

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA

CARRERA - INGENIERIA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFIA Y VIAS DE
COMUNICACION**



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON MACROFIBRAS”**

por:

JORGE MIJAEL MENDOZA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de licenciatura en INGENIERIA CIVIL

SEMESTRE I - 2019

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 COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS REFORZADAS CON MACROFIBRAS”**

Elaborado por:

JORGE MIJAEL MENDOZA

SEMESTRE I - 2019

TARIJA - BOLIVIA

V° B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Alvarez Gozalvez

DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....
Ing. Ada Gladys López Rueda

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

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

A mi abuela Lola Mendoza, a mi tía Enilda Jerez, mi madre Narciza Mendoza y a mis hermanos (as) por apoyarme siempre, por haber confiado en mí e inculcarme la perseverancia para cumplir mis metas e ideales.

A mi maravillosa familia tan unida que Dios me dio.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza de poder concluir una etapa más en mi vida.

A mi abuela Lola Mendoza y a mi tía Enilda Jerez Mendoza por apoyarme incondicionalmente en todo momento sin importar las circunstancias ni las adversidades.

A mi madre Narciza Mendoza y a hermanos (as) por darme su apoyo incondicional.

Dedicatoria

Agradecimiento

Resumen

INDÍCE GENERAL

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

	Pág.
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.1 Situación problemática	3
1.3.2 Problema	3
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 HIPÓTESIS	4
1.6 ALCANCE	4
1.7 DEFINICIÓN DE VARIABLES	5
1.7.1 Variables independientes	5
1.7.2 Variables dependientes	5
1.7.3 Operacionalización de variables	6
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.8.1 Unidad de estudio	7
1.8.2 Población	7
1.8.3 Muestra	7
1.8.4 Muestreo	7
1.9 MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	7
1.9.1 Método	7
1.9.2 Técnicas	8

1.9.3	Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva.....	10
1.9.4	Análisis de resultados.....	11
1.9.4.1	Estadística descriptiva	11

CAPÍTULO II
MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.
2.1 GENERALIDADES	13
2.1.1 Definición de mezcla asfáltica	13
2.1.2 Clasificación de mezcla asfáltica	13
2.1.3 Características de la mezcla (analizando el método Marshall)	14
2.1.3.1 Densidad	14
2.1.3.2 Vacíos de aire	15
2.1.3.3 Vacíos en el Agregado Mineral (VMA)	15
2.1.3.4 Contenido de asfalto	16
2.1.3.5 Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)	17
2.1.4 Propiedades de las mezclas asfálticas	18
2.1.4.1 Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas	18
2.1.4.2 Durabilidad	19
2.1.4.3 Flexibilidad	20
2.1.4.4 Resistencia a la fatiga	20
2.1.4.5 Resistencia al fracturamiento por baja temperatura	22
2.1.4.6 Resistencia al daño por humedad o impermeabilidad	22
2.1.4.7 Resistencia al deslizamiento	22
2.1.4.8 Trabajabilidad	23
2.2 COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	23
2.2.1 Cemento asfáltico	23
2.2.1.1 Ensayos realizados al asfalto para determinar sus propiedades	24
2.2.1.1.1 Penetración (ASTM D 5; AASHTO T49-97)	24
2.2.1.1.2 Ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00)	24

2.2.1.1.3	Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01; AASHTO T79-96).....	24
2.2.1.1.4	Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T201; ASTM D 2170)	25
2.2.1.1.5	Densidad (ASTM D 71-94; AASHTO T229-97).....	25
2.2.1.2	Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración.....	25
2.2.2	Agregados.....	25
2.2.2.1	Ensayos realizados a los agregados	26
2.2.2.1.1	Granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27-99)	26
2.2.2.1.2	Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85; AASHTO T84).....	26
2.2.2.1.3	Equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00).....	26
2.2.2.1.4	Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131; AASHTO T96-99).....	27
2.2.2.1.5	Desintegración de sulfato de sodio (ASTM E 88; AASHTO T104-99).....	27
2.2.2.1.6	Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)	27
2.2.2.3	Especificaciones que deben cumplir los agregados.....	27
2.2.2.3.1	Agregado grueso.....	27
2.2.2.3.2	Agregado fino.....	27
2.2.3	Filler (llenante mineral).....	28
2.2.3.1	Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas.....	29
2.2.3.2	Ensayos realizados al filler.....	29
2.2.3.2.1	Granulometría del filler (ASTM D 246)	29
2.2.3.2.2	Índice de plasticidad (ASTM D 4318; AASHTO T 90)	29
2.2.3.3	Especificaciones del filler.....	29
2.3	MACROFIBRAS.....	30
2.3.1	Clasificación de las fibras	31
2.3.2	Características de las fibras.....	32
2.3.2.1	Resistencia a tracción	32
2.3.2.2	Resistencia de anclaje.....	33
2.3.2.3	Resistencia del alambre	34

