

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



**“ANÁLISIS DEL TIPO DE FRACTURA PARA DETERMINAR LA  
RESPUESTA A LA FATIGA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

**Por:**

**SEGOVIA MAMANI PATRICIA ADELINA**

Proyecto 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**

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

**“ANÁLISIS DEL TIPO DE FRACTURA PARA DETERMINAR LA  
RESPUESTA A LA FATIGA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS”**

**Por:**

**SEGOVIA MAMANI PATRICIA ADELINA**

**PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV - 502**

**SEMESTRE I - 2018**

**TARIJA - BOLIVIA**

---

M.Sc.Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**Y TECNOLOGÍA**

---

M.Sc.Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**Y TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

---

Ing. Wilson Yucra Rivera  
**TRIBUNAL 1**

---

Ing. Oscar M. Chávez Calla  
**TRIBUNAL 2**

---

Ing. Julio N. Urzagaste Gutiérrez  
**TRIBUNAL 3**

## **DEDICATORIA:**

No puedo contar las veces que caí, ni lo difícil que fue levantarme, lo que sí puedo contar son las veces que decidí intentarlo hasta alcanzarlo.

Al culminar unos de mis objetivos, dedico la presente tesis de grado a:

A Dios: Por darme la fuerza necesaria para seguir a pesar de las adversidades de la vida.

A mi Padre FÉLIX SEGOVIA FLORES: Por nunca dudar de mí, y sobre todo por el amor, la confianza y el ejemplo que me brindo todos estos años de mi vida.

A mi madre ADELINA MAMAMI LEÓN: Por darme la vida, por su amor, por su ejemplo, por luchar juntas por los mismos sueños, y sobre todo por la resistencia y persistencia conmigo.

A mis Familiares: A mi hermana Faviana por ser el ejemplo de una hermana mayor y estar siempre conmigo en momentos difíciles; a mis pequeños Gabriel y Valentina por ser mi motivación para seguir adelante.

A mis amigos: En especial a Diego, por todo el apoyo brindado siempre que lo necesite, y a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

### **AGRADECIMIENTO:**

A Dios por el don de la vida por haber puesto en mí, fe y sabiduría para poder alcanzar uno de mis objetivos más anhelados.

A mis padres y hermanos viviré eternamente agradecida por todo su apoyo, sacrificio, comprensión, formación como persona, que hicieron posible la culminación de uno de mis más grandes objetivos de vida, este logro no es mío es de ustedes gorditos.

A mis docentes, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis, por sus enseñanzas, por la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento, así como también haber tenido paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de esta tesis.

**ADVERTENCIA:**

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

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1 Situación problemática.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivos generales.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 VARIABLES.....	4
1.5.1 Variable independiente.....	4
1.5.2 Variable dependiente.....	4
1.6 ALCANCE.....	6
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.....	6
1.7.1 Componentes.....	6
1.7.1.1 Unidad.....	6
1.7.1.2 Población.....	6
1.7.1.3 Muestra.....	6
1.7.2 Métodos y técnicas.....	7
1.7.3 Tratamiento estadístico.....	10
CAPÍTULO II.....	15
2.1 MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	15
2.2 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	20
2.3 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	29
2.4 FRACTURA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	43
CAPÍTULO III.....	45
3.1 INTRODUCCIÓN.....	45
3.2 UBICACIÓN.....	46
3.3 DESCRIPCIÓN.....	47
3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	50
3.4.1 Granulometría de agregados pétreos.....	50

