

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



**ANÁLISIS SOBRE EL EFECTO DE ADICIÓN DE POLVO DE
ACERO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS**

Por:

ROCIO MARICELA MONTERO RODRÍGUEZ

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

SEMESTRE I -2018

TARIJA - BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez

**DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
**Ing. Elisa C. Torres Gorena
(TRIBUNAL 1)**

.....
**Ing. Ariel Aguirre Urquiza
(TRIBUNAL 2)**

.....
**Ing. Luis Alberto Yurquina
(TRIBUNAL 3)**

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del (la) autor (a).

Dedicatoria:

A mis amados padres, Marcelo Montero y Viviana Rodríguez, por haber dedicado su vida a cuidarme a mí y a mis queridas hermanas; Yasmín y Yessica, en la ardua labor de ser padres, además de maestros y amigos. Gracias por su gran amor, paciencia y entrega que demostraron cada uno de los días que gozo hasta hoy de su inefable compañía. Guardaré siempre conmigo sus enseñanzas y el ánimo con que supieron sacarme adelante. Les quiero con todo mi corazón.

Agradecimiento:

A mi Padre Celestial, Creador del Universo, porque con amor eterno me ha amado y me atrajo con bondad hacia sus brazos de misericordia. Gracias por tus ricas bendiciones Señor, todos los días de mi existencia.

Pensamiento:

“Pedid, y os darán; buscad y hallaréis; llamad, y os abrirán. Porque todo el que pide, recibe; el que busca, halla; y al que llama, le abren.”

Jesucristo

ÍNDICE

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

Página

CAPÍTULO I. GENERALIDADES

| | |
|---|---|
| 1. Introducción..... | 1 |
| 1.1. Generalidades | 1 |
| 1.2. Justificación..... | 2 |
| 1.3. Diseño teórico..... | 3 |
| 1.3.1. Planteamiento del problema | 3 |
| 1.3.1.1. Situación Problémica..... | 3 |
| 1.3.1.2. Problema..... | 3 |
| 1.3.2. Objetivos de la investigación..... | 4 |
| 1.3.2.1. Objetivo general | 4 |
| 1.3.2.2. Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.3.3. Hipótesis | 4 |
| 1.3.4. Definición de variables | 4 |
| 1.3.4.1. Variable independiente | 4 |
| 1.3.4.2. Variables constantes | 4 |
| 1.3.4.3. Variables dependientes | 5 |
| 1.3.5. Definición conceptual..... | 5 |
| 1.3.6. Definición operacional | 6 |
| 1.4. Diseño metodológico..... | 6 |
| 1.4.1. Componentes | 6 |
| 1.4.1.1. Unidades de estudio..... | 6 |
| 1.4.1.1.1. Población | 7 |
| 1.4.1.1.2. Muestra | 7 |
| 1.4.1.1.3. Muestreo | 8 |

| | |
|---|----|
| 1.4.2. Métodos y técnicas empleadas | 8 |
| 1.4.2.1. Definición del método empleado..... | 8 |
| 1.4.2.2. Técnicas de muestreo..... | 9 |
| 1.4.2.3. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos | 9 |
| 1.4.2.4. Procedimientos de aplicación | 9 |
| 1.4.2.4.1. Criterio de porcentaje de polvo de acero:..... | 9 |
| 1.4.2.5. Modo de aplicación | 10 |
| 1.4.2.5. Mezcla asfáltica para determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico..... | 12 |
| 1.4.2.6. Mezclas asfálticas convencionales | 13 |
| 1.4.2.7. Ensayo Marshall | 13 |
| 1.4.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información..... | 14 |

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

| | |
|---|----|
| 2.1. Asfalto | 18 |
| 2.2. Cemento asfáltico | 19 |
| 2.3. Refinación del asfalto | 20 |
| 2.4. Avances del cemento asfáltico | 21 |
| 2.5. Caracterización de los materiales asfálticos | 22 |
| 2.6. Adhesividad a los áridos..... | 23 |
| 2.7. Reología del asfalto | 23 |
| 2.8. Mezclas asfálticas | 23 |
| 2.9. Tipos de mezclas asfálticas..... | 24 |
| 2.10. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas | 25 |
| 2.11. Diseño de una mezcla asfáltica..... | 25 |
| 2.12. Mezclas asfálticas en caliente..... | 26 |
| 2.13. Materiales pétreos que se emplean en las capas de pavimento | 26 |
| 2.14. El cemento asfáltico..... | 26 |
| 2.15. El clima..... | 26 |
| 2.16. Marco normativo | 27 |
| 2.17. Marco conceptual | 30 |
| 2.18. Propiedad..... | 33 |

