

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LA INCIDENCIA DEL CAOLÍN COMO LLENANTE
MINERAL EN LA RESPUESTA MECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
CERRADAS”**

Elaborado por:

ARCE PORTAL GONZALO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentada a consideración de la
"UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para
optar el grado académico de Licenciatura en ingeniería civil.

SEMESTRE I-2021

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 INCIDENCIA DEL CAOLÍN COMO LLENANTE
MINERAL EN LA RESPUESTA MECÁNICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
CERRADAS”**

Por:

GONZALO ARCE PORTAL

SEMESTRE I - 2021

TARIJA – BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

DECANO a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. lic. Deysi Arancibia Márquez

VICEDECANA a.i
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Trinidad C. Baldiviezo M.
TRIBUNAL 1

.....
Ing. Edwin Osvaldo Aguirre
TRIBUNAL 2

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado.
TRIBUNAL 3

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA:

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios por permitirme alcanzar este objetivo, y por brindarme sabiduría, paciencia, fuerza y voluntad para realizar esta tesis, y estar siempre conmigo en cada momento de mi vida.

A mis padres: Vicente Arce Alarcón. y Alicia Portal Nieto. Por brindarme su apoyo en todas las etapas de mi vida hasta este momento y haber sabido guiarme por el camino del bien, e inculcarme buenos valores.

A mis hermanos (as): por todo su apoyo que siempre me dieron y saber que cuento con ellos en todo momento.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de este trabajo.

AGRADECIMIENTO:

A DIOS primeramente por permitirme la gracia de la vida y por las fuerzas que me brindó para levantarme en los momentos difíciles, finalmente por permitirme concluir esta meta.

A mis padres: por inculcarme buenos valores que me han permitido lograr esta meta. Por apoyarme incondicionalmente, este logro es gracias a ustedes, gracias por la confianza que han tenido y depositado en mí persona.

A mi hermano por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos y amigas que no dudaron en brindarme su apoyo en los buenos y malos momentos, en especial por su amistad.

PENSAMIENTO:

Podrán desfallecer mi cuerpo y espíritu, pero
Dios fortalece mi corazón; él es mi herencia
eterna.

- Salmos 73:26

CONTENIDO
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1 Situación problemática	3
1.3.2 Problema.....	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Definición de variables independientes y dependientes	6
1.6.1 Variable independiente	6
1.6.2 Variable dependiente.....	6
1.7 Diseño metodológico	7
1.7.1 Componentes	7
1.7.1.1 Unidades de estudio y decisión muestral	7
1.7.1.2 Unidades de estudio	7
1.7.1.3 Población de estudio	7
1.7.1.4 Decisión muestral.....	7
1.8 Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.8.1 Método inductivo.....	7
1.8.2 Técnicas empleadas	8
1.8.2.1Diseño experimental.....	8
1.8.2.2 Técnica	9
1.8.3 Metodología.....	10
1.8.4 Técnicas de muestreo.....	11

1.8.4.1 Técnicas de muestreo no probabilística	11
1.8.4.2 Descripción de equipos e instrumentos	11
1.8.4.2.1 Para caracterización de los asfaltos.....	11
1.8.4.2.2 Para caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica	11
1.8.4.2.3 Para elaboración de probetas	12
1.8.5 Descripción de instrumentos	12
1.8.6 Procedimiento de aplicación.....	16
1.9 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información	18
1.9.1 Estadística descriptiva	18
1.9.1.1 Gráficos estadísticos a utilizar	19
1.9.1.2 Medidas de dispersión	19
1.10 Alcance de la investigación.....	20

CAPÍTULO II
CEMENTO ASFÁLTICO, MEZCLA ASFÁLTICAS Y LLENANTES
MINERALES

	Página
2.1 Antecedentes de los asfaltos	21
2.2 Definición	22
2.3 Producción de asfalto.....	24
2.4 Composición del asfalto.....	26
2.5 Propiedades físicas de los asfaltos	28
2.5.1 Durabilidad	28
2.5.2 Adhesión y cohesión.....	29
2.5.3 Susceptibilidad a la temperatura.....	29
2.5.4 Endurecimiento y envejecimiento	30
2.6 Propiedades químicas del asfalto	31
2.7 Ensayos empíricos del cemento asfáltico.....	32
2.8 Mezclas asfálticas.....	37
2.8.1 Empleo de las mezclas asfálticas en la construcción de firmes.....	37
2.8.2 Funcionalidad de las mezclas asfálticas en los firmes.....	38
2.8.2.1 Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.....	40

