

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



**“COMPARACIÓN DEL MÉTODO ALEMÁN
(HOMOGENEIDAD) Y AMERICANO (PG- GRADE) DE LA
REUSABILIDAD DEL RAP EN NUEVAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS”**

Por:

YASMANI HILARIO ORTEGA JURADO

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 - 2022

TARIJA-BOLIVIA

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

**“COMPARACIÓN DEL MÉTODO ALEMÁN
(HOMOGENEIDAD) Y AMERICANO (PG- GRADE) DE LA
REUSABILIDAD DEL RAP EN NUEVAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS”**

Por:

YASMANI HILARIO ORTEGA JURADO

SEMESTRE I - 2022

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA:

El presente trabajo lo dedico primeramente a Dios por brindarme el regalo de la vida y por permitirme alcanzar mis metas, estar siempre conmigo en cada momento de mi vida siendo mi fortaleza en los momentos adversos.

A mi madre quien desde el cielo siempre estuvo apoyándome en todo y ahora estará muy orgullosa por haber alcanzado esta meta en mi vida.

A mis hermanos (as): por todo su apoyo y porque siempre he contado con ellos en todo momento.

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 DISEÑO TEÓRICO.....	2
1.3.1 Planteamiento del problema.....	2
1.3.2 Situación problemica.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 Objetivo general.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 HIPÓTESIS.....	4
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.....	4
1.6.1 Variables independientes.....	4
1.6.2 Variables dependientes.....	4
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.....	4
1.7.1 Componentes.....	4
1.7.1.1 Unidad de estudio.....	4
1.7.1.2 Población.....	4
1.7.1.3 Muestra.....	4
1.7.1.4 Muestreo.....	5
1.7.2 Métodos y técnicas empleadas	5
1.7.3 Descripción de equipos e instrumentos.....	6
1.8 PROCEDIMIENTOS PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	7

1.8.1	Tratamientos de los datos (empleo de la estadística).....	7
1.9	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	10

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

		Página
2.1	INTRODUCCIÓN.....	11
2.1.1	Antecedentes de asfaltos	11
2.1.2	Caracterización de los materiales asfálticos.....	13
2.2	MEZCLAS ASFÁLTICAS	13
2.2.1	Clasificación	14
2.2.2	Características de las mezclas asfálticas	16
2.2.3	Componentes de las mezclas asfálticas.....	17
2.3	AGREGADOS.....	17
2.3.1	Agregado grueso	18
2.3.2	Agregado fino.....	18
2.3.3	Filler	19
2.3.4	Pruebas de laboratorio.....	20
2.3.5	Pavimento asfáltico reciclado (RAP).....	20
2.4	ASFALTO DE PETRÓLEO	21
2.4.1	Propiedades del asfalto.....	22
2.4.2	Cementos asfálticos.....	22
2.5	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL	23
2.5.1	Metodología	23
2.5.2	Propósito de la metodología.....	24
2.5.3	Descripción general.....	24
2.5.4	Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	26
2.5.4.1	Determinación del contenido de cemento asfáltico	26
2.5.4.1.1	Contenido mínimo de cemento asfáltico.....	27
2.5.4.2	Estimación del porcentaje óptimo de asfalto	29