2.3.2.4 Ductilidad del alambre	34
2.3.3 Características geométricas de las fibras.....	35
2.3.4 Ventajas y desventajas de las macrofibras	35
2.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS, MÉTODO MARSHALL	36
2.4.1 Metodología	36
2.4.2 Propósito de la metodología.....	36
2.4.3 Descripción general.....	36
2.4.4 Especificaciones de la metodología	39
2.4.4.1 Granulometría.....	39
2.4.4.2 Golpes de compactación.....	40
2.4.4.3 Parámetros volumétricos de diseño Marshall.....	40
2.4.5 Ensayos realizados a la mezcla asfáltica compactada	41
2.4.5.1 Determinación de la gravedad específica bulk	41
2.4.5.2 Ensayo de estabilidad y flujo.....	41
2.4.5.3 Análisis de densidad y vacíos.....	42

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

	Pág.
3.1 CRITERIOS A UTILIZARSE.....	43
3.1.1 Macrofibras	43
3.1.2 Criterios de selección del banco de materiales.....	44
3.1.3 Criterios de selección de asfalto.....	45
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	46
3.2.1 Ensayo de granulometría (AASHTO T-27); (ASTM C-1236)	47
3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96); (ASTM C-131)	50
3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T-104); (ASTM C-88).....	52
3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85); (ASTM C-127)	56

3.2.5	Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASTHO T-84); (ASTM C-128)	58
3.2.6	Ensayo de peso unitario de los agregados (AASTHO T-19); (ASTM C-29)	60
3.2.7	Ensayo de equivalente de arena (AASTHO T-176); (ASTM D-2419).....	63
3.2.8	Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados (ASTM D-5821).....	64
3.2.9	Resultados del agregado.....	66
3.3	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	66
3.3.1	Ensayo de penetración (AASTHO T49-97) (ASTM D-5)	67
3.3.2	Ensayo de punto de inflamación (AASTHO T-48); (ASTM D-92).....	69
3.3.3	Ensayo de peso específico del asfalto (AASTHO T-43); (ASTM D-70)	70
3.3.4	Ensayo punto de ablandamiento (AASTHO T-53); (ASTM D-36).....	72
3.3.5	Ensayo ductilidad (AASTHO T51-00); (ASTM D-113)	74
3.3.6	Ensayo viscosidad Saybolt Furol (AASTHO T-27); (ASTM D-88).....	75
3.3.7	Resultados de los ensayos realizados al cemento asfáltico	76

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Pág.	
4.1	COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	77
4.2	Combinación de agregados pétreos para el diseño (mezcla convencional).....	78
4.3	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON C.A (85-100) Y (60-85).....	79
4.3.1	Dosificación de los especímenes (briquetas)	79
4.3.2	Desarrollo de la elaboración de las briquetas	80
4.3.3	Ensayo de Marshall	81
4.3.4	Proceso de cálculo de propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica.....	83
4.3.4.1	Identificaciones de briquetas	83
4.3.4.2	Altura de las briquetas	83
4.3.4.3	Porcentaje de asfalto.....	83
4.3.4.4	Peso de la briqueta al aire	84