2.8.2.2 Propiedades de las mezclas asfálticas para capas inferiores.....	40
2.8.3 Definición de las mezclas asfálticas	41
2.8.4 Clasificación de mezclas asfálticas.....	41
2.8.5 Tipologías de las mezclas asfálticas	43
2.8.5.1 Mezcla asfáltica en caliente	43
2.8.5.1.1 Evolución de los diseños de mezclas asfálticas en caliente	44
2.8.5.2 Mezclas asfálticas en frío.....	45
2.8.5.3 Mezcla porosa o drenantes	46
2.8.5.4 Micro aglomerado.....	46
2.8.5.5 Masillas.....	47
2.8.5.6 Mezclas de alto módulo.....	47
2.8.6 Consideraciones para la selección de una mezcla asfáltica.....	48
2.9 Diseño de mezclas asfálticas.....	50
2.9.1 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas	51
2.9.2 Características de los materiales pétreos para las mezclas asfálticas	52
2.9.3 Porcentaje de asfalto en la mezcla.....	56
2.9.3.1 Mezcla asfáltica densa.....	57
2.9.3.2 Mezcla asfáltica abierta.....	57
2.10 Tipos de asfaltos	58
2.10.1 Asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR)	59
2.10.2 Asfaltos rebajados de fraguado medio (FM).....	59
2.10.3 Asfaltos rebajados de fraguado lento (FL).....	60
2.11 Reacción del asfalto ante altas temperatura	60
2.12 Llenante mineral o filler	60
2.12.1 Introducción	61
2.12.2 Definición y origen	63
2.12.3 Propiedades	63
2.12.4 El filler y su función rellenando en la mezcla bituminosa	64
2.12.5 El filler y su comportamiento reo lógico y cohesivo como componente del sistema filler-betum.....	64

2.13 El caolín	67
2.14 Características generales del caolín	69
2.14.1 Ficha técnica.....	69
2.14.2 Usos.....	71
2.15 El caolín en Bolivia.....	74
2.15.1 Precio del caolín en el mercado boliviano	76

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
3.1 Planteamiento de la investigación.....	77
3.2 Procedencia de los materiales	77
3.2.1 Agregados pétreos	77
3.2.2 Cemento asfáltico	80
3.3 Ensayos de caracterización de los materiales	81
3.3.1 Caracterización de los agregados.....	81
3.3.1.1 Análisis granulométrico de los agregados (documento referencial ASTM E40 C136 AASHTO T27-99)	81
3.3.1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso (documento referencial ASTM C127, AASHTO T85)	92
3.3.1.3 Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128, AASHTO T84).....	95
3.3.1.4 Peso unitario de los agregados gruesos y finos (ASTM C 29M-97, AASHTO T-27)	97
3.3.1.5 Equivalente de arena (ASTM D2419, AASHTO T176)	101
3.3.1.6 Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131, AASHTO T96)	103
3.3.2 Caracterización del cemento asfáltico	106
3.3.2.1 Ensayo de penetración de materiales bituminosos (documento referencial ASTM D5, AASHTO T49-97)	106
3.3.2.2 Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (ASTM D113,	

