

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



**“INFLUENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN EL DESEMPEÑO
MECÁNICO DE MEZCLAS EN CALIENTE CON RAP”**

Por:

SARA DANIELA RUEDA CASTILLO

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 - 2021

TARIJA-BOLIVIA

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

**“INFLUENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN EL DESEMPEÑO
MECÁNICO DE MEZCLAS EN CALIENTE CON RAP”**

Por:

SARA DANIELA RUEDA CASTILLO

SEMESTRE I - 2021

TARIJA-BOLIVIA

M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

**DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

Ing. Trinidad C. Baldiviezo Montalvo

Ing. Laura Karina Soto Salgado

Ing. Eusebio Ortega Alvarado

El Tribunal Calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo únicamente responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, a la Virgen de Chaguaya y a nuestro patrono de San Lorenzo por brindarme el regalo de la vida guiado mi camino y permitirme llegar hasta este momento. A mis padres; Ideamor Rueda Villa y Digna Castillo Aldana por su paciencia, sacrificio, amor, apoyo y ser el ejemplo de perseverancia en mi vida. A mis hermanos; Mario y Nancy por creer mí y brindarme su amor en todo momento. A toda mi familia por ser el pilar de amor y ayuda, enseñandome a ser una mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, la Virgen de Chaguaya y nuestro patrono San Lorenzo por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y oportunidad de vivir esta experiencia. A mis padres Ideamor Rueda y Digna Castillo por todo el apoyo, aliento y amor que me dan en todo momento, gracias a ustedes estoy aquí. A mis hermanos, tíos, primos, sobrinos y toda mi familia por cada momento vivido a su lado, por los consejos y todo el apoyo brindado. A Nancy Rueda por haber estado conmigo en los momentos más felices y difíciles de mi vida, acompañando, ayudando y apoyándome. A mis amigos, por su amistad, sus consejos, respeto, apoyo y sobre todo amor que me dan incondicionalmente.

Gracias a todos ustedes porque sus enseñanzas me han hecho quien soy.

PENSAMIENTO

“Procura ser tan grande que todos quieran alcanzarte y tan humilde que todos quieran estar contigo”.

Anónimo

Dedicatoria

Agradecimientos

Pensamiento

Resumen

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.2.1 Problema.....	4
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	4
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 HIPÓTESIS	7
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES	8
1.6.1 Variables independientes.....	8
1.6.2 Variables dependientes.....	8
1.6.3 Operacionalización de las variables	9
1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL	12

1.8.1	Unidad de estudio.....	12
1.8.1.1	Población.....	12
1.8.1.2	Muestra.....	12
1.8.1.3	Selección de las técnicas de muestreo	13
1.9	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	13
1.9.1	Métodos.....	13
1.9.2	Técnicas.....	13
1.9.3	Esquema de actividades en funcion a procedimiento definido por la perspectiva.....	15
1.10	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	16
1.11	ALCANCE DEL PROYECTO	16

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE CON RAP

	Página	
2.1	GENERALIDADES.....	18
2.2	PAVIMENTOS	19
2.2.1	Tipos de pavimentos.....	19
2.2.1.1	Pavimento rígido	20
2.2.1.2	Pavimento flexible.....	20
2.2.1.2.1	Carpeta o superficie de rodamiento	21
2.2.1.2.2	Base.....	21
2.2.1.2.3	Base granular.....	22
2.2.1.2.4	Base estabilizada.....	22
2.2.1.2.5	Sub base.....	22