CAPÍTULO III. RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

| | |
|---|----|
| 3.1. Criterios | 35 |
| 3.2. Ensayo en los agregados..... | 39 |
| 3.3. Ensayos del ligante asfáltico..... | 55 |
| 3.4. Resumen de resultados..... | 61 |

CAPÍTULO IV. INGENIERÍA DEL PROYECTO

| | |
|--|-----|
| 4.2. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico CA | 69 |
| 4.3. Ensayo de estabilidad y fluencia | 77 |
| 4.4. Procedimiento para corrección de estabilidad y fluencia | 79 |
| 4.4.2. Resultados de ensayo Marshall para obtención de % óptimo de CA. | 89 |
| 4.5. Elaboración de briquetas | 93 |
| 4.6. Análisis de resultados de estabilidad obtenidos, especímenes 16-45..... | 127 |
| 4.7. Análisis resultados de fluencia obtenidos, especímenes 16-45 | 134 |
| 4.8. Análisis de resultados | 141 |
| 4.8.1. Estabilidad | 141 |
| 4.8.2. Fluencia | 142 |
| 4.8.3. Estabilidad y fluencia | 143 |

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | |
|---------------------------|-----|
| 5.1. Conclusiones..... | 146 |
| 5.2. Recomendaciones..... | 148 |

Bibliografía

- Anexo I. Caracterización del material pétreo
- Anexo II. Ensayo Marshall para la obtención de porcentaje óptimo de cemento asfáltico
- Anexo III. Ensayos Marshall de la mezcla asfáltica modificada