4.3.4.5	Peso de la briqueta en el aire saturada superficialmente seco (SSS).....	84
4.3.4.6	Peso de la briqueta sumergida en agua.....	84
4.3.4.7	Volumen de la briqueta	84
4.3.4.8	Densidad de la briqueta	84
4.3.4.9	Porcentaje de vacíos	85
4.3.4.10	Estabilidad y fluencia	86
4.4	DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO CEMENTO	
	ASFÁLTICO MODIFICADO (60-85).....	93
4.4.1	Dosificación de los especímenes (briquetas)	93
4.4.2	Resultados de las muestras.....	94
4.5	DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON MACROFIBRAS Y %	
	ÓPTIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO.	100
4.5.1	Diseño de la mezcla asfáltica con macrofibras y % óptimo de cemento asfáltico (85-100).	100
4.5.2	Diseño de la mezcla asfáltica con macrofibras y % óptimo del cemento asfáltico (60-85)	107
4.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	114
4.7	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE LAS MEZCLAS	
	ASFÁLTICAS REFORZADAS CON MACROFIBRAS.....	120
4.7.1	Estabilidad C.A (85-100)	121
4.7.2	Fluencia C.A (85-100).....	122
4.7.3	Porcentajes de vacíos C.A (85-100).....	123
4.7.4	Densidad C.A (85-100)	124
4.7.5	Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M), C.A (85-100)	125
4.7.6	Relación Betún Vacíos (R.B.V), C.A (85-100).....	126
4.7.7	Estabilidad C.A (60-85)	128
4.7.8	Fluencia C.A (60-85).....	129
4.7.9	Porcentajes de vacíos C.A (60-85).....	130
4.7.10	Densidad C.A (60-85)	131
4.7.11	Vacíos en el Agregado Mineral (V.A.M), C.A (60-85)	132
4.7.12	Relación Betún Vacíos (R.B.V), C.A (60-85).....	133

4.8 ANÁLISIS DE PRECIOS DE PRODUCCIÓN PARA LAS DIFERENTES MEZCLAS ASFÁLTICAS	134
4.8.1 Análisis del precio de producción de la mezcla asfáltica C.A (85-100). ...	134
4.8.2 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibra C.A (85-100).....	136
4.8.3 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica C.A (60-85) ...	138
4.8.4 Análisis del precio de producción para la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibra C.A (60-85).....	140

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
5.1 CONCLUSIONES	145
5.2 RECOMENDACIONES	146

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO A** PLANILLAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.
- ANEXO B** PLANILLAS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS PARA LA
CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.
- ANEXO C** DOSIFICACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Operacionalidad de variables independientes	6
Tabla 1.2. Operacionalidad de variables dependientes	6
Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas.....	14
Tabla 2.2. Requisitos del cemento asfáltico clasificado por penetración	25
Tabla 2.3. Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	26
Tabla 2.4. Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso	27
Tabla 2.5. Especificaciones que debe cumplir el agregado fino	28
Tabla 2.6. Graduación del agregado fino de acuerdo a AASHTO M 29	28
Tabla 2.7. Granulometría que debe cumplir el filler de acuerdo con la norma ASTM	30
Tabla 2.8. Especificaciones que debe cumplir el filler	30
Tabla 2.9. Especificaciones técnicas de las fibras metálicas.	34
Tabla 2.10. Granulometrías que deben cumplir los agregados para el diseño Marshall....	39
Tabla 2.11. Número de golpes en cada cara del espécimen de ensayo	40
Tabla 2.12. Requisitos para la mezcla asfáltica Marshall (AASHTO T 2459).....	40
Tabla 2.13. Porcentajes mínimos de vacíos en el agregado mineral (VMA).....	41
Tabla 3.1. Propiedades de las fibras de acero	43
Tabla 3.2. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional Betunel 85-100....	45
Tabla 3.3. Especificación técnica del cemento asfáltico modificado STRATURA Betuflex 60-85	46
Tabla 3.4. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 1	48
Tabla 3.5. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 2	49
Tabla 3.6. Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 3	49
Tabla 3.7. Datos y resultados del ensayo de desgaste para la grava 3/4" (Charaja)	51
Tabla 3.8. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8" (Charaja).....	52
Tabla 3.9. Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Charaja)	53
Tabla 3.10. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso (Charaja).....	54
Tabla 3.11. Datos del ensayo de durabilidad para agregado fino (Charaja)	55
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino (Charaja)	55
Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (Charaja).....	57