2.5.4.3	Granulometría	30
2.5.4.4	Golpes de compactación	30
2.6	RAP	30
2.6.1	Introducción	30
2.6.2	Definición.....	32
2.6.3	Extracción	32
2.6.4	Aplicaciones.....	33
2.6.4.1	Agregado de una base	33
2.6.4.2	Agregado de bases estabilizadas	34
2.6.4.3	Mezcla asfáltica.....	34
2.6.5	Beneficios de la utilización de RAP.....	35
2.6.5.1	Beneficios ambientales.....	35
2.6.5.2	Beneficios económicos.....	35
2.6.6	Tipos de reciclado	35
2.6.6.1	Reciclado in situ “en el lugar”	35
2.6.6.2	Reciclado en planta	35
2.6.6.1.1	Reciclado in situ “en caliente.....	35
2.6.6.1.2	Reciclado in situ “en frío.....	36
2.6.6.2.1	Reciclado en planta en caliente.....	37
2.6.6.2.2	Reciclado en planta en frío.....	38
2.6.7	Transporte, puesta en obra y compactación de mezclas asfálticas recicladas en caliente en planta	39
2.7	UTILIZACIÓN DEL ASFALTO RECICLADO.....	39
2.7.1	Requisitos previos para alta tasa de reciclaje.....	40
2.8	MÉTODOS DE CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE REUTILIZACIÓN DE RAP EN LA NUEVA MEZCLA	41
2.8.1	El método de la homogeneización	41
2.8.1.1	Determinación del contenido de aglutinante asfáltico en la mezcla asfáltica.....	42
2.8.1.2	Determinación de la cantidad de adición del RAP.....	43
2.8.2	El método PG- Grade	45
2.8.2.1	Definición.....	45

2.8.2.2	Especificación	45
2.8.2.3	Niveles de variación del grado PG.....	45
2.8.2.4	Cálculo de las temperaturas del aire.....	46
2.8.2.5	Cálculo de las temperaturas del pavimento.....	47
2.8.2.5.1	Temperatura máxima del pavimento.....	47
2.8.2.5.2	Temperatura mínima del pavimento	47
2.8.2.6	Determinación del grado PG	48
2.8.2.7	Procedimiento a realizar.....	49
2.9	MARCO NORMATIVO EN ALEMANIA	49
2.9.1	Carreteras y reglamentos.....	49
2.9.2	Normas DIN	51
2.9.2.1	Ensayos Técnicos.....	51
2.9.2.2	Inspección inicial y certificado de aprobación.....	52
2.9.2.3	Determinación del contenido de ligante en la mezcla asfáltica	54
2.9.2.4	Defectos por error en la cantidad de ligante.....	55
2.9.3	Asfaltos utilizados en Alemania.....	55
2.9.4	Norma alemana Technische Lieferbedingungen für Asphaltmischgut für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen TL Asphalt- StB 07/13.....	56
2.9.4.1	Anexo D	56
2.9.5	Equipos de pruebas de calidad para la caracterización de ligantes bituminosos y de mezclas asfálticas utilizados en Alemania	59
2.9.5.1	Aparato Anillo y Bola automático	59
2.9.5.2	Prueba de penetración betún	60
2.9.5.3	Ductilómetro automático digital	61
2.9.5.4	Punto de ruptura según Frass	63
2.9.5.5	Dynamical Shear Rheometer – DSR.....	64
2.9.5.6	Bending Beam Rheometer – BBR	65
2.9.5.7	Horno de envejecimiento – PAV	66
2.9.5.8	Horno de película delgada- RTFO	67

CAPÍTULO III
DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON RAP

	Página
3.1 DESCRIPCIÓN DE CRITERIOS E IDENTIFICACIÓN DE LA ZONA DE MUESTREO	70
3.1.1 Cemento asfáltico.....	71
3.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.	72
3.2.1 Granulometría	72
3.2.2 Peso específico y porcentaje de absorción	80
3.2.2.1 Peso específico a granel, con superficie seca, saturada y la absorción de agua en agregados gruesos (ASTM E 127 AASHTO T 85- 91)	80
3.2.2.2 Método para determinar el peso específico a granel, con superficie seca, peso específico aparente y la absorción de agua en agregados finos (ASTM E 128 AASHTO T 84-00)	86
3.2.3 Método para determinar el peso unitario de agregados (ASTM E 30 AASHTO T19M-00)	91
3.2.4 Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).....	95
3.2.5 Equivalente de arena (ASTM D 2419).....	100
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	101
3.3.1 Ensayo de penetración (ASTM D-5).....	101
3.3.2 Ensayo de peso específico (ASTM-70).....	103
3.3.3 Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)	106
3.3.4 Ensayo de punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D-92).....	108
3.3.5 Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36).....	109
3.3.6 Ensayo de viscosidad Saybolt – Furol (ASTM E- 102).....	111
3.4 PAVIMENTO ASFÁLTICO RECUPERADO (RAP)	114
3.4.1 Antecedentes del RAP utilizado.....	114

