

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



**“COMPARACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN ENTRE LAS METODOLOGÍAS
MARSHALL Y RAMCODES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
EN CALIENTE Y DENSAS”**

POR:

UNIV. MARÍA BELÉN MAHEY QUIROZ

Proyecto de ingeniería civil presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2023

TARIJA - BOLIVIA

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

**“COMPARACIÓN DE LA OPTIMIZACIÓN ENTRE LAS METODOLOGÍAS
MARSHALL Y RAMCODES EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
EN CALIENTE Y DENSAS”**

POR:

UNIV. MARÍA BELÉN MAHEY QUIROZ

Proyecto de ingeniería civil presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE I - 2023

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

El presente trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios por cuidarme y brindarme salud todo este tiempo de estudio e hizo posible este logro.

A mí querida hija Irina por ser el principal motivo en mi superación y dedicación para culminar esta tesis.

A mis padres por brindarme su apoyo en todas las etapas de mi vida. A mis hermanos (as) Briza, Luciana y Daniel por todo su apoyo y cariño.

A mi compañero de vida Franz, que siempre encuentra la manera de motivarme a avanzar más.

A mi abuela Candelaria que siempre la tengo presente en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Situación problemática.....	2
1.3.1 Determinación del problema	3
1.4 Objetivos	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Formulación de la hipótesis	4
1.5.1 Hipótesis	4
1.5.2 Identificación de las variables	4
1.5.3 Conceptualización y operacionalización	4
1.6 Alcance de la investigación.....	6

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

	Página
2.1 Definición de mezcla asfáltica	7
2.2 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	7
2.3 Propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas	10
2.4 Características y comportamiento de la mezcla.....	12
2.5 Parámetros volumétricos dentro de la mezcla asfáltica	12
2.5.1 Gravedad específica neta del agregado (G_{sb})	12

2.5.2 Gravedad específica aparente del agregado (G_{sa}).....	14
2.5.3 Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}).....	14
2.5.4 Gravedad específica máxima de las mezclas del agregado (G_{mm})	14
2.5.5 Asfalto absorbido (P_{ba})	15
2.5.6 Contenido de asfalto afectivo en la mezcla (P_{be}).....	16
2.5.7 Porcentaje de vacíos en el agregado mineral de la mezcla (VAM).....	16
2.5.8 Porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada (V_a).....	17
2.5.9 Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto de la mezcla compactada (VFA)	17
2.5.10 Porcentaje de polvo (relación filler-asfalto) (DP)	17
2.6 Método Marshall	19
2.6.1 Procedimiento del ensayo.....	21
2.6.2 Determinación de la gravedad específica total	22
2.6.3 Análisis de la densidad y el contenido de vacíos	22
2.6.4 Determinación de la estabilidad y flujo Marshall.....	22
2.6.5 Porcentaje óptimo de asfalto	23
2.7 Metodología RAMCODES	24
2.7.1 Definición	24
2.7.2 Ecuaciones de la metodología RAMCODES	26
2.7.3 Elaboración del polígono de vacíos RAMCODES	28
2.7.4 Interpretación de resultados de la metodología RAMCODES.....	31
2.8 Comparación de los parámetros de diseño por las metodologías Marshall y RAMCODES	33
2.9 Marco referencial	35
2.10 Marco normativo	35
2.11 Análisis y posición del investigador.....	37