2.2.1.2.6 Subrasante	23
2.3 MEZCLAS ASFÁLTICAS	23
2.3.1 Clasificación de mezcla asfáltica	24
2.3.1.1 Mezcla asfáltica en caliente.....	24
2.3.2 Características de la mezcla (analizando el método Marshall)	25
2.3.3 Propiedades de las mezclas asfálticas	28
2.4 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS.....	34
2.4.1 Cemento asfáltico.....	35
2.4.1.1 Clasificación del cemento asfáltico	36
2.4.1.2 Ensayos realizados al cemento asfaltico para determinar sus propiedades	37
2.4.1.2.1 Penetración (ASTM D 5; AASHTO T49-97).....	37
2.4.1.2.2 Ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00).....	37
2.4.1.2.3 Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01; AASHTO T79-96).....	37
2.4.1.2.4 Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T201; ASTM D 2170).....	37
2.4.1.2.5 Punto de ablandamiento (ASTM D 36; AASHTO T53-96)	37
2.4.1.2.6 Densidad (ASTM D 71-94; AASHTO T229-97)	38
2.4.1.3 Ensayos realizados a los agregados	38
2.4.1.3.1 Granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27-99).....	38
2.4.1.3.2 Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85; AASHTO T84).....	39
2.4.1.3.3 Equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)	39
2.4.1.3.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131; AASHTO T96-99).....	40
2.4.1.3.5 Desintegración de sulfato de sodio (ASTM E 88; AASHTO T104-99).....	40
2.4.1.3.6 Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821).....	40

2.4.1.4 Especificaciones que deben cumplir los agregados.....	40
2.4.1.4.1 Agregado grueso	40
2.4.1.4.2 Agregado fino	41
2.4.1.5 Filler (llenante mineral).....	42
2.4.1.5.1 Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas	42
2.4.1.5.2 Ensayos realizados al filler	43
2.4.1.5.3 Especificaciones del filler	43
2.5 PAVIMENTO ASFÁLTICO RECICLADO (RAP)	44
2.5.1 Caracterización del RAP	45
2.5.2 Ventajas de utilización del RAP.....	45
2.5.3 Métodos de reciclaje de pavimentos y aplicaciones.....	47
2.5.3.1 Recuperación a profundidad total.....	47
2.5.3.2 Remoción en frío	48
2.5.3.3 Reciclaje en frío.....	48
2.5.3.4 Reciclaje en sitio en caliente	49
2.5.3.5 Reciclaje en caliente en planta	49
2.5.4 Proceso de elaboración del rap.....	50
2.5.4.1 Introducción.....	50
2.5.4.2 Antecedentes.....	51
2.5.4.3 Pavimento asfáltico reciclado.....	51
2.5.4.4 Calidad de los componentes del RAP triturado.....	53
2.5.4.4.1 Agregados	53
2.5.4.5 Beneficios ambientales del pavimento asfáltico reciclado.....	55
2.5.4.5.1 Recursos naturales.....	55
2.5.4.5.2 Consumo de energía.....	56

2.5.4.5.3 Emisiones contaminantes	58
2.5.4.5.4 Residuos.....	58
2.5.4.6 Cuantificación de los beneficios ambientales del pavimento asfáltico reciclado... ..	59
2.5.5 Mezclas asfálticas con RAP	61
2.5.5.1 Propiedades del agregado extraído del RAP	62
2.6 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL	63
2.6.1 Metodología	63
2.6.2 Propósito de la metodología.....	63
2.6.3 Descripción general.....	63
2.6.3.1 Preparación para efectuar los procedimientos Marshall.....	64
2.6.3.2 Selección de las muestras de material	64
2.6.3.3 Preparación del agregado	64
2.6.3.4 Preparación de las muestras de ensayo (briquetas)	65
2.6.4 Especificaciones de la metodología	66
2.6.5 Granulometría.....	66
2.6.6 Golpes de compactación.....	67
2.6.7 Parámetros volumétricos de diseño Marshall.....	67
2.6.8 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada	68
2.6.8.1 Determinación de la gravedad específica bulk.....	68
2.6.8.2 Ensayo de estabilidad y flujo.....	68
2.6.8.3 Análisis de densidad y vacíos.....	69
I. MARCO REFERENCIAL.....	70
II. MARCO NORMATIVO	73