3.4.2	Método para determinar el contenido de ligante de mezcla asfáltica por centrifugación – ensayo de extracción	115
3.4.3	Análisis granulométrico de áridos (AASHTO T27-99 y ASTM E-40)	121
3.4.4	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (ASTM D 5821-95)	124
3.4.5	Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas (ASTM D 4791-10).....	126
3.4.5.1	Partículas alargadas.....	126
3.4.5.2	Partículas Aplanadas	127
3.4.6	Ensayo de Abrasión por medio de la Maquina de los Ángeles (AASHTO T96-99 y ASTM C- 131).....	129
3.4.7	Peso Específico (AASHTO T85-91 y ASTM D-127)	131
3.4.8	Gravedad Específica en Agregados Finos (AASHTO T84-00 y ASTM E-128).....	132
3.5	MÉTODO DE LA HOMOGENEIZACIÓN.....	134
3.5.1	Procedimiento	134
3.5.2	Determinación de la cantidad de Adición del RAP	134
3.6	MÉTODO PG – GRADE.....	140
3.6.1	Selección del grado asfáltico.....	140
3.6.2	Recolección de información de temperaturas del Departamento de Tarija	141
3.6.3	Cálculo de las temperaturas del aire.....	142
3.6.4	Cálculo de las temperaturas del pavimento.....	145
3.6.4.1	Temperatura máxima del pavimento.....	145
3.6.4.2	Temperatura mínima del pavimento	145
3.7	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA POR EL MÉTODO DE MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO	149
3.7.1	Equipo	149
3.7.2	Granulometría de la mezcla	150
3.7.3	Determinación del contenido de cemento asfáltico	152
3.7.4	Desarrollo de las briquetas	155
3.7.5	Ensayos para determinar la densidad de la mezcla	156
3.7.6	Ensayos de estabilidad y fluencia	158
3.7.7	Contenido óptimo de cemento asfáltico.....	160

3.8 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON RAP	165
3.8.1 Porcentajes de agregados y porcentaje de RAP a usar.....	165
3.8.2 Ensayos de densidad, porcentaje de vacíos y relación betumen vacíos de la mezcla asfáltica convencional y modificada con RAP	165
3.8.3 Ensayos de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica convencional y modificada con RAP	167
3.8.4 Ensayos de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica convencional modificada con RAP con variaciones del PG	169
3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS	177
3.10 ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA DIFERENTE MEZCLA ASFÁLTICA.....	190
3.10.1 Cálculo del rendimiento de los materiales	190

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1 CONCLUSIONES	201
4.2 RECOMENDACIONES.....	203

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1 Especificaciones técnicas del RAP

Anexo 2 Caracterización de los agregados pétreos

Anexo 3 Caracterización del cemento asfáltico

Anexo 4 Contenido óptimo del cemento asfáltico, investigación sobre el efecto de RAP
en mezclas asfálticas