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
3.1.1 Criterios del diseño metodológico.....	38
3.1.2 Unidad de Estudio	38
3.1.3 Población.....	38
3.1.4 Muestra.....	38
3.1.5 Tamaño de muestra.....	39
3.2 Criterios de selección, uso y aplicación.....	41
3.2.1 Criterios de selección de agregados pétreos.....	41
3.2.2 Criterios de selección del asfalto.....	41
3.3 Criterios del número de ensayos	41
3.3.1 Criterio del número de ensayos para el agregado pétreo.....	41
3.3.2 Criterios del número de ensayos para el cemento asfáltico.....	43
3.4 Caracterización de materiales	44
3.4.1 Criterios de extracción.....	44
3.4.2 Ensayo de granulometría AASHTO T-27 (ASTM C-136).....	47
3.4.3 Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles AASHTO T-96 (ASTM C-131).....	52
3.4.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos AASHTO T-85 (ASTM C-127).....	55
3.4.5 Ensayo peso.....	58
3.4.6 Ensayo de peso unitario agregados AASHTO T-19 (ASTM C-29).....	60
3.4.7 Ensayo de equivalente de arena AASHTO T-176 (ASTM D-2419).....	65
3.4.8 Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).....	67
3.4.9 Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D-4791).....	68

3.4.10	Cemento asfáltico	70
3.4.11	Ensayo de penetración AASHTO T-49 (ASTM D-5).....	71
3.4.12	Ensayo punto de inflamación AASHTO T-48 (ASTM D-92)	72
3.4.13	Ensayo peso específico del asfalto AASHTO T-43 (ASTM D-70)	74
3.4.14	Ensayo punto de ablandamiento AASHTO T-53 (ASTM C-36).....	75
3.4.15	Ensayo de ductilidad AASHTO T-51 (ASTM D-113)	77
3.4.16	Ensayo de viscosidad Saybolt furor AASHTO T-72 (ASTM D-88)	78
3.4.17	Ensayo RICE densidad máxima de mezclas sin compactar (ASTM D-2041)....	80
3.5	Resultado del levantamiento de información.....	83
3.5.1	Agregados pétreos	83
3.5.2	Cemento asfáltico	84
3.5.3	Ensayo RICE densidad máxima de mezclas sin compactar	84
3.5.4	Determinación de las gravedades efectivas de la mezcla	85
3.5.5	Combinación de los agregados	87
3.6	Criterio del número de briquetas.....	89

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página	
4.1	Diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100 por el método Marshall	91
4.1.1	Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	91
4.1.2	Dosificación con variaciones del contenido de asfalto.....	92
4.2	Guía metodológica para la elaboración de briquetas y ensayo Marshall	92
4.3	Desarrollo del ensayo de estabilidad y fluencia.....	96
4.4	Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	99
4.4.1	Identificación de briquetas	99

4.4.2	Altura de las briquetas.....	99
4.4.3	Base de mezcla y agregado.....	100
4.4.4	Peso de la briqueta en el aire	101
4.4.5	Peso de la briqueta en el aire saturado superficialmente seco (S.S.S)	101
4.4.6	Peso de la briqueta sumergida en el agua.....	101
4.4.7	Volumen de la briqueta	102
4.4.8	Densidad de la briqueta	102
4.4.9	Porcentaje de vacíos	103
4.4.10	Estabilidad y fluencia	104
4.5	Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100 diseñada por el método Marshall	106
4.5.1	Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico	110
4.6	Diseño de la mezcla asfáltica convencional por la metodología RAMCODES	113
4.6.1	Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES	113
4.6.2	Gravedades específicas metodología RAMCODES	114
4.6.3	Proceso de cálculo analítico de la mezcla asfáltica convencional 85-100 metodología RAMCODES (polígono de vacíos)	114
4.6.4	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°1	115
4.6.5	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°2.....	117
4.6.6	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°3.....	119
4.6.7	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°4.....	121
4.6.8	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°5.....	123
4.6.9	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°6.....	125
4.7	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES elaboración propia	127
4.7.1	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°1	128
4.7.2	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°2.....	137