AASHTO T51-00)	108
3.3.2.3 Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de Cleveland (ASTM D22, AASHTO T48).....	109
3.3.2.4 Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36-89, AASHTO T53-92).....	111
3.3.2.5 Ensayo para determinar la gravedad específica (ASTM D70-76, AASHTO T228-93)	112
3.3.3 Ensayo del hidrómetro para la granulometría del Caolín ASTM D422	115
3.4 Elaboración de la mezcla asfáltica	120
3.4.1 Diseño de la mezcla asfáltica siguiendo el método Marshall	120
3.4.2 Procedimiento para la realización del diseño Marshall de la mezcla asfáltica	121
3.4.2.1 Descripción de los instrumentos utilizados.....	121
3.4.2.2 Preparación de la mezcla asfáltica (construcción de las briquetas).....	123
3.4.3 Gradación de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas densas siguiendo el método Marshall	124
3.5 Procedimiento del ensayo realizado en laboratorio	130
3.5.1 Dosificación de la mezcla en función a la cantidad de cemento asfáltico.....	130
3.5.2 Contenido óptimo de cemento asfáltico	130
3.5.2.1 Contenido óptimo de cemento asfáltico 85-100.....	131
3.5.2.2 Contenido óptimo de cemento asfáltico 60-70.....	132
3.5.3 Proceso de compactación de las muestras	134
3.5.4 Caracterización de las mezclas compactas para la determinación del contenido óptimo de asfalto.....	136
3.5.4.1 Determinación de la densidad de los especímenes	136
3.5.4.2 Determinación de la estabilidad y fluencia	138
3.6 Desarrollo de los ensayos con incorporación de caolín en las mezclas asfálticas utilizando método Marshall.....	140
3.6.1 Elaboración de briquetas con incorporación de caolín a las mezclas asfálticas convencionales con cemento asfáltico 85-100.....	142

3.6.2 Elaboración de briquetas con incorporación de caolín a las mezclas asfálticas convencionales con cemento asfáltico 60-70.....	144
3.7 Desarrollo de los ensayos.....	146
3.7.1 Resultados de las mezclas modificadas con caolín mediante el método Marshall para un cemento asfáltico 85-100.....	146
3.7.2 Resultados de las mezclas modificadas con caolín mediante el método Marshall para un cemento asfáltico 60-70.....	150
3.8 Resúmenes de los resultados obtenidos del método Marshall para mezcla asfáltica modificada con caolín, con un cemento asfáltico 85-100	154
3.9 Resúmenes de los resultados obtenidos del método Marshall para mezcla asfáltica modificada con caolín, con un cemento asfáltico 60-70	161
3.10 Obtención del porcentaje óptimo de caolín en una mezcla asfáltica modificada con un óptimo de cemento asfáltico 85-100	168
3.11 Obtención del porcentaje óptimo de caolín en una mezcla asfáltica modificada con un óptimo de cemento asfáltico 60-70	169

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1 Análisis de resultados obtenidos	171
4.1.1 Ensayo de Marshall	171
4.1.2 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica	172
4.1.2.1 Análisis comparativo del efecto de la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica, mediante el ensayo MARSHALL, entre una mezclas convencional y modificada para un cemento asfáltico C.A. 85-100.....	172
4.1.2.2 Análisis comparativo de la estabilidad y % de vacíos de la mezcla modificada con caolín y la mezcla convencional, con diferentes orígenes de agregado mineral y con asfalto Betupen Plus (C.A 85-100).....	182

4.1.2.3	Análisis comparativo del efecto de la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica, mediante el ensayo MARSHALL, entre una mezcla convencional y modificada para un cemento asfáltico C.A. 60-70.....	184
4.1.2.4	Análisis comparativo de la estabilidad y % de vacíos de la mezcla modificada con caolín en la mezcla convencional, con diferentes orígenes de agregado mineral y con asfalto Betupen S (C.A 60-70).....	193
4.1.3	Análisis comparativo de resultados obtenidos con mezclas asfálticas modificadas (caolín), para dos tipos de cemento asfáltico C.A 85-100 Y C.A 70-60 con el mismo banco de agregado mineral.....	195
4.2	Análisis de costos.....	200
4.2.1	Análisis de costo de carpeta asfáltica.....	200
4.2.2	Planillas de costos de carpeta asfáltica con incorporación de Caolín, para cemento asfáltico 85-100.....	203
4.2.3	Planillas de costos de carpeta asfáltica con incorporación de caolín para un cemento asfáltico 60-70.....	206
4.3	Análisis de resultados de costos de carpeta asfáltica convencional y modificadas con incorporación de caolín, para 1m ² de carpeta asfáltica con espesor de 5cm	209

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	212
5.2 Recomendaciones.....	215