Anexo 5 Caracterización del material reciclado

Anexo 6 Estaciones meteorológicas utilizadas

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Página
Imagen 2.1 Acopio de materiales RAP	31
Imagen 2.2 Extracción por fresado	32
Imagen 2.3 Extracción por fractura.....	33
Imagen 2.4 Metodología alemana para cálculo del porcentaje de RAP	42
Imagen 2.5 Máxima cantidad de adición de RAP en %	43
Imagen 2.6 Clasificación del grado de desempeño del cemento asfáltico.....	48
Imagen 2.7 Mapa de las carreteras en Alemania (2018).....	50
Imagen 2.8 Aparato Anillo y Bola automático	59
Imagen 2.9 Penetrómetro automático	60
Imagen 2.10 Ductilómetro automático digital	61
Imagen 2.11 Recuperación elástica.....	62
Imagen 2.12 Ensayo de ductilidad	63
Imagen 2.13 Equipo para el Ensayo de ruptura Frass	63
Imagen 2.14 Reómetro de cizallamiento dinámico.....	64
Imagen 2.15 Reómetro de haz de curvatura – BBR.....	65
Imagen 2.16 Horno de envejecimiento por presión (largo plazo)- PAV	67
Imagen 2.17 Horno de película fina RTFOT (corto plazo) RTFOT	68
Imagen 3.1. Ubicación de la planta de la Alcaldía de la provincia Cercado.....	70
Imagen 3.2 Acopio de agregados planta de asfaltos alcaldía de Cercado.....	71
Imagen 3.3 Muestra seca sacada del horno agregado grueso.....	73
Imagen 3.4 Muestra seca sacada del horno agregado intermedio (gravilla).....	73
Imagen 3.5 Juego de tamices para granulometría	74
Imagen 3.6 Muestra seca agregado fino (arena)	74
Imagen 3.7 Juego de tamices para granulometría para agregado fino	75
Imagen 3.8 Obtención de pesos retenidos en cada tamiz.....	75

Imagen 3.9 Secado superficial del agregado pétreo saturado	81
Imagen 3.10 Obtención del peso de las muestras superficialmente seca.....	82
Imagen 3.11 Muestra sumergida.....	82
Imagen 3.12 Muestra secas del horno después de 24 horas.....	83
Imagen 3.13 Muestra retirada del cono, saturada superficialmente seca.....	87
Imagen 3.14 Peso del agregado fino más el matraz y agua	88
Imagen 3.15 Peso de la muestra secada en horno	88
Imagen 3.16 Pesado los moldes vacíos para realizar la práctica.....	91
Imagen 3.17 Llenado en el recipiente	92
Imagen 3.18 Enrazado los moldes con el agregado de manera suelta y varillado	92
Imagen 3.19 Muestra sacada de la máquina de los ángeles a 500 revoluciones.....	96
Imagen 3.20 Separación por el tamiz N°12 y lavado.....	97
Imagen 3.21 Peso del material después del lavado y secado en horno (24 horas)	97
Imagen 3.22 Ensayo de equivalente de arena	100
Imagen 3.23 Ensayo de penetración.....	102
Imagen 3.24 Ensayo de peso específico acondicionamiento de muestras	104
Imagen 3.25 Ensayo de peso específico determinación de la masa de la muestra.....	104
Imagen 3.26 Ensayo de ductilidad, acondicionamiento de muestras.....	106
Imagen 3.27 Ensayo de ductilidad, proceso de elongación de las muestras.....	107
Imagen 3.28 Ensayo de punto de inflamación	108
Imagen 3.29 Colocación del cemento asfáltico en los anillos	110
Imagen 3.30 Ensayo de punto de ablandamiento.....	110
Imagen 3.31 Equipo y materiales utilizados en el ensayo	112
Imagen 3.32 Tomando la temperatura	112
Imagen 3.33 Asfalto pasando del viscosímetro Saybolt-Furol al matraz aforado	113
Imagen 3.34 Recolección del material.....	115
Imagen 3.35 Muestra de RAP a ensayar	116