4.7.3	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°3.....	139
4.7.4	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°4.....	141
4.7.5	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°5.....	143
4.7.6	Cálculo del polígono de vacíos RAMCODES para la muestra N°6.....	145
4.7.7	Comparación de resultados obtenidos mediante el uso del software polígono de vacíos RAMCODES y la elaboración propia del polígono de vacíos RAMCODES.....	147
4.8	Comprobación de la metodología RAMCODES.....	148
4.8.1	Dosificación de la mezcla asfáltica convencional 85-100 por la metodología RAMCODES.....	148
4.9	Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional 85-100 diseñada por la metodología RAMCODES.....	149
4.10	Tratamiento estadístico de los resultados.....	154
4.11	Análisis del tratamiento estadístico de los resultados.....	157
4.11.1	Estabilidad vs. Mezcla asfáltica convencional con 5,71% de asfalto óptimo - Método Marshall.....	158
4.11.2	Fluencia vs. Mezcla Asfáltica convencional con 5,71% de asfalto óptimo - Método Marshall.....	159
4.11.3	Estabilidad vs. Mezcla asfáltica convencional con 5,68% de asfalto óptimo - Metodología RAMCODES.....	160
4.11.4	Fluencia vs. Mezcla Asfáltica convencional con 5,68% de asfalto óptimo - Metodología RAMCODES.....	161
4.12	Comparación de la estabilidad y la fluencia de las mezclas asfálticas convencionales con el contenido óptimo de asfalto dado por las metodologías Marshall y RAMCODES.....	162
4.12.1	Estabilidad vs. Porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica convencional.....	163
4.12.2	Fluencia vs. Porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica convencional.....	164

4.13 Validación de hipótesis	165
4.14 Especificaciones técnicas	167
4.14.1 Metodología Marshall	167
4.14.2 Metodología RAMCODES	169
4.15 Análisis de los costos de mezclas asfálticas	170
4.15.1 Cálculos de costos para carpeta asfáltica convencional 85 - 100 mezcla diseñada por el método Marshall.....	171
4.15.2 Cálculos de costos para carpeta asfáltica convencional 85-100 mezcla diseñada por la metodología RAMCODES	174
4.15.3 Resultados finales de los costos de las carpetas asfálticas	177
4.15.4 Análisis de resultados de los costos de las mezclas asfálticas	177
4.16 Ventajas y desventajas de las metodologías Marshall y RAMCODES	178

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	179
5.2 Recomendaciones	180

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1. Caracterización de los áridos.

ANEXO 2. Caracterización del cemento asfáltico.

ANEXO 3. Ficha Técnica del cemento asfáltico

ANEXO 4. Diseño de mezclas asfálticas.

ANEXO 5. Memoria fotográfica

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Operacionalización de las variables independientes.....	5
Tabla 1.2 Operacionalización de las variables dependientes.....	5
Tabla 2.1 Clasificación de mezclas asfálticas.....	9
Tabla 2.2 Causas y efectos de una poca durabilidad.....	11
Tabla 2.3 Causas y efectos de problemas en trabajabilidad.....	12
Tabla 2.4 Criterio de diseño de mezclas Marshall. ASTM D-1315.....	20
Tabla 2.5 Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral. ASTM D-1315.....	21
Tabla 2.6 Comparación de diseño de las metodologías Marshall y RAMCODES.....	34
Tabla 2.7 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico.....	35
Tabla 2.8 Ensayos de caracterización del agregado grueso y fino.....	36
Tabla 2.9 Criterio de mezclas método Marshall.....	37
Tabla 3.1 Datos nivel de confianza 95%.....	39
Tabla 3.2 Planilla de muestreo.....	40
Tabla 3.3 Número de ensayos de los agregados pétreos.....	42
Tabla 3.4 Número de ensayos para la caracterización del cemento asfáltico.....	43
Tabla 3.5 Coordenadas zona de acopio La Pintada.....	45
Tabla 3.6 Coordenadas instalaciones de obras públicas municipales del G.A.M.T.....	46
Tabla 3.7 Especificaciones técnicas del cemento asfáltico 85-100.....	46
Tabla 3.8 Planilla de la granulometría para la grava 3/4”.....	49
Tabla 3.9 Planilla de la granulometría grava 3/8”.....	50
Tabla 3.10 Planilla de la granulometría del agregado fino.....	51