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Operacionalización de las variables | 6 |
| Tabla 2. Variaciones del porcentaje de C.A. | 13 |
| Tabla 3. Número de briquetas por porcentaje de adición de polvo de acero..... | 13 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4. Interpretación del coeficiente de variación (CV) | 17 |
| Tabla 5. Grado en que la media representa la serie | 17 |
| Tabla 4. Resumen de ensayos, caracterización de agregados..... | 37 |
| Tabla 5. Resumen de ensayos, caracterización de cemento asfáltico..... | 37 |
| Tabla 6. Resumen de variación de porcentajes de CA para obtención del porcentaje óptimo | 38 |
| Tabla 7. Lecturas en ensayo caras fracturadas. Gravilla de 3/8" | 40 |
| Tabla 8. Resultado ensayo de caras fracturadas. Gravilla de 3/8" | 40 |
| Tabla 9. Ensayo de laminaridad, gravilla 3/8" | 41 |
| Tabla 10. Ensayo de determinación de partículas chatas y alargadas, grava 3/8" | 41 |
| Tabla 11. Resumen, ensayo de % de caras fracturas. Grava 3/4" | 41 |
| Tabla 12. Ensayo de laminaridad, grava 3/4" | 42 |
| Tabla 13. Ensayo de determinación de partículas chatas y alargadas, grava 3/4" | 42 |
| Tabla 14. Lecturas realizadas, ensayo equivalente de arena | 44 |
| Tabla 15. Resultados ensayo equivalente de arena..... | 45 |
| Tabla 16. Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm)..... | 46 |
| Tabla 17. Datos iniciales para ensayo de desgaste de Los Ángeles | 47 |
| Tabla 18. Datos obtenidos en ensayo de desgaste de máquina de Los Ángeles..... | 47 |
| Tabla 19. Datos obtenidos en ensayo de peso específico del agregado fino | 49 |
| Tabla 20. Promedios de ensayos de peso específico del agregado fino | 49 |
| Tabla 21. Resumen de resultados de ensayo, peso específico del agregado fino..... | 50 |
| Tabla 22. Datos obtenidos en la práctica de peso específico del agregado grueso | 50 |
| Tabla 23. Resultados obtenidos, ensayo de peso específico de agregado grueso | 52 |
| Tabla 24. Especificaciones técnicas, cemento asfáltico convencional 85/100 BETUNEL, origen Brasil | 54 |
| Tabla 25. Datos obtenidos en ensayo de penetración..... | 56 |
| Tabla 26. Resultados obtenido en ensayo de penetración | 56 |
| Tabla 27. Datos obtenidos en el ensayo de ductilidad..... | 57 |
| Tabla 28. Datos del ensayo de punto de inflamación..... | 58 |
| Tabla 29. Resultado de ensayo de punto de inflamación | 59 |
| Tabla 30. Datos del ensayo de peso específico | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 31. Resultados y comparaciones de Cemento Asfáltico con norma ASTM. | 62 |
| Tabla 32. Resultados preliminares, primera granulometría. Arena | 63 |
| Tabla 33. Resultados preliminares, segunda granulometría. Arena | 64 |
| Tabla 34. Resultados preliminares, tercera granulometría. Arena | 64 |
| Tabla 35. Resumen de granulometrías realizadas con el agregado fino. Arena | 64 |
| Tabla 36. Resumen de resultados. Arena | 64 |
| Tabla 37. Resultados preliminares, primera granulometría. Grava 3/4” | 65 |
| Tabla 38. Resultados preliminares, segunda granulometría. Grava 3/4“ | 65 |
| Tabla 39. Resultados preliminares, tercera granulometría. Grava 3/4“ | 65 |
| Tabla 40. Resumen de granulometrías realizadas con el agregado grueso, Grava 3/4” | 65 |
| Tabla 41. Resumen de resultados. Grava 3/4" | 66 |
| Tabla 42. Resultados preliminares, primera granulometría. Grava 3/8“ | 66 |
| Tabla 43. Resultados preliminares, segunda granulometría. Grava 3/8” | 66 |
| Tabla 44. Resultados preliminares, tercera granulometría. Grava 3/8” | 66 |
| Tabla 45. Resumen de granulometrías realizadas con el agregado grueso, Grava 3/8" | 67 |
| Tabla 46. Resumen de resultados. Grava 3/8” | 67 |
| Tabla 47. Resumen de granulometrías obtenidas | 70 |
| Tabla 48. Ponderación para los agregados | 70 |
| Tabla 49. Dosificación proyectada | 71 |
| Tabla 50. Porcentajes tentativos para determinación de porcentaje óptimo de CA | 72 |
| Tabla 51. Dosificación de CA 4,5% | 73 |
| Tabla 52. Dosificación de CA 5,0% | 73 |
| Tabla 53. Dosificación de CA 5,5% | 74 |
| Tabla 54. Dosificación de CA 6,0% | 75 |
| Tabla 55. Dosificación de CA 6,5% | 76 |
| Tabla 56. Lectura de datos, ensayo Marshall, briquetas Nro. 0-15, para obtención de % óptimo de CA | 79 |
| Tabla 57. Altura de briquetas (4,5% CA) | 80 |
| Tabla 58. Peso de briquetas en el aire (4,5% CA) | 80 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 59. Peso de briquetas SSS (4,5% CA)..... | 81 |
| Tabla 60. Peso de briquetas sumergidas en agua (4,5% CA)..... | 81 |
| Tabla 61. Lecturas dial, obtenidas de ensayo Marshall..... | 83 |
| Tabla 62. Factores de corrección, briquetas 4,5% CA..... | 84 |
| Tabla 63. Valores reales de ensayo Marshall (Marshall corregido)..... | 84 |
| Tabla 64. Fluencia corregida..... | 85 |
| Tabla 65. Resultados obtenidos de gráficas, ensayo Marshall..... | 89 |
| Tabla 66. Resultados finales de estabilidad y fluencia, con contenido óptimo de CA..... | 89 |
| Tabla 67. Detalle de elaboración de briquetas convencionales y modificadas con porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 6,13%..... | 94 |
| Tabla 68. Lectura de datos, ensayo Marshall, briquetas Nro. 16-24, convencionales con porcentaje de 6,13% de CA (Muestra patrón)..... | 94 |
| Tabla 69. Dosificación para mezcla convencional con contenido óptimo de CA, 6,13%..... | 95 |
| Tabla 70. Altura de briquetas 16-18, 6,13% de CA..... | 95 |
| Tabla 71. Peso de briquetas en el aire 16-18, 6,13% de CA..... | 96 |
| Tabla 72. Peso de briquetas SSS 16-18, 6,13% de CA..... | 97 |
| Tabla 73. Peso de briquetas sumergidas en agua, 6,13% de CA..... | 97 |
| Tabla 74. Lecturas dial, obtenidas de ensayo Marshall, 6,13% de CA..... | 99 |
| Tabla 75. Factores de corrección por altura, 6,13% de CA..... | 100 |
| Tabla 76. Valores reales de ensayo Marshall (Marshall corregido), 6,13% de CA..... | 100 |
| Tabla 77. Fluencia corregida, 6,13% de CA..... | 101 |
| Tabla 78. Resumen de resultados ensayo Marshall, briquetas 16-24 con contenido óptimo de CA de 6,13%..... | 102 |
| Tabla 79. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 0,5% de adición de polvo de acero..... | 103 |
| Tabla 80. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 2% de adición de polvo de acero..... | 104 |
| Tabla 81. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de | |