Imagen 3.36 Horno donde se calentó la muestra	117
Imagen 3.37 Muestra sacada del horno.....	117
Imagen 3.38 Colocación del RAP en el extractor.....	118
Imagen 3.39 Lavado del RAP en el extractor	118
Imagen 3.40 Papel filtro utilizado en el ensayo	119
Imagen 3.41 Muestra de RAP seca sacada del horno	119
Imagen 3.42 Separación del RAP en gravas, gravillas, arenas y filler	120
Imagen 3.43 Juego de tamices para la granulometría	121
Imagen 3.44 Muestra de RAP separada en gravas, gravillas, arenas y filler	122
Imagen 3.45 Caras fracturadas del agregado	125
Imagen 3.46 Equipo donde se ensayó el alargamiento del agregado.....	126
Imagen 3.47 Realizando el ensayo del alargamiento del agregado	126
Imagen 3.48 Tamices para el ensayo de aplanamiento.....	127
Imagen 3.49 Realizando el tamizado correspondiente.....	128
Imagen 3.50 Material retenido en el tamiz.....	128
Imagen 3.51 Colocación del material en equipo desgaste de los ángeles	130
Imagen 3.52 Material después de realizar el ensayo.....	130
Imagen 3.53 Realizando el secado superficialmente del material correspondiente	131
Imagen 3.54 Realizando el peso del material sumergido.....	131
Imagen 3.55 Verificando el grado de humedad del material	132
Imagen 3.56 llenado de material dentro de los frascos	133
Imagen 3.57 Proceso de elaboración de briquetas	155
Imagen 3.58 Extracción de las muestras	156
Imagen 3.59 Briquetas finalizadas	156
Imagen 3.60 Ensayos para determinar la densidad de la mezcla	157
Imagen 3.61 Ensayo de Marshall	159
Imagen 3.62 Briquetas sumergidas en hielo	169

Imagen 3.63 Horno que se utilizó para simular temperatura máxima	174
Imagen 3.64 Briquetas colocadas en horno.....	174

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1 Máxima cantidad de adición de RAP en capas de rodadura %	57
Gráfico 2.2 Máxima cantidad de adición de RAP en capas base sub base %	57
Gráfico 3.1 Curva Granulométrica del agregado grueso (grava)	77
Gráfico 3.2 Curva Granulométrica del agregado intermedio (gravilla).....	78
Gráfico 3.3 Curva Granulométrica del agregado fino (arena)	79
Gráfico 3.4 Curva granulométrica del RAP	123
Gráfico 3.5 Curva granulométrica del RAP	124
Gráfico 3.6 Máxima cantidad de adición de RAP en %	135
Gráfico 3.7 Cálculo de la adición de RAP en %	138
Gráfico 3.8 Granulometría formada.....	152
Gráfico 3.9 Contenido de cemento asfáltico vs densidad de las briquetas	161
Gráfico 3.10 Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de la mezcla.....	161
Gráfico 3.11 Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de agregado mineral.....	162
Gráfico 3.12 Contenido de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos.....	162
Gráfico 3.13 Contenido de cemento asfáltico vs estabilidad	162
Gráfico 3.14 Contenido de cemento asfáltico vs Fluencia.....	163
Gráfico 3.15 % de RAP vs estabilidad	168
Gráfico 3.16 % de RAP vs fluencia	168
Gráfico 3.17 Contenido de RAP vs estabilidad	171
Gráfico 3.18 Contenido de RAP vs Fluencia	171
Gráfico 3.19 Contenido de RAP vs estabilidad	173

Gráfico 3.20 Contenido de RAP vs Fluencia	173
Gráfico 3.21 Contenido de RAP vs estabilidad	176
Gráfico 3.22 Contenido de RAP vs Fluencia	176
Gráfico 3.23 Resultados de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	178
Gráfico 3.24 Histograma de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada con RAP	179
Gráfico 3.25 Resultados de % de vacíos de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	180
Gráfico 3.26 Resultados de la fluencia de la mezcla asfáltica convencional	181
Gráfico 3.27 Resultados de la fluencia de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	181
Gráfico 3.28 Resultados de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	183
Gráfico 3.29 Histograma de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	183
Gráfico 3.30 Fluencia de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	183
Gráfico 3.31 Histograma de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	185
Gráfico 3.32 Fluencia de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	185
Gráfico 3.33 Resultados de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	187
Gráfico 3.34 Histograma de estabilidad de la mezcla asfáltica convencional y modificada	187
Gráfico 3.35 Fluencia de la mezcla asfáltica convencional y con RAP	188
Gráfico 3.36 Diagrama de costos de las tres mezclas	198