3.4.1.1	Estudio 1. Santa Ana – Yesera.....	50
3.4.1.2	Estudio 2. Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar.....	57
3.4.1.3	Estudio 3. Santa Bárbara.....	59
3.4.1.4	Estudio 4. Bermejo – San Antonio.....	61
3.4.1.5	Estudio 5. Puerta al Chaco – Canaletas - Villa Montes.....	63
3.4.2	Peso específico de agregados.....	65
3.4.3	Peso unitario de los agregados pétreos.....	83
3.4.4	Desgaste de los ángeles.....	92
3.4.5	Durabilidad del agregado.....	100
3.4.6	Límites.....	110
3.4.7	Caras fracturadas.....	123
3.4.8	Equivalente de arena.....	127
3.5	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	132
3.5.1	Viscosidad.....	132
3.5.2	Penetración.....	137
3.5.3	Peso específico.....	141
3.5.4	Punto de ablandamiento.....	145
3.5.5	Punto de inflamación.....	148
3.6	Elaboración Marshall.....	152
3.7	Dosificación de probetas Marshall.....	156
3.8	RESULTADOS DE LAS PROBETAS MARSHALL.....	171
3.9	ENSAYOS DE FRACTURA.....	174
3.10	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	180
	CAPÍTULO IV.....	205
4.1	CONCLUSIONES.....	205
4.2	RECOMENDACIONES.....	207
	BIBLIOGRAFÍA.....	208
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Serie de tamices (Tamices utilizados en el ensayo).....	51
Tabla 2: Cantidad mínima de muestra a ser utilizada para cada N° de tamiz.....	51
Tabla 3: Combinaciones granulométricas - convencional tipo C (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	55
Tabla 4: Granulometrías de producción (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	56
Tabla 5: Requisitos de gradación para la mezcla (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	56
Tabla 6: Curva proyecta (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	57
Tabla 7: Granulometrías de producción (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal – Cruce Cadillac).....	58
Tabla 8: Requisitos de gradación para la mezcla (Estudio2: Tomatitas - Erquiz Ceibal - Cruce Cadillac).....	58
Tabla 9: Curva proyectada (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal - Cruce Cadillac).....	59
Tabla 10: Granulometrías de producción (Estudio 3: Santa Bárbara).....	60
Tabla 11: Referencias de gradación para la mezcla (Estudio 3: Santa Bárbara).....	60
Tabla 12: Curva proyectada (Estudio 3: Santa Bárbara).....	61
Tabla 13: Granulometrías de producción (Estudio 4: Bermejo - San Antonio).....	62
Tabla 14: Referencia de gradación para la mezcla (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	62
Tabla 15: Curva proyectada (Estudio 4: Bermejo - San Antonio).....	63
Tabla 16: Granulometrías de producción (Estudio 5: Puerta al Chaco-Canaletas- Villa Montes).....	64
Tabla 17: Referencia para la gradación de la mezcla (Estudio 5: Puerta al Chaco - Canaletas - Villa Montes).....	64
Tabla 18: Curva proyectada (Estudio 5: Puerta al Chaco- Canaletas- Villa Montes).....	65
Tabla 19: Cantidad mínima de muestra según tamaño máximo nominal del árido.....	68
Tabla 20: Capacidad del molde en función del tamaño máximo nominal del agregado.....	84
Tabla 21: Tamaños nominales de abertura.....	94
Tabla 22: Grados de ensayo (Definidos por tipos y rangos de tamaños, en mm).....	96