CAPÍTULO III

INFLUENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN EL DESEMPEÑO MECÁNICO DE MEZCLAS EN CALIENTE CON RAP

	Página
3.1 SELECCIÓN DE MATERIAL A UTILIZAR.....	75
3.1.1 Pavimento asfáltico reciclado (RAP).....	75
3.1.2 Criterios de selección del banco de materiales.....	76
3.1.3 Criterios de selección de asfalto.....	77
3.2 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	79
3.2.1 Granulometría (AASHTO T-27); (ASTM C-1236).....	79
3.2.2 Desgaste de los Ángeles (AASHTO T-96); (ASTM C-131)	84
3.2.3 Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85); (ASTM C-127).....	88
3.2.4 Peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASHTO T-84); (ASTM C-128).....	91
3.2.5 Peso unitario de los agregados (AASHTO T-19); (ASTM C-29).....	93
3.2.6 Equivalente de arena (AASHTO T-176); (ASTM D-2419).....	97
3.2.7 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados (ASTM D-5821) ..	99
3.2.8 Resultados del agregado.....	101
3.3 CARACTERIZACIÓN DEL RAP.....	102
3.3.1 Antecedentes del RAP utilizado.....	102
3.3.2 Método para determinar el contenido de ligante de mezcla asfáltica por centrifugación-ensayo de extracción.....	103
3.3.3 Análisis granulométrico de áridos provenientes de extracciones.....	106
3.4 ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	108
3.4.1 Ensayo de penetración (AASHTO T-49-97) (ASTM D-5).....	108

3.4.2	Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T-48); (ASTM D-92).....	110
3.4.3	Ensayo de peso específico del asfalto (AASHTO T-43); (ASTM D-70)	112
3.4.4	Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53); (ASTM D-36).....	114
3.4.5	Ensayo ductilidad (AASHTO T51-00); (ASTM D-113)	116
3.4.6	Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico	117
3.5	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR EL MÉTODO DE MARSHALL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	118
3.5.1	Granulometría formada de los agregados.....	118
3.5.2	Combinación de los agregados pétreos para el diseño de la mezcla convencional.....	119
3.5.3	Determinación del contenido mínimo de cemento asfáltico basado en la distribución de tamaño de partículas	120
3.5.4	Dosificación de los especímenes (briquetas)	121
3.5.5	Desarrollo de la elaboración de las briquetas mediante el procedimiento de Marshall	122
3.5.6	Ensayo de Marshall	124
3.5.7	Proceso de cálculo y resultado de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica	127
3.5.7.1	Identificaciones de probetas	128
3.5.7.2	Altura de las probetas	128
3.5.7.3	Porcentaje de asfalto.....	128
3.5.7.4	Peso de la briqueta al aire.....	128
3.5.7.5	Peso de la briqueta en el aire saturada superficialmente seco (SSS).....	129
3.5.7.6	Peso de la briqueta sumergida en agua.....	129
3.5.7.7	Volumen de la briqueta	129
3.5.7.8	Densidad de la briqueta	129

3.5.7.9 Porcentaje de vacíos	130
3.5.7.10 Estabilidad y fluencia	131
3.5.8 Diseño de mezcla para transito mediano.....	136
3.5.9 Diseño de mezcla asfáltica para transito liviano	141
3.6 DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON % ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO Y RAP.	147
3.6.1 Diseño de la mezcla asfáltica con Rap y % óptimo de cemento asfáltico a 75 golpes.....	147
3.6.2 Diseño de la mezcla asfáltica con Rap y % óptimo de cemento asfáltico a 50 golpes.....	153
3.6.3 Diseño de la mezcla asfáltica con Rap y % óptimo de cemento asfáltico a 35 golpes.....	158
3.6.4 Diseño de las mezclas asfálticas con 100% de RAP	163
3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO	166
3.8 USO DE LOS TRÁFICOS MEDIANTE LOS GOLPES DE COMPACTACIÓN	172
3.9 ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COMPACTACIÓN EN EL DESEMPEÑO MECANICO DE LA MEZCLA EN CALIENTE CON RAP.....	174
3.9.1 Análisis de la estabilidad del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 75 golpes	175
3.9.2 Análisis de la fluencia del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 75 golpes	176
3.9.3 Análisis de la estabilidad del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 50 golpes	177
3.9.4 Análisis de la fluencia del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 50 golpes.....	178
3.9.5 Análisis de la estabilidad del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 35 golpes	179