Tabla 3.14. Datos del ensayo de peso específico para agregado medio (Charaja)	58
Tabla 3.15. Datos del ensayo de peso específico del agregado fino (Charaja)	59
Tabla 3.16. Datos y resultados del ensayo de peso unitario de la grava ¾ (Charaja)	61
Tabla 3.17. Datos y resultados del peso unitario de la gravilla 3/8" (Charaja)	61
Tabla 3.18. Datos y resultados del peso unitario de la arena (Charaja)	62
Tabla 3.19. Datos y resultados del ensayo de equivalente de arena	64
Tabla 3.20. Datos y resultados del ensayo del porcentaje de cara fracturadas	65
Tabla 3.21. Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos	66
Tabla 3.22. Datos y resultados del ensayo de penetración C.A (85-100)	68
Tabla 3.23. Datos y resultados del ensayo de penetración C.A (60-85)	68
Tabla 3.24. Datos del ensayo punto de inflamación C.A (85-100)	70
Tabla 3.25. Datos del ensayo punto de inflamación C.A (60-85)	70
Tabla 3.26. Datos y resultados del ensayo de peso específico C.A (85-100)	71
Tabla 3.27. Datos y resultados del ensayo de peso específico C.A (60-85)	72
Tabla 3.28. Datos y resultados del ensayo de punto de ablandamiento C.A (85-100)	73
Tabla 3.29. Datos y resultados del ensayo de punto de ablandamiento C.A (60-85)	73
Tabla 3.30. Resultados del ensayo de ductilidad del C.A (85-100)	74
Tabla 3.31. Resultados del ensayo de ductilidad del C.A (60-85)	75
Tabla 3.32. Resultados del ensayo viscosidad Saybolt Furol C.A (85-100)	76
Tabla 3.33. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A (85-100)	76
Tabla 3.34. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A (60-85)	76
Tabla 4.1. Granulometría de grava (Charaja) de ¾"	77
Tabla 4.2. Granulometría de gravilla (Charaja) de 3/8"	77
Tabla 4.3. Granulometría de la arena triturada (Charaja)	77
Tabla 4.4. Dosificación de agregados pétreos	78
Tabla 4.5. Peso de los agregados a diferentes porcentajes de C.A (85-100)	79
Tabla 4.6. Resultados de la dosificación para el diseño de la mezcla asfáltica convencional (85-100)	88
Tabla 4.7. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica (85-100)	92
Tabla 4.8. Resultados del diseño óptimo de los ensayos (85-100)	92
Tabla 4.9. Peso de los agregados a diferentes porcentajes de C.A (60-85)	93

Tabla 4.10. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado (60-85).....	95
Tabla 4.11. Resultados del diseño óptimo de la mezcla asfáltica (60-85)	99
Tabla 4.12. Resultados del diseño óptimo de los ensayos (60-85)	99
Tabla 4.13. Dosificación a diferentes porcentajes de macrofibras con el contenido óptimo de cemento asfáltico (85-100).....	100
Tabla 4.14. Datos obtenidos del ensayo Marshal de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100)	101
Tabla 4.15. Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100).....	101
Tabla 4.16. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 1 % de macrofibras C.A (85-100)	102
Tabla 4.17. Resultados de las propiedades mecánicas al 1 % de macrofibras C.A (85-100)	102
Tabla 4.18. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 2 % de macrofibras C.A (85-100)	103
Tabla 4.19. Resultados de las propiedades mecánicas al 2 % de macrofibras C.A (85-100)	103
Tabla 4.20. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 4 % de macrofibras C.A (85-100)	104
Tabla 4.21. Resultados de las propiedades mecánicas al 4 % de macrofibras C.A (85-100)	104
Tabla 4.22. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 5 % de macrofibras C.A (85-100)	105
Tabla 4.23. Resultados de las propiedades mecánicas al 5 % de macrofibras C.A (85-100)	105
Tabla 4.24. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 7 % de macrofibras C.A (85-100)	106
Tabla 4.25. Resultados de las propiedades mecánicas al 7 % de macrofibras C.A (85-100)	106