Tabla 23: Tamaño de la muestra de ensaye de áridos finos.....	102
Tabla 24: Tamaño de la muestra de ensaye de áridos gruesos.....	103
Tabla 25: Serie de tamices para examen cuantitativo .....	104
Tabla 26: Resultado de la gravedad específica del asfalto convencional 85 – 100.....	143
Tabla 27: Valores de corrección del punto de inflamación.....	151
Tabla 28: Resultado de gravedades específicas bulk de la combinación de los agregados.....	155
Tabla 29: Resultados de estabilidad obtenidos por Marshall (Estudio 1: Santa Ana- Yesera).....	172
Tabla 30: Resultados de estabilidad obtenidos por Marshall (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillac).....	172
Tabla 31: Resultados de estabilidad obtenidos por Marshall (Estudio 3: Santa Bárbara).....	173
Tabla 32: Resultados de estabilidad obtenidos por Marshall (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	173
Tabla 33: Resultados de estabilidad obtenidos por Marshall (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	174
Tabla 34: Resultados de carga última que soportan las mezclas antes de fracturarse (ordenados de forma ascendente).....	178
Tabla 35: Cuadro comparativo Estabilidad (kg) vs Fractura (kg).....	179
Tabla 36: Valores de estabilidad y fractura (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	180
Tabla 37: Valores aceptables según rango de desviación estándar, de estabilidad y fractura (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	182
Tabla 38: Valores de estabilidad y fractura (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal – Cruce Cadillac).....	184
Tabla 39: Valores aceptables según rango de desviación estándar, de estabilidad y fractura (Estudio 2: Tomatitas. Erquiz Ceibal- Cruce Cadillac.....	186
Tabla 40: Valores de estabilidad y fractura (Estudio 3: Santa Bárbara).....	188
Tabla 41: Valores aceptables según rango de desviación estándar, de estabilidad y fractura (Estudio 3: Santa Bárbara).....	190
Tabla 42: Valores de estabilidad y fractura (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	192

Tabla 43: Valores aceptables según rango de desviación estándar, de estabilidad y fractura (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	194
Tabla 44: Valores de estabilidad y fractura (Estudio 5: Puerta al Chaco- Canaletas – Villa Montes).....	196
Tabla 45: Valores aceptables según rango de desviación estándar, de estabilidad y fractura (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes.....	198

### **ÍNDICE DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1: Diagrama de flujo para asfalto de petróleo.....	23
Ilustración 2: Máquina de los ángeles.....	35
Ilustración 3: Viscosímetro Saybolt furol.....	38
Ilustración 4: Ensayo de penetración.....	39
Ilustración 5: Punto de ablandamiento anillo y bola.....	40
Ilustración 6: Aparato para determinar límite líquido.....	118
Ilustración 7: Sección de la ranura en la pasta de suelo antes y después del ensaye acanaladores.....	118

### **ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS**

Fotografía 1: Agregado procesado triturado y tamizado.....	29
Fotografía 2: Equipo Marshall.....	33
Fotografía 3: Grava 3/4".....	36
Fotografía 4: Gravilla 3/8".....	36
Fotografía 5: Cementos asfálticos convencionales.....	37
Fotografía 6: Tamizado de material grueso para ensayos de granulometría.....	52
Fotografía 7: Tamizado de material grueso (gravilla) para ensayos de granulometría...52	
Fotografía 8: Tamizado de material fino para ensayos de granulometría.....	53
Fotografía 9: Cálculo y registro de material fino para ensayo de granulometría.....	54
Fotografía 10: Muestra lavada para ensayo de peso específico.....	69
Fotografía 11: Secado de muestra agregado grueso para ensayo de peso específico.....	70
Fotografía 12: Calibración de balanza para pesado de agregado grueso.....	70

Fotografía 13: Pesado de material grueso para peso específico.....	71
Fotografía 14: Corte del material en el tamiz N° 4 (4,75 mm).....	76
Fotografía 15: Colocado de árido en el molde cónico para determinar la condición saturada superficialmente seca.....	77
Fotografía 16: Muestra de árido fino + agua a una temperatura de 20°C.....	78
Fotografía 17: Peso y registro de la masa del matraz con agua.....	78
Fotografía 18: Colocado de los agregados en sus respectivos moldes.....	85
Fotografía 19: Nivelación de la superficie del agregado grueso con una regla enrasadora.....	86
Fotografía 20: Nivelación de la superficie con una regla enrasadora (Agregado fino).....	86
Fotografía 21: Determinación del peso del molde con agregado fino.....	87
Fotografía 22: Llenado del molde a un tercio de su altura con agregado grueso.....	88
Fotografía 23: Nivelación de la superficie del agregado grueso después de ser varillado.....	89
Fotografía 24: Máquina de los ángeles.....	93
Fotografía 25: Esferas de acero.....	95
Fotografía 26: Muestra colocada en la máquina de los ángeles para el ensayo.....	97
Fotografía 27: Realización del ensayo de los ángeles.....	98
Fotografía 28: Preparación de solución de sulfato de sodio.....	101
Fotografía 29: Peso de agregados grueso y fino para ensayo de durabilidad.....	105
Fotografía 30: Preparación de cada fracción de agregado según tabla.....	105
Fotografía 31: Material preparado con sulfato de sodio.....	107
Fotografía 32: Material de ensayo de sulfato de sodio en el horno.....	107
Fotografía 33: Peso de las cápsulas sin muestra para ensayo de límites.....	113
Fotografía 34: Colocado de la muestra en la taza casa grande con ayuda de la espátula.....	114
Fotografía 35: División de la pasta de suelo con el acanalador.....	115
Fotografía 36: Extracción de muestra de material en una cápsula (tara).....	115
Fotografía 37: Peso de la muestra + cápsula para la determinación de humedad.....	116
Fotografía 38: Clasificación de partículas fracturadas y no fracturadas.....	124