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Balanza digital	12
Figura 1.2. Horno eléctrico	13
Figura 1.3. Serie de tamices metálicos.....	13
Figura 1.4. Ductilímetro.....	14
Figura 1.5. Penetrómetro.....	14
Figura 1.6. Viscosímetro.....	15
Figura 1.7. Picnómetro.....	15
Figura 2.1. Ensayo de penetración.....	33
Figura 2.2. Ensayo de punto de ablandamiento	34
Figura 2.3. Ensayo de ductilidad.....	35
Figura 2.4. Ensayo de punto de inflamación.....	36
Figura 2.5. Explotación del Caolín	67
Figura 3.1. Ubicación de la planta de áridos “Garzón”	78
Figura3.2. Chancadora para la provisión de material	78
Figura3.3. Chancadora de SEDECA.....	79
Figura3.4. Chancadora de Santa Ana.....	79
Figura 3.5. Materiales para ser tamizado	82
Figura 3.6. Tamizado mediante los tamices normalizados ASTM	82
Figura 3.7. Curva granulométrica del agregado grueso (grava)	83
Figura 3.8. Curva granulométrica del agregado grueso (gravilla)	84
Figura 3.9. Curva granulométrica del agregado fino (arena).....	85
Figura 3.10. Curva granulométrica del agregado grueso (grava)	86
Figura 3.11. Curva granulométrica de la gravilla	87
Figura 3.12. Curva granulométrica del agregado fino (arena).....	88
Figura 3.13. Curva granulométrica del agregado grueso (grava)	89
Figura 3.14. Curva granulométrica de la gravilla	90
Figura 3.15. Curva granulométrica del agregado fino (arena).....	91
Figura 3.16. Muestra sumergida por 24 hrs	92

Figura 3.17. Obtención del peso sumergido de la muestra.....	93
Figura 3.18. Material sumergido por un tiempo de 24 hrs.....	95
Figura 3.19. Muestra con humedad superficialmente seca	96
Figura 3.20. Peso unitario del agregado grueso (grava)	98
Figura 3.21. Peso unitario del agregado grueso (gravilla)	98
Figura 3.22. Peso unitario del agregado fino (arena).....	98
Figura 3.23. Medición del nivel de arena.....	102
Figura 3.24. Preparación de material para el ensayo de desgaste de los ángeles.....	104
Figura 3.25. Descripción de desgaste dentro de la máquina de los ángeles	104
Figura 3.26. Realización de la penetración de la muestra.....	107
Figura 3.27. Ensayo de ductilidad.....	108
Figura 3.28. Realización del ensayo de punto de inflamación.....	110
Figura 3.29. Realización del ensayo de punto de ablandamiento	111
Figura 3.30. Picnómetros utilizados para determinar el peso específico	113
Figura 3.31. Determinación del peso del picnómetro + C.A. + agua	113
Figura 3.32. Preparación del caolín con defloculante	117
Figura 3.33. Vaciado del caolín a la probeta.....	117
Figura 3.34. Lectura del hidrómetro	117
Figura 3.35. Curva granulométrica del Caolín.....	120
Figura 3.36. Curva granulométrica formada y fajas de control de chancadora Garzón.....	129
Figura 3.37. Curva granulométrica formada y fajas de control de SEDECA	129
Figura 3.38. Curva granulométrica formada y fajas de control de chancadora Santa Ana.....	130
Figura 3.39. Colocación de cantidades de agregados y cemento asfáltico	134
Figura 3.40. Mezcla preparada.....	134
Figura 3.41. Martillo para compactación	135
Figura 3.42. Compactación de la muestra, dando 75 golpes por cara.....	135
Figura 3.43. Extracción de las briquetas de los moldes	135
Figura 3.44. Determinación de las dimensiones de las briquetas	136

