada % de C.A. y carbón mineral.....	108
Tabla 3. 77. Resumen de vacíos del agregado mineral para cada % de C.A. y carbón mineral.....	110
Tabla 3. 78. Resumen de la relación betún vacíos para cada % de C.A. y carbón mineral.....	112
Tabla 3. 79. Contenido óptimo de carbón mineral y cemento asfáltico.....	114
Tabla 3. 80. Ponderación granulométrica final. ....	115
Tabla 3. 81. Dosificación final.....	115
Tabla 3. 82. Resultados finales de briquetas con contenidos óptimos de carbón mineral y cemento asfáltico.....	117
Tabla 3. 83. Tabla de validación de resultados finales .....	118
Tabla 3. 84. Datos para tratamiento estadístico. ....	119
Tabla 3. 85. Datos ordenados para tratamiento estadístico.....	119
Tabla 3. 86. Valores de estadística descriptiva .....	120
Tabla 3. 87. Marca de clase y frecuencias de datos .....	120
Tabla 3. 88. Cálculo de error.....	122
Tabla 3. 89. Datos para el método Smirnov Kolmogorov .....	123
Tabla 3. 90. Dosificación: Mezcla asfáltica con filler convencional .....	125
Tabla 3. 91. Dosificación de la mezcla asfáltica convencional para un metro cubico .....	125
Tabla 3. 92. Rendimiento final por m <sup>3</sup> de carpeta asfáltica .....	125
Tabla 3. 93. Dosificación: Mezcla con filler carbón mineral.....	126
Tabla 3. 94. Dosificación de la mezcla asfáltica con carbón mineral para un metro cubico.....	126
Tabla 3. 95. Rendimiento final por m <sup>3</sup> de carpeta asfáltica .....	127
Tabla 3. 96. Resultado final de costos. ....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. 1. Esquema de actividades en función al procedimiento definido.....	8
Figura 2. 1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica .....	18
Figura 2. 2. Tipos de carbón mineral .....	36
Figura 2. 3. Usos de carbón mineral .....	37
Figura 3. 1. Pesado de los materiales. ....	75
Figura 3. 2. Elaboración de las briquetas. ....	76
Figura 3. 3. Proceso de compactación de las briquetas.....	76
Figura 3. 4. Medición de las alturas de la briqueta. ....	77
Figura 3. 5. Briqueta sumergida en agua.....	77
Figura 3. 6. Compactando de briquetas con óptimos finales. ....	116
Figura 3. 7. Briquetas compactadas con óptimos finales. ....	116

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3. 1. Curva granulométrica promedio de la grava.....	42
Gráfico 3. 2. Curva granulométrica promedio de la gravilla. ....	43
Gráfico 3. 3. Curva granulométrica promedio de la arena.....	44
Gráfico 3. 4. Curva de calibración del frasco volumétrico. ....	54
Gráfico 3. 5. Distribución granulométrica del carbón mineral. ....	56
Gráfico 3. 6. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 0% carbón mineral.....	65
Gráfico 3. 7. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 1% carbón mineral. ....	66
Gráfico 3. 8. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 2% carbón mineral. ....	67
Gráfico 3. 9. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 3% carbón mineral. ....	68
Gráfico 3. 10. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 4% carbón mineral.....	69
Gráfico 3. 11. Curva granulométrica formada diseño Marshall con 5% carbón mineral.....	70
Gráfico 3. 12. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 0% carbón mineral.....	85
Gráfico 3. 13. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 0% carbón mineral .....	85
Gráfico 3. 14. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 0% carbón mineral .....	85
Gráfico 3. 15. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 0% carbón mineral .....	86
Gráfico 3. 16. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 0% carbón mineral.....	86
Gráfico 3. 17. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 0% carbón mineral.....	86
Gráfico 3. 18. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 1% carbón mineral.....	88
Gráfico 3. 19. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 1% carbón mineral .....	88
Gráfico 3. 20. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 1% carbón mineral .....	88
Gráfico 3. 21. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 1% carbón mineral .....	89
Gráfico 3. 22. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 1% carbón mineral.....	89
Gráfico 3. 23. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 1% carbón mineral.....	89

Gráfico 3. 24. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 2% carbón mineral.....	91
Gráfico 3. 25. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 2% carbón mineral .....	91
Gráfico 3. 26. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 2% carbón mineral .....	91
Gráfico 3. 27. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 2% carbón mineral .....	92
Gráfico 3. 28. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 2% carbón mineral.....	92
Gráfico 3. 29. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 2% carbón mineral .....	92
Gráfico 3. 30. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 3% carbón mineral.....	94
Gráfico 3. 31. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 3% carbón mineral .....	94
Gráfico 3. 32. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 3% carbón mineral .....	94
Gráfico 3. 33. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 3% carbón mineral .....	95
Gráfico 3. 34. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 3% carbón mineral.....	95
Gráfico 3. 35. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 3% carbón mineral .....	95
Gráfico 3. 36. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 4% carbón mineral.....	97
Gráfico 3. 37. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 4% carbón mineral .....	97
Gráfico 3. 38. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 4% carbón mineral .....	97
Gráfico 3. 39. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 4% carbón mineral .....	98
Gráfico 3. 40. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 4% carbón mineral.....	98
Gráfico 3. 41. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 4% carbón mineral .....	98
Gráfico 3. 42. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla al 5% carbón mineral.....	100
Gráfico 3. 43. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla al 5% carbón mineral .....	100
Gráfico 3. 44. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla al 5% carbón mineral .....	100
Gráfico 3. 45. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla al 5% carbón mineral .....	101
Gráfico 3. 46. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla al 5% carbón mineral.....	101
Gráfico 3. 47. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla al 5% carbón mineral .....	101
Gráfico 3. 48. Densidades para cada porcentaje de C.A. y carbón mineral.....	106

Gráfico 3. 49. Densidades y % óptimos de C.A. de cada variación de carbón mineral. ....	107
Gráfico 3.50. Vacíos de la mezcla para cada % de C.A. y carbón mineral. ....	108
Gráfico 3.51. Vacíos de la mezcla y % óptimos de C.A. de cada variación de carbón mineral.....	109
Gráfico 3.52. Vacíos del agregado mineral V.A.M. para cada % de C.A. y carbón mineral.....	110
Gráfico 3.53. Vacíos del agregado mineral y % óptimos de C.A. de cada variación de carbón mineral .....	111
Gráfico 3.54. Relación betún vacíos R.B.V. para cada % de C.A. y carbón mineral. ..	112
Gráfico 3. 55. Relación betún vacíos y % óptimos de C.A. de cada variación de carbón mineral.....	113
Gráfico 3.56. Histograma y polígono de frecuencias.....	121
Gráfico 3.57. Histograma y curva de frecuencias acumuladas .....	121
Gráfico 3.58. Tabla de valores de $\alpha$ en función del nivel de significancia y del tamaño de la muestra.....	123
Gráfico 3.59. Análisis económico de la mezcla asfáltica.....	128