Fotografía 39: Inspección y detección de partículas fracturadas.....	125
Fotografía 40: Peso de partículas fracturadas.....	125
Fotografía 41: Llenado de la probeta con cloruro de calcio.....	128
Fotografía 42: Colocado de la muestra de arena.....	128
Fotografía 43: Muestras de arena en reposo.....	129
Fotografía 44: Probeta más muestra después de ser agitada.....	129
Fotografía 45: Lavado de las paredes interiores de la probeta con disolución.....	130
Fotografía 46: Introducción del tubo irrigador.....	130
Fotografía 47: Ensayo equivalente de arena en reposo.....	131
Fotografía 48: Vertido del material.....	134
Fotografía 49: Control de la temperatura.....	135
Fotografía 50: Segundos después de retirar el corcho.....	135
Fotografía 51: Lectura de penetración 25°C, 5 segundos y con un peso de 100 grs.....	139
Fotografía 52: Muestras de asfaltos.....	143
Fotografía 53: Registro de peso picnómetro + asfalto + agua.....	143
Fotografía 54: Colocación del betún.....	146
Fotografía 55: Colocación de esferas en el anillo.....	146
Fotografía 56: Preparación de la muestra para determinar el punto de inflamación.....	150
Fotografía 57: Determinación del punto de inflamación.....	150
Fotografía 58: Preparación del material para las briquetas.....	157
Fotografía 59: Preparación de bandejas para dosificación Marshall.....	158
Fotografía 60: Bandejas separadas para cada briqueta la cantidad necesaria.....	158
Fotografía 61: Muestras preparadas para dosificación Marshall llevadas al horno.....	159
Fotografía 62: Incorporación de cemento asfáltico para dosificación Marshall.....	159
Fotografía 63: Briqueta en proceso de fabricación.....	160
Fotografía 64: Preparación de la mezcla asfáltica.....	160
Fotografía 65: Preparación de moldes a temperaturas próximas de la compactación.....	161
Fotografía 66: Preparación del molde.....	161
Fotografía 67: Mezcla elaborada para posterior compactación Marshall.....	162
Fotografía 68: Compactación de briquetas Marshall.....	162

Fotografía 69: Briquetas a temperatura ambiente.....	163
Fotografía 70: Extracción de briquetas.....	163
Fotografía 71: Obtención de briquetas para la investigación.....	164
Fotografía 72: Medición de la altura de las briquetas.....	165
Fotografía 73: Peso de las briquetas - peso seco.....	165
Fotografía 74: Peso de las briquetas - peso sumergido en agua.....	166
Fotografía 75: Preparación de agua a 60°C para baño de agua a las briquetas.....	169
Fotografía 76: Determinación de la estabilidad Marshall.....	170
Fotografía 77: Probetas Marshall cortadas para ser llevadas a ensayos de fractura.....	175
Fotografía 78: Molde para la adaptación a la prensa Marshall, para realizar los ensayos por fractura.....	175
Fotografía 79: Probeta Marshall de forma semicircular, ensayada a fractura.....	176
Fotografía 80: Muestra de forma semicircular, ensayada a fractura.....	176
fotografía 81: Ensayo de fractura a muestras elaboradas.....	177