Figura 3.45. Determinación del peso de la briqueta en estado seco.....	137
Figura 3.46. Determinación del peso sumergido	137
Figura 3.47. Determinación del peso saturado superficialmente seca.....	137
Figura 3.48. Briquetas sumergidas en baño maría a 60 °C	138
Figura 3.49. Determinación de la estabilidad y fluencia de las briquetas.....	138
Figura 3.50. Determinación de la estabilidad y fluencia de las briquetas.....	141
Figura 3.51. Determinación de la estabilidad y fluencia de las briquetas.....	142
Figura 3.52. Resultados de la densidad (gr/cm ³) -% Caolín	154
Figura 3.53. Resultados de la estabilidad (lb) -% Caolín.....	155
Figura 3.54. Resultados de la Fluencia (pulg) -% Caolín	155
Figura 3.55. Resultados % de vacíos de la mezcla (%) -% Caolín	155
Figura 3.56. Resultados relación caolín RVC (%) -% Caolín	156
Figura 3.57. Resultados VAM (%) -% Caolín.....	156
Figura 3.58. Resultados de la densidad (gr/cm ³) -% Caolín	157
Figura 3.59. Resultados de la estabilidad (lb) -% Caolín.....	157
Figura 3.60. Resultados de la Fluencia (pulg) -% Caolín	157
Figura 3.61. Resultados % de vacíos de la mezcla (%) -% Caolín	158
Figura 3.62. Resultados RCV (%) -% Caolín.....	158
Figura 3.63. Resultados VAM (%) -% Caolín.....	158
Figura 3.64. Resultados de la densidad (gr/cm ³) -% Caolín	159
Figura 3.65. Resultados de la estabilidad (lb) -% Caolín.....	159
Figura 3.66. Resultados de la Fluencia (pulg) -% Caolín	160
Figura 3.67. Resultados % de vacíos de la mezcla (%) -% Caolín	160
Figura 3.68. Resultados relación RVC (%) -% Caolín	160
Figura 3.69. Resultados VAM (%) -% Caolín.....	161
Figura 3.70. Resultados de la densidad (gr/cm ³) -% Caolín	162
Figura 3.71. Resultados de la estabilidad (lb) -% Caolín.....	162
Figura 3.72. Resultados de la Fluencia (pulg) -% Caolín	162
Figura 3.73. Resultados % de vacíos de la mezcla (%) -% Caolín	163
Figura 3.74. Resultados relación caolín vacíos (%) -% Caolín	163

Figura 4.16. Variación de la estabilidad en función del tipo de mezcla asfáltica ...	185
Figura 4.17. Variación de la fluencia en función del tipo de mezcla asfáltica	186
Figura 4.18. Variación de % de vacíos en función del tipo de mezcla asfáltica.....	186
Figura 4.19. Variación de la densidad en función del tipo de mezcla asfáltica	188
Figura 4.20. Variación de la estabilidad en función del tipo de mezcla asfáltica	188
Figura 4.21. Variación de la fluencia en función del tipo de mezcla asfáltica	189
Figura 4.22. Variación de % de vacíos en función del tipo de mezcla asfáltica.....	190
Figura 4.23. Variación de la densidad en función del tipo de mezcla asfáltica	191
Figura 4.24. Variación de la estabilidad en función del tipo de mezcla asfáltica	191
Figura 4.25. Variación de la fluencia en función del tipo de mezcla asfáltica	192
Figura 4.26. Variación de % de vacíos en función del tipo de mezcla asfáltica.....	193
Figura 4.27. Comparación de la estabilidad de una mezcla convencional y una modificada con caolín.....	193
Figura 4.28. Comparación del % de vacíos de una mezcla convencional y una modificada con caolín.....	195
Figura 4.29. Resultados de la densidad máxima de diseño Marshall en función a la procedencia del agregado mineral y el tipo de cemento asfáltico ...	197
Figura 4.30. Resultados de la estabilidad máxima de diseño Marshall en función a la procedencia del agregado mineral y del tipo de cemento asfáltico .	197
Figura 4.31. Resultados de la fluencia máxima de diseño Marshall en función a la procedencia del agregado mineral.....	198
Figura 4.32. Resultados de % de vacíos máxima de diseño Marshall en función a la procedencia del agregado mineral.....	199

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Número de ensayos a realizar para la elaboración de las probetas	17
Tabla 1.2. Elaboración de briquetas para obtener la cantidad óptima de C.A.	18
Tabla 2.1 Composición de un asfalto.....	27
Tabla 2.2 Clasificación de asfalto según su dureza.....	33
Tabla 2.3 Prueba de Marshall para una mezcla densa.....	57

