

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



**“ZONIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE LA ZONA CENTRAL DE  
CERCADO SEGÚN SU CARGA ELÉCTRICA PARA COMBINARSE CON  
EMULSIONES ASFÁLTICAS”**

**POR:**

**ALEIDA RUTH VERA GUTIERREZ**

**Semestre I – 2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

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

**“ZONIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE LA ZONA CENTRAL DE  
CERCADO SEGÚN SU CARGA ELÉCTRICA PARA COMBINARSE CON  
EMULSIONES ASFÁLTICAS”**

**POR:**

**ALEIDA RUTH VERA GUTIERREZ**

**Proyecto elaborado en la asignatura CIV502**

**Semestre I – 2022**

**TARIJA-BOLIVIA**

**DEDICATORIA:**

A mis padres: Adelaida y Teófilo, que son mi más valioso tesoro en la vida, por jamás haberme dejado sola a pesar de las adversidades, por su cariño y apoyo constante e incondicional.

# ÍNDICE GENERAL

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	<b>Pág.</b>
1.1. Diseño teórico .....	1
1.1.1. Determinación de línea de estudio. Argumentos .....	1
1.1.2. Objeto de investigación .....	2
1.1.3. Breve descripción de causales identificadas .....	3
1.1.4. Identificación del objeto de estudio .....	3
1.1.5. Determinación de la perspectiva de solución .....	4
1.2. Marco normativo.....	4
1.2.1. Análisis y tendencias .....	4
1.2.2. Posición del autor .....	5
1.3. Situación problemática.....	5
1.3.1. Determinación del problema .....	6
1.3.1.1. Problema de investigación .....	6
1.3.1.2. Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio .....	7
1.4. Objetivos .....	7
1.4.1. Objetivo General .....	7
1.4.2. Objetivos Específicos .....	8
1.5. Formulación de la hipótesis .....	8
1.5.1. Hipótesis.....	8
1.5.2. Identificación de variables .....	8
1.5.2.1. Variable independiente.....	8
1.5.2.2. Variable dependiente.....	8
1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables .....	9
1.6. Diseño metodológico de la investigación .....	9
1.6.1. Identificación del tipo del diseño de investigación .....	9
1.7. Unidades de estudio y decisión muestral .....	10
1.7.1. Unidad de estudio o muestreo .....	10
1.7.2. Población y muestra .....	10

1.7.3. Tamaño de muestra .....	10
1.7.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	11
1.8. Métodos y procedimientos lógicos .....	11
1.8.1. Identificación de la perspectiva.....	11

## **CAPÍTULO II**

### **MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO Y LA ELECTROSTÁTICA**

	<b>Pág.</b>
2.1. Mezclas asfálticas en frío .....	15
2.1.1. Mezclas asfálticas semidensas o semicerradas .....	16
2.2. Agregados .....	16
2.2.1. Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.....	16
2.2.1.1. Agregado grueso .....	16
2.2.1.1.1. Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas .....	17
2.2.1.2. Agregado fino.....	20
2.2.1.2.1. Características y propiedades deseables de los agregados finos para su utilización en las mezclas asfálticas .....	21
2.2.2. Fuentes de agregados .....	22
2.2.2.1. Agregados naturales .....	22
2.2.2.2. Agregados procesados.....	23
2.2.2.3. Agregados sintéticos .....	24
2.2.3. La explotación de agregados en ríos .....	24
2.2.4. Plantas Trituradoras .....	26
2.3. Emulsiones asfálticas .....	27
2.3.1. Componentes de las emulsiones asfálticas.....	28
2.3.2. Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	29
2.3.2.1. Según su carga eléctrica .....	29
2.3.2.2. Según la velocidad de rompimiento de la emulsión .....	31
2.3.3. Aplicación de las emulsiones .....	32
2.3.4. Factores que afectan la rotura y el curado.....	33
2.4. Electrostática .....	34