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Estabilidad (kg) vs Fractura (kg) (Estudio 1: Santa Ana -Yesera).....	182
Gráfico 2: Estabilidad (kg) vs Fractura (kg) (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal - Cruce Cadillac).....	186
Gráfico 3: Estabilidad (kg) vs Fractura (kg) (Estudio 3: Santa Bárbara).....	190
Gráfico 4: Estabilidad (kg) vs Fractura (kg) (Estudio 4: Bermejo- San Antonio).....	194
Gráfico 5: Estabilidad (kg) vs Fractura (kg) (Estudio 5: Puerta al Chaco- Canaletas- Villa Montes).....	198

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Parámetros de clasificación de mezclas asfálticas .....	19
Cuadro 2: Tipo de gradaciones según granulometría.....	35
Cuadro 3: Propiedades de las mezclas asfálticas.....	41
Cuadro 4: Procedencia de materiales para el tramo Santa Ana - Yesera (Estudio 1).....	48
Cuadro 5: Procedencia de materiales para el tramo Tomatitas - Erquiz Ceibal –	

Cruce Cadillar (Estudio 2).....	48
Cuadro 6: Procedencia de materiales para el tramo Santa Bárbara (Estudio 3).....	49
Cuadro 7: Procedencia de materiales para el tramo Bermejo - San Antonio (Estudio 4).....	49
Cuadro 8: Procedencia de materiales para el tramo Puerta al Chaco-Canaletas-Villa Montes (Estudio 5).....	50
Cuadro 9: Porcentaje de agregados pétreos a ser utilizados para dosificación Marshall (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	55
Cuadro 10: Aporte porcentual de agregados en peso (Estudio 1: Santa Ana – Yesera)..	57
Cuadro 11: Aporte porcentual de agregados en peso (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal - Cruce Cadillar).....	59
Cuadro 12: Aporte porcentual de agregados en peso (Estudio 3: Santa Bárbara).....	61
Cuadro 13: Aporte porcentual de agregados en peso (Estudio 4: Bermejo -San Antonio).....	63
Cuadro 14: Aporte porcentual de agregados (Estudio 5: Puerta al Chaco-Canaletas- Villa Montes).....	65
Cuadro 15: Peso específico de los agregados pétreos (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	82
Cuadro 16: Peso específico de los agregados pétreos (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal - Cruce Cadillar).....	82
Cuadro 17: Peso específico de los agregados pétreos (Estudio 3: Santa Bárbara).....	82
Cuadro 18: Peso específico de los agregados pétreos (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	82
Cuadro 19: Peso específico de los agregados pétreos (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	83
Cuadro 20: Peso unitario de los agregados pétreos (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	91
Cuadro 21: Peso unitario de los agregados pétreos (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	91
Cuadro 22: Peso unitario de los agregados pétreos (Estudio 3: Santa Bárbara).....	91
Cuadro 23: Peso unitario de los agregados pétreos (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	92