Tabla 2.4 Prueba de Marshall para una mezcla abierta	58
Tabla 2.5 Especificaciones técnica del Caolín	69
Tabla 3.1. Especificaciones del cemento asfáltico 85-100.....	80
Tabla 3.2. Especificaciones del cemento asfáltico 60-70.....	81
Tabla 3.3. Resultados de la granulometría del agregado grueso (grava)	83
Tabla 3.4. Resultados del análisis granulométrico de la gravilla	84
Tabla 3.5. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino	85
Tabla 3.6. Resultados de la granulometría del agregado grueso (grava)	86
Tabla 3.7. Resultados del análisis granulométrico de la gravilla	87
Tabla 3.8. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino	88
Tabla 3.9. Resultados de la granulometría del agregado grueso (grava)	89
Tabla 3.10. Resultados del análisis granulométrico de la gravilla	90
Tabla 3.11. Resultados del análisis granulométrico del agregado fino	91
Tabla 3.12. Resultados del peso específico del agregado grueso (grava)	93
Tabla 3.13. Resultados de peso específico del agregado grueso (gravilla).....	93
Tabla 3.14. Resultados del peso específico del agregado grueso (grava)	94
Tabla 3.15. Resultados de peso específico del agregado grueso (gravilla).....	94
Tabla 3.16. Resultados del peso específico del agregado grueso (grava)	94
Tabla 3.17. Resultados de peso específico del agregado grueso (gravilla).....	95
Tabla 3.18. Resultados del peso específico del agregado fino (arena)	96
Tabla 3.19. Resultados del peso específico del agregado fino (arena)	96
Tabla 3.20. Resultados del peso específico del agregado fino (arena)	97
Tabla 3.21. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (grava)	99
Tabla 3.22. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (gravilla).....	99
Tabla 3.23. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino (arena).....	99
Tabla 3.24. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (grava)	99
Tabla 3.25. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (gravilla).....	100
Tabla 3.26. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino (arena).....	100
Tabla 3.27. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (grava)	100
Tabla 3.28. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (gravilla).....	101

Tabla 3.29. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino (arena)	101
Tabla 3.30. Resultados de equivalencia de arena.....	102
Tabla 3.31. Resultados de equivalencia de arena.....	102
Tabla 3.32. Resultados de equivalencia de arena.....	103
Tabla 3.33. Peso del agregado y número de esferas para agregados gruesos	104
Tabla 3.34. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (grava) ...	105
Tabla 3.35. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla)	105
Tabla 3.36. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (grava) ...	105
Tabla 3.37. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla)	105
Tabla 3.38. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (grava) ...	106
Tabla 3.39. Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla)	106
Tabla 3.40. Resultados del ensayo de penetración.....	107
Tabla 3.41. Resultados del ensayo de penetración.....	107
Tabla 3.42. Resultados del ensayo de ductilidad	109
Tabla 3.43. Resultados del ensayo de ductilidad	109
Tabla 3.44. Resultados del ensayo de punto de inflamación	110
Tabla 3.45. Resultados del ensayo de punto de inflamación	110
Tabla 3.46. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento	111
Tabla 3.47. Resultados del ensayo de punto de ablandamiento	112
Tabla 3.48. Resultados del ensayo de gravedad específica.....	113
Tabla 3.49. Resultados del ensayo de gravedad específica.....	114
Tabla 3.50. Resumen de los ensayos del cemento asfáltico 85-100	114
Tabla 3.51. Resumen de los ensayos del cemento asfáltico 60-70	115
Tabla 3.52. Valores de profundidad efectiva basados en hidrómetros y cilindros de sedimentación dados	118
Tabla 3.53. Hidrómetro del Caolín.....	119
Tabla 3.54. Graduación de los agregados y franjas granulométricas de control para mezclas asfálticas densas	125
Tabla 3.55. Curva granulométrica formada para el diseño de mezclas asfálticas densas de chancadora Garzón	126