Tabla 3.11	Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4"	53
Tabla 3.12	Datos del ensayo de desgaste para grava 3/8"	54
Tabla 3.13	Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso grava 3/4"	56
Tabla 3.14	Resultados del ensayo de peso específico para grava 3/4"	57
Tabla 3.15	Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso 3/8"	57
Tabla 3.16	Resultados del ensayo de peso específico para la grava 3/8"	58
Tabla 3.17	Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino	59
Tabla 3.18	Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino	60
Tabla 3.19	Datos del ensayo de peso unitario suelto de la grava 3/4"	61
Tabla 3.20	Datos del ensayo de peso unitario compactado de la grava 3/4"	62
Tabla 3.21	Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4"	62
Tabla 3.22	Datos del peso unitario suelto de la grava 3/8"	63
Tabla 3.23	Datos del peso unitario compactado de la grava 3/8"	63
Tabla 3.24	Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/8"	63
Tabla 3.25	Datos del peso unitario suelto de la arena	64
Tabla 3.26	Datos del peso unitario compactado de la arena	64
Tabla 3.27	Resultados del ensayo peso unitario de la arena	64
Tabla 3.28	Datos del ensayo equivalente de arena	66
Tabla 3.29	Resultados del ensayo equivalente de arena	66
Tabla 3.30	Datos del ensayo de caras fracturadas	67
Tabla 3.31	Resultados del ensayo de caras fracturadas	68
Tabla 3.32	Datos del ensayo partículas chatas y alargadas	70
Tabla 3.33	Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas	70
Tabla 3.34	Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100	72

Tabla 3.35 Datos del ensayo punto de inflamación	73
Tabla 3.36 Datos del ensayo peso específico	75
Tabla 3.37 Resultado del ensayo peso específico del cemento asfáltico	75
Tabla 3.38 Datos del ensayo punto de ablandamiento	76
Tabla 3.39 Datos del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.....	78
Tabla 3.40 Resultados del ensayo de viscosidad Saybolt furor	79
Tabla 3.41 Datos del ensayo RICE	82
Tabla 3.42 Resultados del ensayo RICE	82
Tabla 3.43 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos	83
Tabla 3.44 Resultados de la caracterización del cemento asfáltico	84
Tabla 3.45 Resultados ensayo RICE densidad máxima de mezclas sin compactar.....	85
Tabla 3.46 Resultados de la determinación de gravedades específicas de la mezcla	87
Tabla 3.47 Resumen de la granulometría formada	87
Tabla 3.48 Dosificación materiales pétreos	88
Tabla 3.49 Variaciones del porcentaje asfáltico para obtener el porcentaje óptimo.....	89
Tabla 3.50 Total de briquetas para la investigación.....	90
Tabla 4.1 Dosificación del cemento asfáltico en diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	92
Tabla 4.2 Alturas medidas de cada briqueta	100
Tabla 4.3 Peso en el aire de las briquetas.....	101
Tabla 4.4 Peso de la briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S)	101
Tabla 4.5 Peso de la briqueta sumergida en el agua	102
Tabla 4.6 Datos del ensayo de estabilidad y fluencia	104
Tabla 4.7 Alturas promedio y factor de corrección por altura	105