Cuadro 24: Peso unitario de los agregados pétreos (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	92
Cuadro 25: Desgaste de los ángeles (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	99
Cuadro 26: Desgaste de los ángeles (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	99
Cuadro 27: Desgaste de los ángeles (Estudio 3: Santa Bárbara).....	99
Cuadro 28: Desgaste de los ángeles (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	99
Cuadro 29: Desgaste de los ángeles (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	99
Cuadro 30: Durabilidad de los agregados pétreos (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	109
Cuadro 31: Durabilidad de los agregados pétreos (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	109
Cuadro 32: Durabilidad de los agregados pétreos (Estudio 3: Santa Bárbara).....	109
Cuadro 33: Durabilidad de los agregados pétreos (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	110
Cuadro 34: Durabilidad de los agregados pétreos (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	110
Cuadro 35: Límites (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	122
Cuadro 36: Límites (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	122
Cuadro 37: Límites (Estudio 3: Santa Bárbara).....	123
Cuadro 38: Límites (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	123
Cuadro 39: Límite (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	123
Cuadro 40: Caras fracturadas (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	126
Cuadro 41: Caras fracturadas (Estudio 2: Tomatitas- Erquiz Ceibal- Cruce Cadillar).....	126
Cuadro 42: Caras fracturadas (Estudio 3: Santa Bárbara).....	126
Cuadro 43: Caras fracturadas (Estudio 4: Bermejo - San Antonio).....	126
Cuadro 44: Caras Fracturadas (Estudio 5: Puerta al Chaco- Canaletas- Villa Montes).....	127
Cuadro 45: Equivalente de arena (Estudio 1: Santa Ana - Yesera).....	131
Cuadro 46: Equivalente de arena (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	132

Cuadro 47: Equivalente de arena (Estudio 3: Santa Bárbara).....	132
Cuadro 48: Equivalente de arena (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	132
Cuadro 49: Equivalente de arena (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes) .....	132
Cuadro 50: Promedios de viscosidad Saybolt asfalto convencional 85 – 100.....	136
Cuadro 51: Viscosidad Saybolt furol con cemento asfáltico 85 - 100 (Estudio 1: Santa Ana -Yesera).....	136
Cuadro 52: Viscosidad Saybolt furol con cemento asfáltico 85 - 100 (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	136
Cuadro 53: Viscosidad Saybolt furol con cemento asfáltico 85 - 100 (Estudio 3: Santa Bárbara).....	136
Cuadro 54: Viscosidad Saybolt furol con cemento asfáltico 60 – 70 (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	137
Cuadro 55: Viscosidad Saybolt furol con cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	137
Cuadro 56: Promedio ensayo de penetración con cemento asfáltico convencional 85-100.....	139
Cuadro 57: Penetración a 25°C; 100 grs.; 5 Seg.; cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 1: Santa Ana –Yesera).....	140
Cuadro 58: Penetración a 25°C; 100 grs.; 5 Seg.; cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 2: Tomatitas - Erquiz Ceibal -Cruce Cadillar).....	140
Cuadro 59: Penetración a 25°C; 100 grs.; 5 Seg.; cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 3: Santa Bárbara).....	140
Cuadro 60: Penetración a 25°C; 100 grs.; 5 Seg.; cemento asfáltico 60 – 70 (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	140
Cuadro 61: Penetración a 25°C; 100 grs.; 5 Seg.; cemento asfáltico 85–100 (Estudio 5: Puerta al Chaco –Canaletas –Villa Montes).....	140
Cuadro 62: Peso específico cemento asfáltico 85-100 (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	144
Cuadro 63: Peso específico cemento asfáltico 85-100 (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	144

Cuadro 64: Peso específico cemento asfáltico 85-100 (Estudio 3: Santa Bárbara).....	144
Cuadro 65: Peso específico cemento asfáltico 60 – 70 (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	144
Cuadro 66: Peso específico cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	145
Cuadro 67: Punto de ablandamiento cemento asfáltico 85 -100 (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	147
Cuadro 68: Punto de ablandamiento cemento asfáltico 85 -100 (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	147
Cuadro 69: Punto de ablandamiento cemento asfáltico 85 -100 (Estudio 3: Santa Bárbara).....	147
Cuadro 70: Punto de ablandamiento cemento asfáltico 60 - 70 (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	147
Cuadro 71: Punto de ablandamiento cemento asfáltico 85 -100 (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes).....	147
Cuadro 72: Resultado del punto de inflamación asfalto convencional.....	151
Cuadro 73: Punto de inflamación cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 1: Santa Ana – Yesera).....	151
Cuadro 74: Punto de inflamación cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar).....	152
Cuadro 75: Punto de inflamación cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 3: Santa Bárbara).....	152
Cuadro 76: Punto de inflamación cemento asfáltico 60 – 70 (Estudio 4: Bermejo – San Antonio).....	152
Cuadro 77: Punto de inflamación cemento asfáltico 85 – 100 (Estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes) .....	152
Cuadro 78: Resumen de control de calidad asfalto convencional (Estudio1: Santa Ana - Yesera).....	155
Cuadro 79: Juego de tamices .....	156
Cuadro 80: Rango de valores aceptables de fractura según desviación estándar para el estudio 1: Santa Ana - Yesera.....	181