| | |
|---|-----|
| CA y 4% de adición de polvo de acero | 104 |
| Tabla 82. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 6% de adición de polvo de acero | 105 |
| Tabla 83. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 10% de adición de polvo de acero | 105 |
| Tabla 84. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 12% de adición de polvo de acero | 106 |
| Tabla 85. Dosificación para mezcla modificada con contenido óptimo de CA y 14% de adición de polvo de acero | 106 |
| Tabla 86. Lectura de datos, ensayo Marshall, briquetas Nro. 25-45, modificadas con porcentaje de polvo de acero | 109 |
| Tabla 87. Resumen de ensayo de estabilidad. Muestra patrón, briquetas 16-24, % óptimo de CA (6,13%) | 110 |
| Tabla 88. Tratamiento estadístico, briquetas 16-24..... | 110 |
| Tabla 89. Resultados finales, briquetas 16-24..... | 111 |
| Tabla 90. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 25-27, % óptimo de CA (6,13%) y 0,5% de adición de polvo de acero (porcentajes bajos)..... | 111 |
| Tabla 91. Tratamiento estadístico, briquetas 25-27..... | 111 |
| Tabla 92. Resultados finales, briquetas 25-27 | 112 |
| Tabla 93. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 28-30, % óptimo de CA (6,13%) y 2% de adición de polvo de acero (porcentajes bajos)..... | 112 |
| Tabla 94. Tratamiento estadístico, briquetas 28-30..... | 112 |
| Tabla 95. Resultados finales, briquetas 28-30..... | 113 |
| Tabla 96. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 31-33, % óptimo de CA (6,13%) y 4% de adición de polvo de acero (porcentajes medios)..... | 113 |
| Tabla 97. Tratamiento estadístico 31-33 | 113 |
| Tabla 98. Resultados finales, briquetas 31-33 | 114 |
| Tabla 99. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 34-36, % óptimo de CA (6,13%) y 6% de adición de polvo de acero (porcentajes medios)..... | 114 |
| Tabla 100. Tratamiento estadístico, briquetas 34-36..... | 114 |
| Tabla 101. Resultados finales, briquetas 34-36..... | 115 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 102. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 37-39, % óptimo de CA (6,13%) y 10% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 115 |
| Tabla 103. Tratamiento estadístico, briquetas 37-39..... | 115 |
| Tabla 104. Resultados finales, briquetas 37-39..... | 116 |
| Tabla 105. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 40-42, % óptimo de CA (6,13%) y 12% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 116 |
| Tabla 106. Tratamiento estadístico, briquetas 40-42..... | 116 |
| Tabla 107. Resultados finales, briquetas 40-42..... | 117 |
| Tabla 108. Resumen de ensayo de estabilidad. Briquetas 43-45, % óptimo de CA (6,13%) y 14% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 117 |
| Tabla 109. Tratamiento estadístico, briquetas 43-45..... | 117 |
| Tabla 110. Resultados finales, briquetas 43-45..... | 118 |
| Tabla 111. Resumen de ensayos de fluencia. Muestra patrón, briquetas 16-24, % óptimo de CA (6,13%) | 118 |
| Tabla 112. Tratamiento estadístico, briquetas 16-24..... | 118 |
| Tabla 113. Resultados finales, briquetas 16-24..... | 119 |
| Tabla 114. Resumen de ensayo de. Briquetas 25-27, % óptimo de CA (6,13%) y 0,5% de adición de polvo de acero (porcentajes bajos)..... | 119 |
| Tabla 115. Tratamiento estadístico, briquetas 25-27..... | 119 |
| Tabla 116. Resultados finales, briquetas 25-27..... | 120 |
| Tabla 117. Resumen de ensayo de fluencia. Briquetas 28-30, % óptimo de CA (6,13%) y 2% de adición de polvo de acero (porcentajes bajos)..... | 120 |
| Tabla 118. Tratamiento estadístico, briquetas 28-30..... | 120 |
| Tabla 119. Resultados finales, briquetas 28-30..... | 121 |
| Tabla 120. Resumen de ensayos de fluencia. Briquetas 31-33, % óptimo de CA (6,13%) y 4% de adición de polvo de acero (porcentajes medios)..... | 121 |
| Tabla 121. Tratamiento estadístico, briquetas 31-33..... | 121 |
| Tabla 122. Resultados finales, briquetas 31-33..... | 122 |
| Tabla 123. Resumen de ensayo de fluencia. Briquetas 34-36, % óptimo de CA (6,13%) y 6% de adición de polvo de acero (porcentajes medios)..... | 122 |
| Tabla 124. Tratamiento estadístico, briquetas 34-36..... | 122 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 125. Resultados finales, briquetas 34-36..... | 123 |
| Tabla 126. Resumen de ensayo de fluencia. Briquetas 37-39, % óptimo de CA (6,13%) y 10% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 123 |
| Tabla 127. Tratamiento estadístico, briquetas 37-39..... | 123 |
| Tabla 128. Resultados finales, briquetas 37-39..... | 124 |
| Tabla 129. Resumen de ensayo de fluencia. Briquetas 40-42, % óptimo de CA (6,13%) y 12% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 124 |
| Tabla 130. Tratamiento estadístico, briquetas 40-42..... | 124 |
| Tabla 131. Resultados finales, briquetas 40-42..... | 125 |
| Tabla 132. Resumen de ensayo de fluencia. Briquetas 43-45, % óptimo de CA (6,13%) y 14% de adición de polvo de acero (porcentajes altos)..... | 125 |
| Tabla 133. Tratamiento estadístico, briquetas 43-45..... | 125 |
| Tabla 134. Resultados finales, briquetas 43-45..... | 126 |
| Tabla 135. Resumen de resultados de Coeficiente de variación. Datos de estabilidad, especímenes 16-45 | 126 |
| Tabla 136. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 25-27 | 127 |
| Tabla 137. Diferencia porcentual, especímenes 25-27..... | 127 |
| Tabla 138. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 28-30..... | 128 |
| Tabla 139. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 31-33..... | 129 |
| Tabla 140. Diferencia porcentual, especímenes 31-33..... | 129 |
| Tabla 141. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 34-36..... | 130 |
| Tabla 142. Diferencia porcentual, especímenes 34-36..... | 130 |
| Tabla 143. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 37-39..... | 131 |
| Tabla 144. Diferencia porcentual, especímenes 37-39..... | 131 |
| Tabla 145. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 40-42..... | 132 |
| Tabla 146. Diferencia porcentual, especímenes 40-42..... | 132 |
| Tabla 147. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 43-45..... | 133 |
| Tabla 148. Diferencia porcentual, especímenes 43-45..... | 133 |
| Tabla 149. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 25-27 | 134 |
| Tabla 150. Diferencia fluencia, especímenes 25-27..... | 134 |
| Tabla 151. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 28-30 | 135 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 152. Diferencia fluencia, especímenes 28-30..... | 135 |
| Tabla 153. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 31-33 | 136 |
| Tabla 154. Diferencia fluencia, especímenes 31-33..... | 136 |
| Tabla 155. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 34-36 | 137 |
| Tabla 156. Diferencia fluencia, especímenes 34-36..... | 137 |
| Tabla 157. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 37-39 | 138 |
| Tabla 158. Diferencia fluencia, especímenes 37-39..... | 138 |
| Tabla 159. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 40-42 | 139 |
| Tabla 160. Diferencia fluencia, especímenes 40-42..... | 139 |
| Tabla 161. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 43-45 | 140 |
| Tabla 162. Diferencia fluencia, especímenes 43-45..... | 140 |
| Tabla 163. Resumen general de resultados obtenidos, especímenes 16-45 | 144 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Resumen de ensayos de caracterización | 11 |
| Figura 2. Resumen del número de ensayos realizados | 14 |
| Figura 3. Principales productos petrolíferos, intervalos de temperatura de ebullición y de número de átomos de carbono..... | 21 |
| Figura 3.1. Faja de trabajo para mezcla convencional | 67 |
| Figura 4. Granulometría obtenida (Arena, agregado 3/4" y agregado 3/8") | 68 |
| Figura 5. Curva granulométrica del polvo de acero y arena..... | 69 |
| Figura 6. Temperatura Vs Viscosidad | 75 |
| Figura 7. Porcentaje de Asfalto Vs. Densidad de la probeta | 86 |
| Figura 8. Porcentaje de Asfalto Vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total..... | 86 |
| Figura 9. Porcentaje de Asfalto Vs. Vacíos de agregado mineral (VAM) | 87 |
| Figura 10. Porcentaje de Asfalto Vs. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto (RBV) .. | 87 |
| Figura 11. Porcentaje de Asfalto Vs. Estabilidad corregida..... | 88 |
| Figura 12. Porcentaje de Asfalto Vs. Fluencia (Flujo)..... | 88 |