2.4.1. Definición de carga eléctrica.....	34
2.4.2. Carga eléctrica en los agregados .....	35
2.4.3. Carga eléctrica y la estructura de la materia .....	36
2.4.4. La carga está cuantificada y se conserva.....	39
2.4.5. Materiales eléctricos.....	40
2.4.6. Carga y descarga de los cuerpos .....	42
2.4.7. Conexión a tierra.....	43
2.4.8. Formas de electrización .....	44
2.4.8.1. Electrización por frotamiento.....	44
2.4.8.2. Electrización por contacto.....	45
2.4.8.3. Electrización por inducción.....	45
2.4.9. Polarización.....	45
2.4.10. Ley de Coulomb.....	47
2.4.11. Determinación de cargas eléctricas: El electroscopio.....	48
2.4.11.1. ¿Cómo funciona? .....	49
2.4.11.2. ¿Para qué sirve?.....	50
2.4.11.3. ¿Cómo se carga eléctricamente? .....	51
2.4.12. Carga triboeléctrica .....	53
2.4.12.1. Efecto triboeléctrico .....	53
2.4.12.2. Serie triboeléctrica .....	54
2.4.13. Potencial Zeta o potencial electrocinético.....	56
2.4.14. El electrómetro .....	58
2.4.14.1. ¿Para qué sirve el electrómetro? .....	58
2.4.14.2. Usos del electrómetro.....	59
2.4.14.3. Características de un electrómetro .....	59
2.4.14.4. Importancia del electrómetro .....	60

### **CAPÍTULO III**

#### **ESTUDIO DE LA CARGA ELÉCTRICA EN LOS AGREGADOS**

	<b>Pág.</b>
3.1. Aplicación de la electrostática .....	61
3.1.1. Especificaciones de los equipos .....	61

3.1.2. Calibración del electroscopio.....	64
3.1.3. Determinación de la polaridad de los agregados.....	67
3.1.4. Determinación del valor de la carga eléctrica de los agregados .....	69
3.1.5. Determinación del peso y volumen de los agregados. ....	69
3.2. Estudio de los agregados en la zona central de Cercado.....	70
3.2.1. Delimitación de la zona central de Cercado.....	70
3.3. Plantas trituradoras dentro de la zona central de Cercado .....	138
3.3.1. Estudio de las propiedades electrostáticas de los agregados triturados.....	138
3.4. Procedencia del agregado de cada planta trituradora.....	154
3.5. Puntos de estudio en los lugares de procedencia de los agregados.....	156
3.5.1. Río Tolomosa.....	156
3.5.1.1. Primer punto.....	156
3.5.1.2. Segundo punto.....	161
3.5.1.3. Tercer punto .....	165
3.5.1.4. Cuarto punto.....	170
3.5.2. Río Sella.....	174
3.5.2.1. Primer punto.....	175
3.5.2.2. Segundo punto.....	179
3.5.2.3. Tercer punto .....	184
3.5.2.4. Cuarto punto.....	188
3.5.3. Río Guerrahuayco .....	193
3.5.3.1. Primer punto.....	194
3.5.3.2. Segundo punto.....	198
3.6. Análisis estadístico descriptivo.....	204

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN FRÍO**

	<b>Pág.</b>
4.1. Especificaciones según la normativa de la ABC: Gradación.....	213
4.1.1. Selección de plantas trituradoras.....	213
4.2. Caracterización de los agregados .....	216
4.2.1. Granulometría .....	216