Cuadro 81: Rango de valores aceptables de estabilidad según desviación estándar para el estudio 1: Santa Ana – Yesera.....	181
Cuadro 82: Rango de valores aceptables de fractura según desviación estándar para el estudio 2: Tomatitas- Erquiz Ceibal- Cruce Cadillar.....	185
Cuadro 83: Rango de valores aceptables de estabilidad según desviación estándar para el estudio 2: Tomatitas- Erquiz Ceibal- Cruce Cadillar.....	185
Cuadro 84: Rango de valores aceptables de fractura según desviación estándar para el estudio 3: Santa Bárbara.....	189
Cuadro 85: Rango de valores aceptables de estabilidad según desviación estándar para el estudio 3: Santa Bárbara.....	189
Cuadro 86: Rango de valores aceptables de fractura según desviación estándar para el estudio 4: Bermejo – San Antonio.....	193
Cuadro 87: Rango de valores aceptables de estabilidad según desviación estándar para el estudio 4: Bermejo – San Antonio.....	193
Cuadro 88: Rango de valores aceptables de fractura según desviación estándar para el estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes.....	197
Cuadro 89: Rango de valores aceptables de estabilidad según desviación estándar para el estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas -Villa Montes.....	197
Cuadro 90: Cuadro comparativo de procedencia y porcentajes óptimos de cada tramo en estudio.....	200
Cuadro 91: Cuadro comparativo de caracterización para agregados pétreos de los tramos en estudio.....	201
Cuadro 92: Cuadro comparativo de caracterización de cementos asfálticos de los tramos en estudio.....	202
Cuadro 93: Cuadro comparativo de la estabilidad Marshall y fractura después de la depuración de valores dispersos de los tramos en estudio.....	203
Cuadro 94: Cuadro comparativo de valores de estabilidad Marshall y fractura de los tramos en estudio.....	204

## **ANEXOS**

### **ANEXO 1**

Ensayo de agregados estudio 1: Santa Ana – Yesera

Ensayos de asfaltos estudio 1: Santa Ana – Yesera

Datos de ensayo diseño de la mezcla asfáltica estudio 1: Santa Ana – Yesera proporcionados por SEDECA

### **ANEXO 2**

Ensayo de agregados estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar

Ensayo de asfaltos estudio 2: Tomatitas – Erquiz Ceibal – Cruce Cadillar

Datos de ensayo diseño de la mezcla asfáltica estudio 2: Tomatitas- Erquiz Ceibal- Cruce Cadillar proporcionados por SEDECA

### **ANEXO 3**

Ensayo de agregados estudio 3: Santa Bárbara

Ensayo de asfaltos estudio 3: Santa Bárbara

Datos de ensayo diseño de la mezcla asfáltica estudio 3: Santa Bárbara proporcionados por SEDECA

### **ANEXO 4**

Ensayo de agregados estudio 4: Bermejo - San Antonio

Ensayo de asfaltos estudio 4: Bermejo – San Antonio

Datos de ensayo diseño de la mezcla asfáltica estudio 4: Bermejo – San Antonio proporcionados por SEDECA

### **ANEXO 5**

Ensayo de agregados estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes

Ensayo de asfaltos estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes

Datos de ensayo diseño de la mezcla asfáltica estudio 5: Puerta al Chaco – Canaletas – Villa Montes proporcionados por SEDECA

### **ANEXO 6**

Documentación de respaldo