| | |
|--|-----|
| Figura 13. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 25-27 | 127 |
| Figura 14. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 28-30..... | 128 |
| Figura 15. Diferencia porcentual, especímenes 28-30 | 128 |
| Figura 16. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 31-33..... | 129 |
| Figura 17. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 34-36..... | 130 |
| Figura 18. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 37-39..... | 131 |
| Figura 19. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 40-42..... | 132 |
| Figura 20. Resultados corregidos de estabilidad, especímenes 43-45..... | 133 |
| Figura 21. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 25-27 | 134 |
| Figura 22. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 28-30 | 135 |
| Figura 23. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 31-33 | 136 |
| Figura 24. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 34-36 | 137 |
| Figura 25. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 37-39 | 138 |
| Figura 26. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 40-42 | 139 |
| Figura 27. Resultados corregidos de fluencia, especímenes 43-45 | 140 |
| Figura 28. Comparación de variación de resultados de estabilidad obtenidos en ensayo Marshall, especímenes 16-45 | 141 |
| Figura 29. Comparación de variación porcentual de resultados de estabilidad obtenidos en ensayo Marshall, especímenes 16-45 | 141 |
| Figura 30. Comparación de variación de resultados de fluencia obtenidos en ensayo Marshall, especímenes 16-45 | 142 |
| Figura 31. Comparación de variación porcentual de resultados de fluencia obtenidos en ensayo Marshall, especímenes 16-45 | 142 |
| Figura 32. Variación porcentual de resultados de Estabilidad y Fluencia obtenidos en ensayo Marshall, especímenes 16-45 | 143 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | |
|--|----|
| Fotografía 1. Ensayo de caras fracturadas | 39 |
| Fotografía 2. Ensayo de equivalente de arena | 44 |