4.2.2. Peso unitario.....	217
4.2.3. Peso específico.....	220
4.2.3.1. Peso específico del agregado fino.....	220
4.2.3.2. Peso específico del agregado grueso.....	221
4.2.4. Desgaste Los Ángeles.....	222
4.2.5. Equivalente de arena.....	223
4.2.6. Caras fracturadas.....	224
4.3. Caracterización del ligante asfáltico.....	225
4.3.1. Carga de la partícula.....	226
4.3.2. Viscosidad Saybolt Furol, 50°C.....	227
4.3.3. Sedimentación.....	228
4.3.4. Residuo por destilación.....	228
4.3.5. Penetración (100 gr, 5 s, 25°C).....	229
4.3.6. Ductilidad, 25°C.....	230
4.3.7. Peso específico.....	231
4.3.8. Punto de ablandamiento.....	232
4.4. Diseño de mezclas asfálticas en frío.....	233
4.4.1. Diseño granulométrico-método Marshall Illinois Modificado.....	234
4.4.2. Contenido inicial de emulsión.....	239
4.4.3. Contenido de agua de premezcla.....	239
4.4.4. Test de adhesión.....	244
4.5. Contenido óptimo de asfalto residual.....	246
4.5.1. Contenido de ligante según la granulometría.....	247
4.5.2. Procedimiento: preparación de mezclas asfálticas en frío con emulsión- Método Marshall Illinois Modificado.....	249
4.5.3. Ensayos volumétricos.....	251
4.5.4. Estabilidad y fluencia.....	253
4.6. Planillas Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto residual.....	254
4.7. Elaboración de briquetas con el porcentaje óptimo de asfalto residual.....	272
4.8. Análisis estadístico inferencial.....	279
4.9. Gráficas de dispersión de datos.....	281



4.10. Análisis de precios unitarios .....	290
4.10.1. Análisis comparativo de costos.....	295

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Pág.</b>
Conclusiones .....	296
Recomendaciones.....	300

### **BIBLIOGRAFÍA**

#### **ANEXO**

#### **ANEXO I. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

#### **ANEXO II. CARACTERIZACIÓN DEL LIGANTE ASFÁLTICO**

#### **ANEXO III. DISEÑO GRANULOMÉTRICO**

#### **ANEXO IV. PLANILLAS MARSHALL**

#### **ANEXO V. PLANOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de la variable independiente.....	9
Tabla 1.2. Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente.....	9
Tabla 1.3. Valores frecuentes de la variable estandarizada .....	10
Tabla 1.4. Tabla para establecer las acciones y productos.....	11
Tabla 1.5. Organización de los productos.....	12
Tabla 2.1. Tipo de emulsión según el tipo de emulgente.....	29
Tabla 2.2. Tipo de emulsión según la velocidad de rompimiento. ....	32
Tabla 2.3. Propósitos principales de mezclas con emulsiones asfálticas .....	33
Tabla 2.4. Serie triboeléctrica .....	54
Tabla 3.1. Propiedades físicas de los agregados: Distrito1.....	74
Tabla 3.2. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 2. ....	79
Tabla 3.3. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 3.....	84
Tabla 3.4. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 4.....	88
Tabla 3.5. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 5.....	94
Tabla 3.6. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 6.....	99
Tabla 3.7. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 7.....	103
Tabla 3.8. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 8.....	109
Tabla 3.9. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 9.....	114
Tabla 3.10. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 10.....	119
Tabla 3.11. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 11.....	124
Tabla 3.12. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 12.....	129
Tabla 3.13. Propiedades físicas de los agregados: Distrito 13.....	134
Tabla 3.14. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos “16 de enero”.. ....	139
Tabla 3.15. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos “Garzón”. ....	145
Tabla 3.16. Propiedades físicas del agregado triturado: Áridos “San Blas”.....	150
Tabla 3.17. Procedencia de los agregados que procesan las plantas trituradoras.. ...	154
Tabla 3.18. Propiedades físicas de los agregados: Primer punto (Río Tolomosa)....	157
Tabla 3.19. Propiedades físicas de los agregados:Segundo punto (Río Tolomosa)..	161
Tabla 3.20. Propiedades físicas de los agregados: Tercer punto (Río Tolomosa) ....	166