Tabla 4.8 Estabilidad corregida.....	105
Tabla 4.9 Resultados de la estabilidad y fluencia	105
Tabla 4.10 Resultados del diseño de la mezcla convencional por el método Marshall.....	106
Tabla 4.11 Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.....	109
Tabla 4.12 Dosificación con el contenido óptimo de asfalto de 5,71%.....	110
Tabla 4.13 Datos obtenidos del ensayo Marshall del contenido óptimo de asfalto	111
Tabla 4.14 Resultados de la mezcla convencional diseñada por Marshall	112
Tabla 4.15 Gravedades específicas de las mezclas	114
Tabla 4.16 Gravedades específicas muestra N°1	115
Tabla 4.17 Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	115
Tabla 4.18 Vértice de las isolíneas.....	116
Tabla 4.19 Coordenadas del centroide	116
Tabla 4.20 Gravedades específicas de la muestra N°2.....	117
Tabla 4.21 Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	117
Tabla 4.22 Vértices de las isolíneas	118
Tabla 4.23 Coordenadas del centroide.....	118
Tabla 4.24 Gravedades específicas para la mezcla N°3	119
Tabla 4.25 Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	119
Tabla 4.26 Vértices de las isolíneas	120
Tabla 4.27 Coordenadas del centroide	120
Tabla 4.28 Gravedades específicas de la muestra N°4.....	121
Tabla 4.29 Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	121
Tabla 4.30 Vértices de las isolíneas	122

Tabla 4.31	Coordenadas del centroide.....	122
Tabla 4.32	Gravedades específicas de la muestra N°5.....	123
Tabla 4.33	Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	123
Tabla 4.34	Vértices de las isolíneas.....	124
Tabla 4.35	Coordenadas del centroide.....	124
Tabla 4.36	Gravedades específicas para la muestra N°6.....	125
Tabla 4.37	Especificaciones de vacíos metodología RAMCODES.....	125
Tabla 4.38	Vértices de las isolíneas.....	126
Tabla 4.39	Coordenadas del centroide.....	126
Tabla 4.40	Datos de las gravedades específicas de cada muestra.....	127
Tabla 4.41	Datos de las especificaciones de vacíos.....	127
Tabla 4.42	Datos del Gmm (Gravedad específica teórica máxima de la mezcla).....	128
Tabla 4.43	Datos para las isolíneas de vacíos Va.....	129
Tabla 4.44	Datos para las isolíneas de vacíos VAM.....	131
Tabla 4.45	Datos para las isolíneas de vacíos VAF.....	132
Tabla 4.46	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VAF.....	133
Tabla 4.47	Coordenadas de los vértices del polígono de vacíos.....	134
Tabla 4.48	Coordenadas del centroide polígono de vacíos.....	135
Tabla 4.49	Gravedades específicas para la muestra N°2.....	137
Tabla 4.50	Especificaciones de vacíos para la muestra N°2.....	137
Tabla 4.51	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VAF para la muestra N°2.....	137
Tabla 4.52	Coordenadas de los vértices del polígono de vacíos.....	138
Tabla 4.53	Coordenadas del centroide del polígono de vacíos.....	138
Tabla 4.54	Gravedades específicas para la muestra N°3.....	139

Tabla 4.55	Especificaciones de vacíos para la muestra N°3	139
Tabla 4.56	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VAF para la muestra N°3.....	139
Tabla 4.57	Coordenadas de los vértices del polígono vacíos	140
Tabla 4.58	Coordenadas del centroide del polígono de vacíos.....	140
Tabla 4.59	Gravedades específicas para la muestra N°4.....	141
Tabla 4.60	Especificaciones de vacíos para la muestra N°4	141
Tabla 4.61	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VAF para la muestra N°4.....	141
Tabla 4.62	Coordenadas de los vértices del polígono de vacíos.....	142
Tabla 4.63	Coordenadas del centroide del polígono de vacíos.....	142
Tabla 4.64	Gravedades específicas para la muestra N°5.....	143
Tabla 4.65	Especificaciones de vacíos para la muestra N°5	143
Tabla 4.66	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VFA para la muestra N°5.....	143
Tabla 4.67	Coordenadas de los vértices del polígono de vacíos.....	144
Tabla 4.68	Coordenadas del centroide del polígono de vacíos.....	144
Tabla 4.69	Gravedades específicas de la muestra N°6.....	145
Tabla 4.70	Especificaciones de vacíos para la muestra N°6	145
Tabla 4.71	Datos de las isolíneas de vacíos Va, VAM y VAF para la muestra N°6.....	145
Tabla 4.72	Coordenadas de los vértices del polígono de vacíos.....	146
Tabla 4.73	Coordenadas del centroide del polígono de vacíos.....	146
Tabla 4.74	Comparación de resultados de valores de contenidos óptimos de asfalto ..	147
Tabla 4.75	Dosificación de la mezcla convencional 85-100 metodología RAMCODES.....	148