3.9.6	Análisis de la fluencia del diseño de la mezcla con variación de % de RAP a una compactación de 35 golpes	180
3.9.7	Análisis de la influencia de la compactación en el diseño de la mezcla con variación de porcentaje de RAP	181
3.9.8	Análisis de la fluencia de la compactación en el diseño de la mezcla con variación de porcentaje de RAP	182
3.10	JUSTIFICACIÓN RECIBIDA DE LOS PORCENTAJES EMPLEADOS DE RAP.....	183
3.11	JUSTIFICACIÓN RECIBIDA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EMPLEADA	185
3.12	ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA DIFERENTE MEZCLA ASFÁLTICA	187

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1 CONCLUSIONES.....	190
4.2 RECOMENDACIONES	191

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo A. Especificaciones técnicas del RAP.

Anexo B. Planillas de caracterización de agregados pétreos y material reciclado.

Anexo C. Planilla de caracterización de cemento asfáltico.

Anexo D. Planillas diseño marshall.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1 Esquema de actividades en función al procedimiento	15
Figura 2.1 Distribución de las cargas en los pavimentos flexibles y rígidos.....	20
Figura 2.2 Estructura básica de un pavimento flexible	21
Figura 2.3 Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica	27
Figura 2.4 Pavimento asfáltico reciclado (RAP).....	44
Figura 2.5 Método de recuperación a profundidad total	47
Figura 2.6 Método de remoción en frío	48
Figura 2.7 Planta de producción de mezcla asfáltica en caliente	50
Figura 2. 8 Comparativa de una HMA y una WMA.....	59
Figura 2. 9 Cuantificación de los beneficios del RAP	60
Figura 2. 10 Cuantificación del costo del RAP vs una mezcla virgen.....	61
Figura 3.1 Ubicación de la muestra.....	75
Figura 3.2 Extracción de la muestra Entre Rios – Canaletas	76
Figura 3.3 Zona de muestreo chancadora de (Charaja).....	76
Figura 3.4 Agregado pétreo de la planta	77
Figura 3.5 Cemento asfáltico 85-100.....	77
Figura 3.6 Proceso de tamizado del agregado.....	80
Figura 3.7 Peso retenido de cada tamiz.....	80
Figura 3.8 Proceso del ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles	85
Figura 3.9 Muestra saturada durante 24 hs.	88
Figura 3.10 Muestra colocada en la canastilla	89
Figura 3.11 Muestra saturada por 24hs. y verificación de la condición de saturación	91