Tabla 3.21. Propiedades físicas de los agregados:Cuarto punto (Río Tolomosa).....	170
Tabla 3.22. Propiedades físicas de los agregados: Primer punto (Río Sella).....	175
Tabla 3.23. Propiedades físicas de los agregados: Segundo punto (Río Sella).....	180
Tabla 3.24. Propiedades físicas de los agregados: Tercer punto (Río Sella). ....	184
Tabla 3.25. Propiedades físicas de los agregados: Cuarto punto (Río Sella).....	189
Tabla 3.26. Propiedades físicas de los agregados:Primer punto(Río Guerrahuayco).194	
Tabla 3.27. Propiedades físicas de los agregados:Segundo punto (Río Guerrahuayco).....	199
Tabla 3.28. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en la zona central de Cercado.....	206
Tabla 3.29. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en las plantas trituradoras.....	208
Tabla 3.30. Análisis estadístico descriptivo de la polaridad de la carga eléctrica de los agregados estudiados en los ríos de procedencia. ....	208
Tabla 4.1. Requisitos de gradación para la mezcla.....	213
Tabla 4.2. Resultados del ensayo de granulometría: agregado fino.....	217
Tabla 4.3. Resultados del ensayo de granulometría: agregado grueso. ....	217
Tabla 4.4. Resultados del ensayo de peso unitario suelto: agregado fino.....	218
Tabla 4.5. Resultados del ensayo de peso unitario compactado: agregado fino. ....	219
Tabla 4.6. Resultados del ensayo de peso unitario suelto: agregado grueso.....	219
Tabla 4.7. Resultados del ensayo de peso unitario compactado: agregado grueso... 219	
Tabla 4.8. Resultados del ensayo de peso específico: agregado fino.....	221
Tabla 4.9. Resultados del ensayo de peso específico: agregado grueso. ....	222
Tabla 4.10. Resultados del ensayo de desgaste Los Ángeles.....	223
Tabla 4.11. Resultados del ensayo de equivalente de arena. ....	224
Tabla 4.12. Resultados del ensayo de caras fracturadas. ....	225
Tabla 4.13. Especificaciones: Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E. ....	225
Tabla 4.14. Resultado del ensayo de carga de la partícula.....	227
Tabla 4.15. Resultado del ensayo de viscosidad Saybolt Furol. ....	227
Tabla 4.16. Resultado del ensayo de sedimentación.....	228
Tabla 4.17. Resultado del ensayo de destilación.....	229

Tabla 4.18. Resultado del ensayo de penetración. ....	230
Tabla 4.19. Resultado del ensayo de ductilidad. ....	231
Tabla 4.20. Resultado del ensayo de peso específico. ....	232
Tabla 4.21. Resultado del ensayo de punto de ablandamiento. ....	233
Tabla 4.22. Tolerancias para la mezcla. ....	234
Tabla 4.23. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Garzón”.....	235
Tabla 4.24. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “16 de enero”.....	236
Tabla 4.25. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Fernández”.....	237
Tabla 4.26. Resultado del diseño granulométrico: Áridos “Vargas”.....	238
Tabla 4.27. Contenido inicial de emulsión.....	239
Tabla 4.28. Contenido de humedad: Áridos “Garzón”. ....	240
Tabla 4.29. Contenido de humedad Áridos “16 de enero”. ....	240
Tabla 4.30. Contenido de humedad Áridos “Fernández”. ....	241
Tabla 4.31. Contenido de humedad Áridos “Vargas”.....	241
Tabla 4.32. Evaluación visual del porcentaje de cubrimiento. ....	244
Tabla 4.33. Resultados del test de adhesión.....	246
Tabla 4.34. Dosificación de materiales: Áridos “Garzón”.....	247
Tabla 4.35. Dosificación de materiales: Áridos “16 de enero”.....	247
Tabla 4.36. Dosificación de materiales: Áridos “Fernández”.....	248
Tabla 4.37. Dosificación de materiales: Áridos “Vargas”. ....	248
Tabla 4.38. Planillas Marshall: Áridos “Garzón”. ....	256
Tabla 4.39. Planillas Marshall: Áridos “16 de enero”. ....	260
Tabla 4.40. Planillas Marshall: Áridos “Fernández”. ....	264
Tabla 4.41. Planillas Marshall: Áridos “Vargas”.....	268
Tabla 4.42. Dosificación de materiales para mezclas con porcentaje óptimo de residuo asfáltico.....	274
Tabla 4.43. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Garzón”.....	275
Tabla 4.44. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “16 de enero”.....	276