Tabla 3.56. Curva granulométrica formada para el diseño de mezclas asfálticas densas de SEDECA.....	127
Tabla 3.57. Curva granulométrica formada para el diseño de mezclas asfálticas densas de chancadora Santa Ana	128
Tabla 3.58. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para chancadora Garzón.....	131
Tabla 3.59. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para agregados SEDECA	131
Tabla 3.60. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para chancadora Santa Ana.....	132
Tabla 3.61. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para chancadora Garzón.....	132
Tabla 3.62. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para agregados SEDECA	133
Tabla 3.63. Cantidad de agregados y cemento asfáltico para chancadora Santa Ana.....	133
Tabla 3.64. Contenido óptimo de cemento asfáltico de chancadora Garzón	139
Tabla 3.65. Contenido óptimo de cemento asfáltico de agregados SEDECA	139
Tabla 3.66. Contenido óptimo de cemento asfáltico de chancadora Santa Ana	139
Tabla 3.67. Contenido óptimo de cemento asfáltico de chancadora Garzón	139
Tabla 3.68. Contenido óptimo de cemento asfáltico de agregados SEDECA	140
Tabla 3.69. Contenido óptimo de cemento asfáltico de chancadora Santa Ana	140
Tabla 3.70. Cantidad de caolín y llenante mineral para cada probeta para chancadora Garzón (San Mateo).....	143
Tabla 3.71. Cantidad de caolín y llenante mineral para cada probeta para agregado de la planta SEDECA (Charaja).....	143
Tabla 3.72. Cantidad de caolín y llenante mineral para chancadora Santa Ana (Santa Ana)	144
Tabla 3.73. Cantidad de caolín y de llenante mineral para cada probeta para chancadora Garzón (San Mateo).....	145

Tabla 3.74. Cantidad de caolín y llenante mineral para cada probeta para agregados de la planta de SEDECA (Charaja)	145
Tabla 3.75. Cantidad de caolín y llenante mineral para cada probeta para chancadora Santa Ana (Santa Ana)	146
Tabla 3.76. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la chancadora Garzón (San Mateo).....	147
Tabla 3.77. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la plata de SEDECA (Charaja)	148
Tabla 3.78. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la chancadora Santa Ana (Santa Ana)	149
Tabla 3.79. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la chancadora Garzón (San Mateo).....	151
Tabla 3.80. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la plata de SEDECA (Charaja)	152
Tabla 3.81. Resultado del método Marshall con la incorporación de caolín a la mezcla asfáltica con agregados de la chancadora Santa Ana (Santa Ana)	153
Tabla 3.82. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la chancadora Garzón (San Mateo).....	154
Tabla 3.83. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la planta de SEDECA (Charaja).....	156
Tabla 3.84. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la chancadora Santa Ana (Santa Ana).....	159
Tabla 3.85. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la chancadora Garzón (San Mateo).....	161

Tabla 3.86. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la planta de SEDECA (Charaja).....	164
Tabla 3.87. Resultados obtenidos del método Marshall utilizando agregados de la chancadora Santa Ana (Santa Ana).....	166
Tabla 3.88. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada para chancadora Garzón (San Mateo).....	169
Tabla 3.89. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada con agregado procedente de SEDECA (Charaja).....	169
Tabla 3.90. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada para chancadora Santa Ana (Santa Ana).....	169
Tabla 3.91. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada para chancadora Garzón (San Mateo)	170
Tabla 3.92. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada con agregado procedente de SEDECA (Charaja)	170
Tabla 3.93. Porcentaje óptimo del Caolín en la mezcla asfáltica modificada para chancadora Santa Ana (Santa Ana).....	170
Tabla 4.1. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos por el método Marshall para agregados pétreos de chancadora Garzón (San Mateo) ..	173
Tabla 4.2. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos por el método Marshall para agregados pétreos de planta de SEDECA (Charaja)	176
Tabla 4.3. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos por el método Marshall para agregados pétreos de chancadora Santa Ana	179
Tabla 4.4. Pruebas adicionales de los agregados.....	183
Tabla 4.5. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos por el método Marshall para agregados pétreos de chancadora Garzón (San Mateo) ..	184
Tabla 4.6. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos por el método Marshall para agregados pétreos de plata de SEDECA (Charaja)	182
Tabla 4.7. Tratamiento estadístico de valores de diseño obtenidos del método Marshall para agregados pétreos de chancadora Santa Ana	190
Tabla 4.8. Pruebas adicionales de los agregados.....	194

Tabla 4.9. Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos del ensayo Marshall, para una mezcla asfáltica con incorporación de caolín	196
Tabla 4.10. Resultados de carpeta asfáltica convencional	209
Tabla 4.11. Resultados de carpeta asfáltica con incorporación de caolín (llenante mineral), para un C.A. 85-100.....	209
Tabla4.12. Resultados de carpeta asfáltica con incorporación de caolín (llenante mineral), para un C.A. 60-70	209