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Historia del asfalto.	12
Tabla 2.2 Granulometría filler mineral.	19
Tabla 2.3 Especificaciones que debe cumplir los agregados	20

Tabla 2.4 Ensayos de caracterización de RAP	21
Tabla 2.5 Datos de índice asfáltico por el método del área superficial, según el material pétreo.....	27
Tabla 2.6 Datos de índice asfáltico (d) por el método distribución de agregados, según el material pétreo.....	28
Tabla 2.7 Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo.	30
Tabla 2.8 Producción de mezclas asfálticas.	40
Tabla 2.9 Cuadro de tolerancia Tzul, i de características relevantes dependiendo del tipo de capa.	44
Tabla 2.10 Rangos para el grado PG a diferentes temperaturas	45
Tabla 2.11 Asfaltos utilizados en Alemania	56
Tabla 2.12 Valor de Tzul, i de características relevantes dependiendo del tipo de capa .	58
Tabla 3.1 Especificaciones técnicas del cemento asfáltico Betupen Plus 85-100	72
Tabla 3.2 Tabla de resultados de la granulometría del agregado grueso (grava).....	77
Tabla 3.3 Tabla de resultados de la granulometría del agregado intermedio (Gravilla)..	78
Tabla 3.4 Tabla de resultados de la granulometría del agregado fino (Arena).....	79
Tabla 3.5 Datos de las muestras de agregado grueso (grava) para el peso específico.....	85
Tabla 3.6 Resultados de peso específico agregado grueso (grava).....	85
Tabla 3.7 Datos de las muestras de agregado intermedio (gravilla) para el peso específico.....	86
Tabla 3.8 Resultados de peso específico agregado intermedio (gravilla).....	86
Tabla 3.9 Datos de las muestras de agregado fino (arena) para el peso específico	90
Tabla 3.10 Resultados de peso específico agregado fino (arena)	90
Tabla 3.11 Tabla de datos y resultados del peso unitario suelto (grava)	93
Tabla 3.12 Tabla de datos y resultados del peso unitario compactado (grava).....	93
Tabla 3.13 Tabla de datos y resultados del peso unitario suelto (gravilla).....	93
Tabla 3.14 Tabla de datos y resultados del peso unitario compactado (gravilla)	94

Tabla 3.15 Tabla de datos y resultados del peso unitario suelto (arena).....	94
Tabla 3.16 Tabla de datos y resultados del peso unitario compactado (arena).....	94
Tabla 3.17 Grado de ensayo definidos por su rango de tamaño	96
Tabla 3.18 Datos para el ensayo de desgaste de los ángeles agregado grueso (grava)...	98
Tabla 3.19 Resultados del porcentaje de desgaste de los ángeles agregado grueso (grava)	99
Tabla 3.20 Datos para el ensayo de desgaste de los ángeles agregado intermedio (gravilla).....	99
Tabla 3.21 Resultados del porcentaje de desgaste de los ángeles agregado intermedio (gravilla).....	99
Tabla 3.22 Datos y resultados para el ensayo de equivalente de arena.....	101
Tabla 3.23 Datos y resultados del ensayo de penetración.....	103
Tabla 3.24 Datos y resultados del ensayo de peso específico del cemento asfáltico.....	105
Tabla 3.25 Resultado del ensayo de ductilidad.....	107
Tabla 3.26 Resultado del ensayo de punto de inflamación.....	109
Tabla 3.27 Resultado del ensayo de punto de ablandamiento	111
Tabla 3.28 Resultado del ensayo de viscosidad.....	113
Tabla 3.29 Resultados de la caracterización de cemento asfáltico y comparación con la norma ASTM.....	113
Tabla 3.30 Contenido de cemento asfáltico	121
Tabla 3.31 Tabla de resultados de la granulometría del RAP	122
Tabla 3.32 Tabla de resultados de la granulometría del RAP.....	123
Tabla 3.33 Datos y resultados del ensayo del porcentaje de caras fracturadas.....	125
Tabla 3.34 Datos y resultados del ensayo partículas alargadas	127
Tabla 3.35 Datos y resultados del ensayo partículas aplanadas.....	129
Tabla 3.36 Resultados del ensayo de desgaste de los Ángeles	130
Tabla 3.37 Datos de las muestras de agregado para peso específico	132