Tabla 4.45. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Fernández”.....	277
Tabla 4.46. Planillas Marshall con porcentaje óptimo de asfalto residual: Áridos “Vargas”.....	278
Tabla 4.47. Análisis del test de adhesión con la polaridad de las cargas eléctricas..	279
Tabla 4.48. Análisis de resultados de los ensayos a los especímenes elaborados con porcentaje óptimo de asfalto residual.....	280
Tabla 4.49. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos “Garzón”.....	291
Tabla 4.50. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos “16 de enero” .....	292
Tabla 4.51. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos “Fernández”.....	293
Tabla 4.52. Análisis de precios unitarios de mezcla asfáltica en frío: Áridos “Vargas”.....	294

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Fig. 1.1. Diagrama del concepto de interés.....	2
Fig. 1.2. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva.....	13
Fig. 1.3. Esquema resumido práctico de actividades. ....	14
Fig. 2.1. Formas de partículas de agregado pétreo.....	19
Fig. 2.2. Esquema de un emulsión asfáltica.....	27
Fig. 2.3. Estructura de una emulsión aniónica.....	29
Fig. 2.4. Estructura de una emulsión catiónica.....	30
Fig. 2.5. Mecanismo de coalescencia de una emulsión asfáltica al contactar con un agregado rocoso.....	32
Fig. 2.6. Experimentos de electrostática. ....	35
Fig. 2.7. Estructura de un átomo.....	37
Fig. 2.8. Electrones, protones y neutrones. ....	38
Fig. 2.9. Teoría de las bandas de los materiales.....	42
Fig.2.10. Cuerpo conductor cargado con cargas positivas.....	42
Fig.2.11. Dieléctrico con cargas.....	43
Fig. 2.12. Material dieléctrico constituido por moléculas polares orientadas al azar..	46
Fig. 2.13. Fuerzas de interacción para el caso de cargas de igual y de distinto signo.	38
Fig. 2.14. Transferencia de cargas en el electroscopio..	52
Fig. 3.1. Especificaciones del electroscopio. ....	61
Fig. 3.2. Especificaciones del electroscopio (imagen).....	62
Fig. 3.3. Especificaciones de las esferas conductoras del electroscopio.....	62
Fig. 3.4. Especificaciones del electrómetro (imagen).....	63
Fig. 3.5. Especificaciones del electrómetro. ....	64
Fig. 3.6. Toma de datos para la calibración del electroscopio. ....	65
Fig. 3.7. Diagrama del péndulo formado por dos globos.....	65
Fig. 3.8. Procedimiento de calibración del electroscopio. ....	67
Fig. 3.9. Procedimiento para cargar positivamente al electroscopio.....	68
Fig. 3.10. Procedimiento para determinar la polaridad con el electrómetro. ....	68