Figura 3.12 Muestra colocada con agua en el matraz y pesada	91
Figura 3.13 Muestra sacada del matraz.....	92
Figura 3.14 Llenado y enrasado del recipiente	94
Figura 3.15 Realizando el varillado y registro del peso de la muestra más recipiente	94
Figura 3.16 Muestra y colocacion de la solución.....	97
Figura 3.17 Lectura de las alturas de separación de los finos	98
Figura 3.18 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados.....	99
Figura 3.19 Muestra pesada antes de entrar al horno para que sea manipulable	104
Figura 3.20 Muestra en el horno y luego reposada con el solvente	104
Figura 3.21 Colocado de la muestra en el crisol	105
Figura 3.22 Funcionamiento de la máquina centrífuga.....	105
Figura 3.23 Resultado de la muestra lavada.....	105
Figura 3.24 Muestra sacada del horno y sin ligante asfáltico	106
Figura 3.25 Material reciclado seco	106
Figura 3.26 Tamizado del material y obtención de pesos retenidos	107
Figura 3.27 Muestra calentada y vertida en los recipientes de ensayo	109
Figura 3.28 Ensayo de penetración	109
Figura 3.29 Punto de inflamación en proceso de ensayo	111
Figura 3.30 Picnómetros con agua destilada manteniendo un baño maría a 25 °C	112
Figura 3.31 Picnómetros con cemento asfaltico y agua destilada.....	113
Figura 3.32 Cemento asfaltico en los anillos	115
Figura 3.33 Muestra a baño María	115
Figura 3.34 Ensayo de ductilidad.....	116
Figura 3.35 Preparación de la dosificación	122

Figura 3.36 Proceso de elaboración de las briquetas	123
Figura 3.37 Se extraen las probetas de sus moldes	123
Figura 3.38 Briquetas finalizadas.....	123
Figura 3.39 Medicion de alturas y determinación del peso seco de las briquetas	124
Figura 3.40 Peso superficialmente seco	124
Figura 3.41 Determinacion del peso de las briquetas saturadas.....	125
Figura 3.42 Probetas sumergidas a baño de agua a 60°C	126
Figura 3.43 Colocado de las probetas en la mordaza de Marshall	126
Figura 3.44 Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia	127
Figura 3.45 Probetas ensayadas	127

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Conceptualización y operacionalización de variables independientes	9
Tabla 1.2 Conceptualización y operacionalización de variables dependientes.....	11
Tabla 2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	24
Tabla 2.2 Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración	36
Tabla 2.3. Clasificación de los agregados para pavimentos.....	38
Tabla 2.4 Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	39
Tabla 2.5 Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso	40
Tabla 2.6 Especificaciones que debe cumplir el agregado fino	41
Tabla 2.7 Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29	41
Tabla 2.8 Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM	43

Tabla 2.9 Especificaciones que debe cumplir el filler	43
Tabla 2.10 Ensayos de caracterización de RAP.....	45
Tabla 2. 11 Requisitos de Graduación para el Material de Relleno (Filler)	54
Tabla 2. 12 Requisitos de Gradación para la mezcla para el diseño Marshall.....	55
Tabla 2. 13 Variación en el consumo de agregados.....	56
Tabla 2. 14 Reducción del consumo de energía y emisiones mediante el uso del RAP..	57
Tabla 2. 15 Diferencia en emisiones de CO2 agregados RAP y vírgenes	58
Tabla 2. 16 Matriz para la construcción del indicador de impacto del RAP	59
Tabla 2.17 Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall...	66
Tabla 2.18 Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	67
Tabla 2.19 Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459).....	67
Tabla 2.20 Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	68
Tabla 3.1 Especificación técnica del cemento asfáltico convencional Betunel 85-100...	78
Tabla 3.2 Granulometrías de la grava, gravilla y arena	81
Tabla 3.3 Granulométrías de la grava, gravilla y arena	82
Tabla 3.4 Granulometrías de la grava, gravilla y arena	83
Tabla 3.5 Pesos de agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de los Ángeles	85
Tabla 3.6 Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4".....	86
Tabla 3.7 Resultado de desgaste de los Ángeles.....	86
Tabla 3.8 Datos del ensayo de desgaste para gravilla 3/8".....	87
Tabla 3. 9 Resultado de desgaste de los Ángeles.....	87
Tabla 3.10 Datos y resultados del ensayo de peso específico para agregado grueso.....	89
Tabla 3.11 Datos y resultados del ensayo de peso específico para agregado intermedio	90
Tabla 3.12 Datos y resultados del ensayo de peso específico del agregado fino.....	92