| | |
|---|----|
| Fotografía 3 Muestra en ensayo de desgaste en máquina de Los Ángeles..... | 46 |
| Fotografía 4. Muestra después de ensayo de desgaste en máquina de Los Ángeles ... | 47 |
| Fotografía 5. Elaboración de ensayo de peso específico de agregado fino | 48 |
| Fotografía 6. Realización del ensayo de peso específico del agregado grueso, grava $\frac{3}{4}$ " | 52 |
| Fotografía 7. Realización del ensayo de peso específico del agregado grueso, grava $\frac{3}{4}$ " | 53 |
| Fotografía 8. Equipo utilizado para determinación de peso específico | 53 |
| Fotografía 9. Ensayo de penetración | 55 |
| Fotografía 10. Ensayo de ductilidad..... | 57 |
| Fotografía 11. Realización del ensayo de punto de inflamación..... | 59 |
| Fotografía 12. Realización de ensayo de peso específico del ligante asfáltico | 60 |
| Fotografía 13. Prensa Marshall..... | 77 |
| Fotografía 14. Verificación de temperatura óptima de mezclado | 90 |
| Fotografía 15. Briqueta con mezcla asfáltica con contenido óptimo de CA | 90 |
| Fotografía 16. Compactación manual con martillo de 10 libras | 91 |
| Fotografía 17. Identificación de briquetas | 91 |
| Fotografía 18. Uso de gata hidráulica para desmoldar | 92 |
| Fotografía 19. Control de temperatura de agua para baño maría | 92 |
| Fotografía 20. Uso de equipo Marshall | 93 |
| Fotografía 21. Equipo Marshall..... | 93 |