Fig. 3.11. Determinación de la carga eléctrica del agregado. ....	69
Fig. 3.12. Obtención del peso de los agregados. ....	70
Fig. 3.13. Obtención del volumen de los agregados. ....	70
Fig. 3.14. Delimitación de la zona central de Cercado. ....	71
Fig. 3.15. Distritos de la zona urbana de Cercado. ....	72
Fig. 3.16. Conjunto de agregados por distritos para zonificar la zona central de Cercado .....	73
Fig. 3.17. Acopio de agregados en el distrito 1.....	73
Fig. 3.18. Ubicación del punto de acopio en el distrito 1. ....	73
Fig. 3.19. Acopio de agregados en el distrito 2.....	78
Fig. 3.20. Ubicación del punto de acopio en el distrito 2. ....	78
Fig. 3.21. Acopio de agregados en el distrito 3.....	83
Fig. 3.22. Ubicación del punto de acopio en el distrito 3 .....	83
Fig. 3.23. Acopio de agregados en el distrito 4.....	88
Fig. 3.24. Ubicación del punto de acopio en el distrito 4. ....	88
Fig. 3.25. Acopio de agregados en el distrito 5.....	93
Fig. 3.26. Ubicación del punto de acopio en el distrito 5. ....	93
Fig. 3.27. Acopio de agregados en el distrito 6.....	98
Fig. 3.28. Ubicación del punto de acopio en el distrito 6. ....	98
Fig. 3.29. Acopio de agregados en el distrito 7.....	103
Fig. 3.30. Ubicación del punto de acopio en el distrito 7 .....	103
Fig. 3.31. Acopio de agregados en el distrito 8.....	108
Fig. 3.32. Ubicación del punto de acopio en el distrito 8. ....	108
Fig. 3.33. Acopio de agregados en el distrito 9.....	113
Fig. 3.34. Ubicación del punto de acopio en el distrito 9. ....	113
Fig. 3.35. Acopio de agregados en el distrito 10.....	118
Fig. 3.36. Ubicación del punto de acopio en el distrito 10. ....	118
Fig. 3.37. Acopio de agregados en el distrito 11.....	123
Fig. 3.38. Ubicación del punto de acopio en el distrito 11. ....	123
Fig. 3.39. Acopio de agregados en el distrito 12.....	128
Fig. 3.40. Ubicación del punto de acopio en el distrito 12. ....	128

Fig. 3.41. Acopio de agregados en el distrito 13.....	133
Fig. 3.42. Ubicación del punto de acopio en el distrito 13. ....	133
Fig. 3.43. Ubicación de la planta trituradora “16 de enero”. ....	138
Fig. 3.44. Acopio de agregado triturado: Áridos “16 de enero”. ....	139
Fig. 3.45. Estudio de los agregados triturados: Áridos “16 de enero”. ....	139
Fig. 3.46. Ubicación de la planta trituradora “Garzón”. ....	144
Fig. 3.47. Acopio de agregado triturado de la planta trituradora Áridos “Garzón” ..	144
Fig. 3.48. Estudio de agregado triturado: Áridos “Garzón”.....	144
Fig. 3.49. Ubicación planta trituradora: Áridos “San Blas”.....	149
Fig. 3.50. Acopio de agregado triturado: Áridos “San Blas”. ....	149
Fig. 3.51. Estudio de agregado triturado: Áridos “San Blas”. ....	150
Fig. 3.52.. Procedencia del agregado de cada planta trituradora.....	155
Fig. 3.53. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Tolomosa. ....	156
Fig. 3.54. Acopio de material en el primer punto del Río Tolomosa.....	156
Fig. 3.55. Acopio de material en el segundo punto del Río Tolomosa. ....	161
Fig. 3.56. Acopio de material en el tercer punto del Río Tolomosa. ....	165
Fig. 3.57. Acopio de material en el cuarto punto del Río Tolomosa .....	170
Fig. 3.58. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Sella. ....	174
Fig. 3.59. Acopio de material en el primer punto del Río Sella.....	175
Fig. 3.60. Acopio de material en el segundo punto del Río Sella. ....	179
Fig. 3.61. Acopio de material en el tercer punto del Río Sella.. ....	184
Fig. 3.62. Acopio de material en el cuarto punto del Río Sella. ....	188
Fig. 3.63. Ubicación de los puntos de estudio en el Río Guerrahuayco. ....	193
Fig. 3.64. Acopio de material en el primer punto del Río Guerrahuayco.....	194
Fig. 3.65. Acopio de material en el primer punto del Río Guerrahuayco.....	198
Fig. 3.66. Agregados de los cuatro puntos del Río Tolomosa.. ....	203
Fig. 3.67. Agregados de los cuatro puntos del Río Sella. ....	203
Fig. 3.68. Agregados de los dos puntos del Río Guerrahuayco. ....	203
Fig. 3.69. Zonificación de la zona central de Cercado.....	207
Fig. 4.1. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “Garzón”. ..	214