Tabla 4.26. Dosificación a diferentes porcentajes de macrofibras con el contenido óptimo de cemento asfáltico (60-85).....	107
Tabla 4.27. Datos obtenidos del ensayo Marshal de la mezcla asfáltica convencional C.A (60-85)	108
Tabla 4.28. Resultados de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica convencional C.A (60-85).....	108
Tabla 4.29. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 1 % de macrofibras C.A (60-85)	109
Tabla 4.30. Resultados de las propiedades mecánicas al 1 % de macrofibras C.A (60-85)	109
Tabla 4.31. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 2 % de macrofibras C.A (60-85)	110
Tabla 4.32. Resultados de las propiedades mecánicas al 2 % de macrofibras C.A (60-85)	110
Tabla 4.33. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 4 % de macrofibras C.A (60-85)	111
Tabla 4.34. Resultados de las propiedades mecánicas al 4 % de macrofibras C.A (60-85)	111
Tabla 4.35. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 5 % de macrofibras C.A (60-85)	112
Tabla 4.36. Resultados de las propiedades mecánicas al 5 % de macrofibras C.A (60-85)	112
Tabla 4.37. Datos obtenidos del ensayo Marshal al 7 % de macrofibras C.A (60-85)	113
Tabla 4.38. Resultados de las propiedades mecánicas al 7 % de macrofibras C.A (60-85)	113
Tabla 4.39. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional C.A (85-100)	114
Tabla 4.40. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras C.A (85-100)	114

Tabla 4.41. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 2 % de macrofibras	
C.A (85-100)	115
Tabla 4.42. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 4 % de macrofibras	
C.A (85-100)	115
Tabla 4.43. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 5 % de macrofibras	
C.A (85-100)	116
Tabla 4.44. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 7 % de macrofibras	
C.A (85-100)	116
Tabla 4.45. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica convencional	
C.A (60-85)	117
Tabla 4.46. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras	
C.A (60-85)	117
Tabla 4.47. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 2 % de macrofibras	
C.A (60-85)	118
Tabla 4.48. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 4 % de macrofibras	
C.A (60-85)	118
Tabla 4.49. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 5 % de macrofibras	
C.A (60-85)	119
Tabla 4.50. Estadística descriptiva en la mezcla asfáltica al 7 % de macrofibras	
C.A (60-85)	119
Tabla 4.51. Resumen de resultados de las características mecánicas de las mezclas asfálticas a diferentes porcentajes de macrofibras C.A (85-100).....	120
Tabla 4.52. Resumen de resultados de las características mecánicas de las mezclas asfálticas a diferentes porcentajes de macrofibras C.A (60-85).....	127
Tabla 4.53. Dosificación de la mezcla asfáltica C.A (85-100)	134
Tabla 4.54. Dosificación para 1 m ³ de mezcla asfáltica C.A (85-100).....	134
Tabla 4.55. Precio unitario para 1 m ³ de la mezcla asfáltica C.A (85-100).....	135
Tabla 4.56. Dosificación de la mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (85-100).....	136
Tabla 4.57. Dosificación para 1 m ³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras	
C.A (85-100)	136

Tabla 4.58. Precio unitario para 1 m ³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras	
C.A (85-100)	137
Tabla 4.59. Dosificación de la mezcla asfáltica C.A (60-85)	138
Tabla 4.60. Dosificación para 1 m ³ de mezcla asfáltica C.A (60-85).....	138
Tabla 4.61. Precio unitario para 1 m ³ de la mezcla asfáltica C.A (60-85).....	139
Tabla 4.62. Dosificación de la mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (60-85).....	140
Tabla 4.63. Dosificación al 1 m ³ de mezcla asfáltica al 1 % macrofibra C.A (60-85)	140
Tabla 4.64. Precio unitario para 1 m ³ de mezcla asfáltica al 1 % de macrofibras	
C.A (60-85)	141
Tabla 4.65. Resumen de costos C.A (85-100)	142
Tabla 4.66. Resumen de costos C.A (60-85)	143
Tabla 4.67. Diferencia de costos al 1 % de macrofibras.....	144