Tabla 3.13 Datos y resultados del peso unitario suelto de la grava $\frac{3}{4}$	94
Tabla 3.14 Datos y resultados del peso unitario compactado de la grava $\frac{3}{4}$	95
Tabla 3.15 Datos y resultados del peso unitario suelto de la gravilla $\frac{3}{8}$ ”	95
Tabla 3.16 Datos y resultados del peso unitario compactado de la gravilla	96
Tabla 3.17 Datos y resultados del peso unitario suelto de la arena.....	96
Tabla 3.18 Datos y resultados del peso unitario compactado de la arena.....	96
Tabla 3. 19 Datos y resultados del ensayo de equivalente de arena	98
Tabla 3.20 Datos y resultados del ensayo del porcentaje de cara fracturadas	100
Tabla 3.21 Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos y comparación con la norma	101
Tabla 3.22. Contenido de asfalto Canaletas-Entre Rios.....	106
Tabla 3.23 Curva Granulométrica de la grava, gravilla y grena (reciclado).....	107
Tabla 3.24 Datos y resultados del ensayo de penetración.....	110
Tabla 3.25 Datos del ensayo punto de inflamación	111
Tabla 3.26 Datos y resultados de peso específico.....	113
Tabla 3.27 Datos del ensayo de punto de ablandamiento	116
Tabla 3.28 Resultados del ensayo de ductilidad	117
Tabla 3.29 Resultados de los ensayos de caracterización del C.A (85-100).....	117
Tabla 3.30 Granulometría de la grava de $\frac{3}{4}$ ”	118
Tabla 3.31 Granulometría de gravilla de $\frac{3}{8}$ ”.....	118
Tabla 3.32 Granulometría de la arena.....	119
Tabla 3.33 Dosificación de agregados pétreos.....	119
Tabla 3.34 Peso de los agregados a diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	121
Tabla 3.35 Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional a 75 golpes	132

Tabla 3.36 Resultados del contenido óptimo de la mezcla afáltica a 75 golpes	136
Tabla 3.37 Resultados del diseño óptimo de los ensayos C.A. a 75 golpes.....	136
Tabla 3. 38 Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional a 50 golpes	137
Tabla 3.39 Resultados del contenido óptimo de la mezcla afáltica a 50 golpes	141
Tabla 3.40 Resultados del diseño óptimo de los ensayos a 50 golpes	141
Tabla 3. 41 Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional a 35 golpes	142
Tabla 3. 42 Resultados del contenido óptimo de la mezcla afáltica a 35 golpes	146
Tabla 3. 43 Resultados del contenido óptimo de la mezcla afáltica a 35 golpes	146
Tabla 3. 44 Dosificación a diferentes porcentajes de RAP con el contenido óptimo de C.A. (85-100).....	148
Tabla 3. 45 Datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100) a 75 golpes	149
Tabla 3. 46 Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100)	149
Tabla 3. 47 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 15% de RAP C.A (85-100) a 75 golpes	150
Tabla 3. 48 Resultados de las propiedades mecánicas al 15 % de RAP C.A (85-100) a 75 golpes.....	150
Tabla 3. 49 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 30% de RAP C.A (85-100) a 75 golpes	151
Tabla 3. 50 Resultados de las propiedades mecánicas al 30 % de RAP C.A (85-100) a 75 golpes.....	151
Tabla 3. 51 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 50% de RAP C.A (85-100) a 75 golpes	152