Tabla 4.76	Datos obtenidos del ensayo Marshall de mezclas asfálticas con porcentajes óptimos de cemento asfáltico obtenidos mediante la metodología RAMCODES.....	149
Tabla 4.77	Resultados de las mezclas asfálticas con porcentaje óptimo de asfalto obtenido de la metodología RAMCODES	150
Tabla 4.78	Resultados de las gráficas del ensayo Marshall para el contenido óptimo de la metodología RAMCODES.....	153
Tabla 4.79	Datos del ensayo Marshall para el contenido óptimo de asfalto de la mezcla convencional obtenido por la metodología RAMCODES.....	154
Tabla 4.80	Resultado del ensayo Marshall del contenido óptimo de asfalto de la mezcla convencional obtenido por la metodología RAMCODES.....	154
Tabla 4.81	Resumen de resultados de estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas con 5,71 % de contenido óptimo de asfalto obtenido por el método Marshall.....	155
Tabla 4.82	Resumen de resultados de estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas con 5,68% de contenido óptimo de asfalto obtenido por la metodología RAMCODES.....	156
Tabla 4.83	Resultados de la evaluación de la estabilidad y la fluencia obtenida de la estadística.....	157
Tabla 4.84	Estabilidad y fluencia de las mezclas asfálticas convencional 85-100	162
Tabla 4.85	Generando la hipótesis.....	165
Tabla 4.86	Resultados de Z.....	166
Tabla 4.87	Cantidad total de asfalto y agregado para la mezcla asfáltica diseñada por el método Marshall.	171
Tabla 4.88	Cantidad total de cada tipo de agregado para la mezcla diseñada por el método Marshall.....	172

Tabla 4.89 Rendimientos para una carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por el método Marshall.	172
Tabla 4.90 Precios unitarios para una carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por el método Marshall	173
Tabla 4.91 Cantidad total de cemento asfáltico y agregado para carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por la metodología RAMCODES.....	174
Tabla 4.92 Cantidad total de cada tipo de agregado para carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por la metodología RAMCODES.....	175
Tabla 4.93 Rendimiento para una carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por la metodología RAMCODES	175
Tabla 4.94 Precios unitarios para una carpeta asfáltica convencional mezcla diseñada por la metodología RAMCODES	176
Tabla 4.95 Costos de producción.....	177
Tabla 4.96 Ventajas y desventajas de las metodologías Marshall y RAMCODES	178

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Parámetro del diseño volumétrico	13
Figura 2.2 Componentes de la mezcla de asfalto en caliente compactada.....	18
Figura 2.3 Isolíneas de vacíos de aire V_a	28
Figura 2.4 Isolíneas de vacíos en el agregado mineral (VAM).....	29
Figura 2.5 Isolíneas de vacíos llenados con asfalto (VFA).....	30
Figura 2.6 Polígono de vacíos RAMCODES.....	30
Figura 2.7 Simbología polígono de vacíos RAMCODES	31
Figura 3.1 Ubicación de los agregados pétreos.....	44
Figura 3.2 Ubicación del cemento asfáltico	45
Figura 3.3 Proceso del pesaje para el tamizado del agregado.....	47
Figura 3.4 Proceso del tamizaje del agregado.....	48
Figura 3.5 Máquina de desgaste por abrasión	52
Figura 3.6 Medición del peso sumergido del agregado	55
Figura 3.7 Ensayo peso específico del agregado fino	58
Figura 3.8 Peso unitario compactado grava 3/8"	61
Figura 3.9 Ensayo equivalente de arena.....	65
Figura 3.10 Partículas de caras fracturadas.....	67
Figura 3.11 Determinación de partículas largas y achatadas	69
Figura 3.12 Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico	71
Figura 3.13 Realización del ensayo punto de inflamación	73
Figura 3.14 Ensayo del peso específico del cemento asfáltico	74