Fig. 4.2. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos“16 de enero”.....	214
Fig.4.3.Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos“Fernández”.	215
Fig. 4.4. Extracción de agregados y visita a la planta trituradora Áridos “Vargas”.	215
Fig. 4.5. Procedimiento del ensayo de granulometría.....	216
Fig. 4.6. Procedimiento del ensayo de peso unitario. ....	218
Fig. 4.7. Procedimiento del ensayo de peso específico: agregado fino. ....	220
Fig. 4.8. Procedimiento del ensayo de peso específico: agregado grueso. ....	221
Fig. 4.9. Procedimiento del ensayo de desgaste Los Ángeles.....	222
Fig. 4.10. Procedimiento del ensayo de equivalente de arena. ....	223
Fig. 4.11. Procedimiento del ensayo de caras fracturadas. ....	224
Fig. 4.12. Emulsión asfáltica EMULTEC RC1C-E.....	226
Fig. 4.13. Procedimiento del ensayo de carga de la partícula.....	226
Fig. 4.14. Procedimiento del ensayo de Viscosidad Saybolt Furol.....	227
Fig. 4.15. Procedimiento del ensayo de sedimentación. ....	228
Fig. 4.16. Procedimiento del ensayo de destilación.....	229
Fig. 4.17. Procedimiento del ensayo de penetración.....	230
Fig. 4.18. Procedimiento del ensayo de ductilidad. ....	231
Fig. 4.19. Procedimiento del ensayo de peso específico.....	232
Fig. 4.20. Procedimiento del ensayo de punto de ablandamiento. ....	233
Fig. 4.21. Curva granulométrica Áridos “Garzón” (aplicando tolerancias).....	235
Fig. 4.22. Curva granulométrica Áridos “16 de enero” (aplicando tolerancias). ....	236
Fig. 4.23. Curva granulométrica Áridos “Fernández” (aplicando tolerancias).....	237
Fig. 4.24. Curva granulométrica Áridos “Vargas” (aplicando tolerancias). ....	238
Fig. 4.25. Procedimiento para determinar el contenido de humedad.....	240
Fig. 4.26. Mezclas realizadas variando el contenido de agua. ....	242
Fig. 4.27. Cubrimiento del árido con 0% de agua de premezcla. ....	242
Fig. 4.28. Cubrimiento del árido con 1% de agua de premezcla. ....	243
Fig. 4.29. Cubrimiento del árido con 2% de agua de premezcla. ....	243
Fig. 4.30. Cubrimiento del árido con 3% de agua de premezcla. ....	243
Fig. 4.31. Cubrimiento del árido con 4% de agua de premezcla. ....	244