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Esquema de actividades en función al procedimiento definido por la perspectiva	10
Figura 2.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica	17
Figura 2.2. Clasificación por su material	31
Figura 2.3. Clasificación por su dimensión.....	32
Figura 2.4. Función resistente	32
Figura 2.5. Curva de tensión vs presión.....	33
Figura 2.6. Curva de tensión vs presión.....	33
Figura 2.7. Distintas clasificaciones.....	35
Figura 2.8. Distintas clasificaciones.....	35
Figura 3.1. Fibras Dramix 45/50.....	43
Figura 3.2. Zona de muestreo chancadora de (Charaja).....	44
Figura 3.3. Agregado pétreo.....	44
Figura 3.4. Proceso de tamizado del agregado grueso	47
Figura 3.5. Proceso del ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles	51
Figura 3.6. Colocando las muestras en los recipientes para posteriormente agregar el sulfato de sodio.....	53
Figura 3.7. Proceso del peso sumergido.....	56
Figura 3.8. Determinando el peso específico de la arena.....	58
Figura 3.9. Realizando el ensayo de peso unitario del agregado 3/8”	60
Figura 3.10. Mezcla de la arena con la solución para el equivalente de arena	63
Figura 3.11. Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados.....	65
Figura 3.12. Penetración de la muestra	67
Figura 3.13. Punto de inflamación en proceso de ensayo	69
Figura 3.14. Picnómetro más muestra a 25 °C.....	71
Figura 3.15. Muestra calentando a baño María.....	73
Figura 3.16. Muestra calentando a baño María.....	74
Figura 3.17. María Ensayo viscosidad Saybolt Furol	75
Figura 4.1. Curva granulométrica de agregados pétreos.....	79

Figura 4.2. Proceso de elaboracion de las briquetas	81
Figura 4.3. Briquetas finalizadas.....	81
Figura 4.4. Ensayo Marshall de estabilidad y fluencia	82
Figura 4.5. Porcentaje de asfalto vs densidad (85-100)	89
Figura 4.6. Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos (85-100).....	89
Figura 4.7. Porcentaje de asfalto vs VAM (85-100)	90
Figura 4.8. Porcentaje de asfalto vs RBV (85-100)	90
Figura 4.9. Porcentaje de asfalto vs estabilidad (85-100)	91
Figura 4.10. Porcentaje de asfalto vs flujo (85-100).....	91
Figura 4.11. Porcentaje de asfalto vs densidad (60-85)	96
Figura 4.12. Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos (60-85).....	96
Figura 4.13. Porcentaje de asfalto vs VAM (60-85)	97
Figura 4.14. Porcentaje de asfalto vs RBV (60-85)	97
Figura 4.15. Porcentaje de asfalto vs estabilidad (60-85)	98
Figura 4.16. Porcentaje de asfalto vs flujo (60-85).....	98
Figura 4.17. Comparación de estabilidades C.A (85-100).....	121
Figura 4.18. Comparación de fluencias C.A (85-100).....	122
Figura 4.19. Comparación del porcentaje de vacíos C.A (85-100).....	123
Figura 4.20. Comparación de densidades C.A (85-100).....	124
Figura 4.21. Comparación de VAM C.A (85-100)	125
Figura 4.22. Comparación de RBV C.A (85-100)	126
Figura 4.23. Comparación de estabilidades C.A (60-85).....	128
Figura 4.24. Comparación de fluencias C.A (60-85).....	129
Figura 4.25. Comparación del porcentaje de vacíos C.A (60-85).....	130
Figura 4.26. Comparación de densidades C.A (60-85).....	131
Figura 4.27. Comparación de VAM C.A (60-85)	132
Figura 4.28. Comparación de RBV C.A (60-85)	133
Figura 4.29. Comparación de costos C.A (85-100)	142
Figura 4.30. Comparación de costos C.A (60-85)	143