Figura 3.15 Ensayo punto de ablandamiento	76
Figura 3.16 Ensayo de ductilidad del cemento asfáltico	77
Figura 3.17 Ensayo viscosidad de Saybolt furor.....	79
Figura 3.18 Desarrollo del ensayo RICE	81
Figura 3.19 Ensayo RICE	81
Figura 4.1 Elaboración de las briquetas	94
Figura 4.2 Mezcla asfáltica	95
Figura 4.3 Proceso de compactación de la briqueta.....	95
Figura 4.4 Extracción de la briqueta	96
Figura 4.5 Medición de las alturas de las briquetas	97
Figura 4.6 Pesado en seco de la briqueta	98
Figura 4.7 Briqueta sumergida en el agua.....	98
Figura 4.8 Prensa Marshall para el ensayo de estabilidad y fluencia.....	99
Figura 4.9 Simbología del polígono de vacíos.....	136
Figura 4.10 Formulación de la regla de decisiones.....	166

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1 Curva granulométrica agregado grueso grava 3/4”	49
Gráfico 3.2 Curva granulométrica agregado grueso grava 3/8”	50
Gráfico 3.3 Curva granulométrica agregado fino	51
Gráfico 3.4 Curva granulométrica formada por el diseño Marshall	89
Gráfico 4.1 Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Densidad de la briqueta	107
Gráfico 4.2 Porcentaje de cemento asfáltico vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla	107
Gráfico 4.3 Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Vacíos de agregado mineral (V.A.M)	108
Gráfico 4.4 Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Estabilidad	108
Gráfico 4.5 Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs Fluencia (flujo)	109
Gráfico 4.6 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	116
Gráfico 4.7 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	118
Gráfico 4.8 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	120
Gráfico 4.9 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	122
Gráfico 4.10 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	124
Gráfico 4.11 Polígono de vacíos de la metodología RAMCODES	126
Gráfico 4.12 Isolíneas de vacíos Va	130
Gráfico 4.13 Isolíneas de vacíos VAM	131
Gráfico 4.14 Isolíneas de vacíos VAF	133
Gráfico 4.15 Intersección de isolíneas Va, VAM y VFA	134
Gráfico 4.16 Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°1	136

Gráfico 4.17	Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°2	138
Gráfico 4.18	Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°3	140
Gráfico 4.19	Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°4	142
Gráfico 4.20	Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°5	144
Gráfico 4.21	Polígono de vacíos RAMCODES muestra N°6	146
Gráfico 4.22	Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Densidad de la briqueta	151
Gráfico 4.23	Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Porcentaje de vacíos en aire con respecto a la mezcla total.....	151
Gráfico 4.24	Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Vacíos del agregado mineral (V.A.M).....	152
Gráfico 4.25	Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs. Estabilidad corregida.....	152
Gráfico 4.26	Porcentaje de cemento asfáltico (C.A) vs Fluencia (flujo).....	153
Gráfico 4.27	Evaluación de estabildades para el método Marshall	158
Gráfico 4.28	Evaluación de la fluencia para el método Marshall	159
Gráfico 4.29	Evaluación de estabildades para la metodología RAMCODES	160
Gráfico 4.30	Evaluación de la fluencia por la metodología RAMCODES.....	161
Gráfico 4.31	Estabilidad obtenidas por la metodología Marshall y RAMCODES.....	163
Gráfico 4.32	Fluencias obtenidas de las metodologías de diseño de mezclas asfálticas Marshall y RAMCODES.....	164
Gráfico 4.33	Costos de las mezclas asfálticas para un m ³	177