Tabla 3.38 Resultados de peso específico del agregado	132
Tabla 3.39 Datos de las muestras de agregado fino para el peso específico.....	133
Tabla 3.40 Resultados de peso específico del agregado fino.....	133
Tabla 3.41 Tabla de resultados del material RAP	134
Tabla 3.42 Cuadro de tolerancia Tzul, i de características relevantes dependiendo del tipo de capa.	136
Tabla 3.43 Resultados para las distintas muestras ensayadas	137
Tabla 3.44 Resultados del cálculo de porcentajes de RAP	139
Tabla 3.45 Rangos para el grado PG a diferentes temperaturas	140
Tabla 3.46 Estaciones meteorológicas con información de temperaturas extremas diarias del departamento de Tarija	141
Tabla 3.47 Estación meteorológica de Coimata.....	143
Tabla 3.48 Grado de desempeño para cada estación meteorológica.....	147
Tabla 3.49 Tabla para definir el aumento del PG para la temperatura máxima del pavimento.....	147
Tabla 3.50 Guía de selección de aglutinantes para mezclas con RAP según AASHTO M 323.....	148
Tabla 3.51 Pesos de agregados retenidos a diferentes porcentajes	150
Tabla 3.52 Granulometría formada y especificaciones.....	151
Tabla 3.53 Grupos de briquetas para encontrar el contenido óptimo de Cemento asfáltico.....	154
Tabla 3.54 Pesos de los agregados y cemento asfáltico para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	154
Tabla 3.55 Densidades promedio de las mezclas asfálticas a diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	157
Tabla 3.56 Resultados del ensayo de estabilidad y fluencia para obtener contenido óptimo de cemento asfáltico.....	159

Tabla 3.57 Resultados de porcentaje de vacíos y relación betunen vacíos.....	160
Tabla 3.58 Resultados de los ensayos para encontrar el contenido óptimo.....	163
Tabla 3.59 Pesos de los agregados de la mezcla asfáltica convencional y modificada.	165
Tabla 3.60 Resultados de porcentaje de vacíos y relación betumen vacíos de la mezcla convencional y modificada.....	166
Tabla 3.61 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP.....	167
Tabla 3.62 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a - 4°C.....	170
Tabla 3.63 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a 25°C.....	172
Tabla 3.64 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a 60 °C.....	175
Tabla 3.65 Estabilidad y fluencia de la mezcla con RAP variando PG.....	176
Tabla 3.66 Estabilidad y fluencia de la mezcla con RAP.....	177
Tabla 3.67 Resultados de la mezcla asfáltica convencional y con RAP.....	177
Tabla 3.68 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a - 4°C.....	182
Tabla 3.69 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a 25°C.....	184
Tabla 3.70 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional y modificada con RAP a 60°C.....	186
Tabla 3.71 Dosificación de la mezcla asfáltica óptima convencional.....	190
Tabla 3.72 Dosificación de la mezcla asfáltica con 18% de RAP.....	191
Tabla 3.73 Dosificación de la mezcla asfáltica con 15% de RAP.....	191
Tabla 3.74 Planilla de precios unitarios para la mezcla convencional.....	192
Tabla 3.75 Planilla de precios unitarios de la M.A. con 18% de RAP.....	194

Tabla 3.76 Planilla de precios unitarios de la M.A. con 15% de RAP	196
Tabla 3.77 Comparación de costos de las mezclas	198
Tabla 3.78 Comparación de costos de las M.A para un km de pavimento	199