Tabla 3. 52 Resultados de las propiedades mecánicas al 50 % de RAP C.A (85-100) a 75 golpes.....	152
Tabla 3. 53 Dosificación a diferentes porcentajes de RAP con el contenido óptimo de C.A. (85-100).....	153
Tabla 3. 54 Datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica convencional C.A.(85-100) a 50 golpes.....	154
Tabla 3. 55 Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100) a 50 golpes.....	154
Tabla 3. 56 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 15% de RAP C.A (85-100) a 50 golpes	155
Tabla 3. 57 Resultados de las propiedades mecánicas al 15 % de RAP C.A (85-100) a 50 golpes.....	155
Tabla 3. 58 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 30% de RAP C.A (85-100) a 50 golpes	156
Tabla 3. 59 Resultados de las propiedades mecánicas al 30 % de RAP C.A (85-100) a 50 golpes.....	156
Tabla 3. 60 Datos obtenidos del ensayo Marshall al 50% de RAP C.A (85-100) a 50 golpes	157
Tabla 3. 61 Resultados de las propiedades mecánicas al 50 % de RAP C.A (85-100) a 50 golpes.....	157
Tabla 3. 62 Dosificación a diferentes porcentajes de RAP con el contenido óptimo de C.A. (85-100).....	158
Tabla 3. 63 Datos obtenidos del ensayo Marshall de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100) a 35 golpes.....	159
Tabla 3. 64 Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100) a 35 golpes.....	159

Tabla 3. 65 Datos obtenidos del ensayo Marshal al 15% de RAP C.A (85-100) a 35 golpes	160
Tabla 3. 66 Resultados de las propiedades mecánicas al 15 % de RAP C.A (85-100) a 35 golpes.....	160
Tabla 3. 67 Datos obtenidos del ensayo Marshal al 30% de RAP C.A (85-100) a 35 golpes	161
Tabla 3. 68 Resultados de las propiedades mecánicas al 30 % de RAP C.A (85-100) a 35 golpes.....	161
Tabla 3. 69 Datos obtenidos del ensayo Marshal al 50% de RAP C.A (85-100) a 35 golpes	162
Tabla 3. 70 Resultados de las propiedades mecánicas al 50 % de RAP C.A (85-100) a 35 golpes.....	162
Tabla 3. 71 Datos obtenidos del ensayo Marshall 100% de RAP a 75 golpes	163
Tabla 3. 72 Resultados de las propiedades mecánicas 100% de RAP a 75 golpes.....	163
Tabla 3. 73 Datos obtenidos del ensayo Marshall 100% de RAP a 50 golpes	164
Tabla 3. 74 Resultados de las propiedades mecánicas 100% de RAP a 50 golpes.....	164
Tabla 3. 75 Datos obtenidos del ensayo Marshall 100% de RAP a 35 golpes	165
Tabla 3. 76 Resultados de las propiedades mecánicas 100% de RAP a 35 golpes.....	165
Tabla 3. 77 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional C.A. (85-100) a una compactación de 75 golpes.....	166
Tabla 3. 78 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 15 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 75 golpes.....	166
Tabla 3. 79 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 30 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 75 golpes.....	167
Tabla 3. 80 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 50 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 75 golpes.....	167

Tabla 3. 81 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 100 % RAP a una compactación de 75 golpes	167
Tabla 3. 82 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional C.A. (85-100) a una compactación de 50 golpes.....	168
Tabla 3. 83 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 15 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 50 golpes.....	168
Tabla 3. 84 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 30% RAP C.A (85-100) a una compactación de 50 golpes.....	169
Tabla 3. 85 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 50 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 50 golpes.....	169
Tabla 3. 86 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 100 % RAP a una compactación de 50 golpes	169
Tabla 3. 87 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional C.A. (85-100) a una compactación de 35 golpes.....	170
Tabla 3. 88 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 15 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 35 golpes.....	170
Tabla 3. 89 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 30 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 35 golpes.....	171
Tabla 3. 90 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 50 % RAP C.A (85-100) a una compactación de 35 golpes.....	171
Tabla 3. 91 Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 100 % RAP a una compactación de 35 golpes	171
Tabla 3. 92 Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459).....	172
Tabla 3. 93 Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo.....	173
Tabla 3. 94 Uso en los tráficos pesados, medianos y livianos	173
Tabla 3. 95 Resumen de los resultados de la estabilidad y fluencia de la mezclas asfálticas a diferentes % de RAP a una compactación de 75 golpes.	174