Fig. 4.32. Curado de 100 gr de mezcla en el horno, por 24 hrs. ....	245
Fig. 4.33. Hervido y remoción de la mezcla en agua destilada.....	245
Fig. 4.34. Evaluación visual: Test de adhesión.....	246
Fig. 4.35. Pesado de material: árido grueso y fino.....	249
Fig. 4.36. Preparación y compactación de la mezcla.....	250
Fig. 4.37. Extracción de briquetas de los moldes.....	250
Fig. 4.38. Curado de briquetas.....	251
Fig. 4.39. Totalidad de briquetas realizadas para el óptimo de asfalto residual. ....	251
Fig. 4.40. Medición de la altura de las briquetas.....	252
Fig. 4.41. Briquetas dentro del agua y secado superficial.....	252
Fig. 4.42. Peso sumergido de las briquetas.....	253
Fig. 4.43. Forrado de las briquetas.....	254
Fig. 4.44. Ensayo de estabilidad y fluencia.....	254
Fig. 4.45. Briquetas ensayadas.....	254
Fig. 4.46. Denominación de briquetas: Áridos “Garzón”.....	255
Fig. 4.47. Gráfico de estabilidad: Áridos “Garzón”.....	257
Fig. 4.48. Gráfico de densidad:Áridos “Garzón”.....	257
Fig. 4.49. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos “Garzón”.....	257
Fig. 4.50. Gráfico de fluencia: Áridos “Garzón”.....	258
Fig. 4.51. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos “Garzón”.....	258
Fig. 4.52. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos “Garzón”.....	258
Fig. 4.53. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “16 de enero”.....	259
Fig. 4.54. Gráfico de estabilidad: Áridos “16 de enero”.....	261
Fig. 4.55. Gráfico de densidad: Áridos “16 de enero”.....	261
Fig. 4.56. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos “16 de enero”.....	261
Fig. 4.57. Gráfico de fluencia: Áridos “16 de enero”.....	262
Fig. 4.58. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos “16 de enero”.....	262
Fig. 4.59. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos “16 de enero”.....	262
Fig. 4.60. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “Fernández”.....	263

Fig. 4.61. Gráfico de estabilidad: Áridos “Fernández”.....	265
Fig. 4.62. Gráfico de densidad: Áridos “Fernández”.....	265
Fig. 4.63. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos “Fernández”.....	265
Fig. 4.64. Gráfico de fluencia: Áridos “Fernández”.....	266
Fig. 4.65. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos “Fernández”.....	266
Fig. 4.66. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos “Fernández”.....	266
Fig.4.67. Denominación de briquetas con agregados de la planta trituradora Áridos “Vargas”.....	267
Fig. 4.68. Gráfico de estabilidad: Áridos “Vargas”.....	269
Fig. 4.69. Gráfico de densidad: Áridos “Vargas”.....	269
Fig. 4.70. Gráfico de vacíos en la mezcla: Áridos “Vargas”.....	269
Fig. 4.71. Gráfico de fluencia: Áridos “Vargas”.....	270
Fig. 4.72. Gráfico de vacíos-agregado mineral: Áridos “Vargas”.....	270
Fig. 4.73. Gráfico de relación bitumen-vacíos: Áridos “Vargas”.....	270
Fig. 4.74. Briquetas realizadas con el porcentaje óptimo de asfalto residual.....	273
Fig. 4.75. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos “Garzón”....	273
Fig. 4.76. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos “16 de enero”.....	273
Fig. 4.77. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual:Áridos “Fernández”.	274
Fig. 4.78. Briquetas realizadas con óptimo de asfalto residual: Áridos “Vargas”....	274
Fig. 4.79. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Garzón”.....	281
Fig. 4.80. Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Garzón”.....	282
Fig. 4.81. Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Garzón”.....	282
Fig. 4.82. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “16 de enero”.....	283
Fig. 4.83. Dispersión de datos de fluencia: Áridos “16 de enero”.....	284
Fig. 4.84. Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “16 de enero”.....	284
Fig. 4.85. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Fernández”.....	285
Fig. 4.86. Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Fernández”.....	286

Fig. 4.87. Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Fernández”.....	286
Fig. 4.88. Dispersión de datos de estabilidad: Áridos “Vargas”.....	287
Fig. 4.89. Dispersión de datos de fluencia: Áridos “Vargas”. .....	288
Fig. 4.90. Dispersión de datos de porcentaje de vacíos en la mezcla: Áridos “Vargas”.....	288