Tabla 3. 96 Resumen de los resultados de la estabilidad y fluencia de la mezclas asfálticas a diferentes % de RAP a una compatación de 50 golpes.	174
Tabla 3. 97 Resumen de los resultados de la estabilidad y fluencia de la mezclas asfálticas a diferentes % de RAP a una compatación de 35 golpes.	174
Tabla 3. 98 Precio unitario para 1m ³ de mezcla asfáltica convensional	187
Tabla 3. 99 Precio unitario para 1m ³ de mezcla asfáltica al 15% de RAP	188
Tabla 3. 100 Diferencia de Costo.....	189

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfico 3.1 Curva granulométrica de la grava, gravilla y arena	81
Gráfico 3.2 Curva granulométrica de la grava, gravilla y arena	82
Gráfico 3.3 Curva granulométrica de la grava, gravilla y arena	83
Gráfico 3.4 Curva Granulométrica de la grava, gravilla y arena (reciclado)	108
Gráfico 3.5 Curva granulométrica de agregados pétreos (Charajas)	120
Gráfico 3.6 Porcentaje de cemento asfaltico vs densidad (85-100) (75 golpes).....	133
Gráfico 3.7 Porcentaje de cemento asfaltico vs estabilidad (85-100) (75 golpes).....	133
Gráfico 3.8 Porcentaje de cemento asfaltico vs fluencia (85-100) (75 golpes)	134
Gráfico 3.9 Porcentaje de cemento asfaltico vs V.A.M. (85-100) (75 golpes).....	134
Gráfico 3.10 Porcentaje de cemento asfaltico vs R.B.V. (85-100) (75 golpes).....	135
Gráfico 3.11 Porcentaje de cemento asfaltico vs % de vacios (85-100) (75 golpes).....	135
Gráfico 3.12 Porcentaje de cemento asfaltico vs densidad (85-100) (50 golpes).....	138
Gráfico 3.13 Porcentaje de cemento asfaltico vs estabilidad (85-100) (50 golpes).....	138

Gráfico 3.14 Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia (85-100) (50 golpes)	139
Gráfico 3.15 Porcentaje de cemento asfáltico vs V.A.M. (85-100) (50 golpes).....	139
Gráfico 3.16 Porcentaje de cemento asfáltico vs R.B.V. (85-100) (50 golpes).....	140
Gráfico 3.17 Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacios (85-100) (50 golpes).....	140
Gráfico 3.18 Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad (85-100) (35 golpes).....	143
Gráfico 3.19 Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad (85-100) (35 golpes).....	143
Gráfico 3.20 Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia (85-100) (35 golpes)	144
Gráfico 3.21 Porcentaje de cemento asfáltico vs V.A.M. (85-100) (35 golpes).....	144
Gráfico 3.22 Porcentaje de cemento asfáltico vs R.B.V. (85-100) (35 golpes).....	145
Gráfico 3.23 Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacios (85-100) (35 golpes).....	145
Gráfico 3.24 Comparación de estabilidades.....	175
Gráfico 3.25 Comparación de fluencias.....	176
Gráfico 3.26 Comparación de estabilidades.....	177
Gráfico 3.27 Comparación de fluencias.....	178
Gráfico 3.28 Comparación de estabilidades.....	179
Gráfico 3.29 Comparación de fluencias.....	180
Gráfico 3.30 Influencia de la compactación en la mezcla con variacion de % RAP	181
Gráfico 3.31 Influencia de la compactación en la mezcla con variacion de % RAP	182
Gráfico 3. 32 Estabilidad vs Porcentajes de RAP	183
Gráfico 3. 33 Fluencia vs Porcentajes de RAP	184
Gráfico 3. 34 Estabilidad vs compactación.....	185
Gráfico 3. 35 Fluencia vs compactación	186
Gráfico 3.36 Comparación de Costo.....	189