

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



*“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTABILIDAD MARSHALL DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS CALIENTES MODIFICADAS CON MICROFIBRAS
SINTÉTICAS FIBERMESH 150”*

Por:

RIOS AMADOR ELIO RODRIGO

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

SEMESTRE II 2025

Tarija-Bolivia

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres Elio Ríos y Ana María Amador, quienes con su apoyo incondicional me motivaron día a día a seguir adelante.

A mi madre, que con su amor y sabios consejos me ayudó a culminar una etapa importante de mi vida, siendo una inspiración constante para no rendirme.

A mi padre, ejemplo de esfuerzo y perseverancia, quien con su trabajo y sacrificio me enseñó el valor del compromiso y la dedicación para alcanzar mis metas.

A mis hermanos Cinthia, Grecia y Jorge, por su cariño y apoyo constante, quienes en cada momento difícil me brindaron fortaleza y motivación para continuar.

Y a mis amigos, por su sincera amistad, por compartir los desafíos y alegrías de este camino, y por acompañarme en todo momento.

INDICE GENERAL

1 CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	3
1.3.1 Justificación Académica	3
1.3.2 Justificación sobre la Aplicación Técnica - Práctica.....	3
1.3.3 Justificación e Importancia Social	4
1.4 Planteamiento del problema.	4
1.5 Objetivos de la Investigación.	6
1.6 Planteamiento de la Hipótesis y sus Variables.	7
1.6.1 Formulación de la Hipótesis.	7
1.6.1.1 Hipótesis.....	7
1.6.2 Identificación y conceptualización de variables	7
1.7 Conceptualización y Operacionalización de las variables.	7

2 CAPITULO II

ESTRUCTURACIÓN DE ESTADO DE CONOCIMIENTO	9
2.1 Marco teórico	9
2.1.1 Definición de asfalto	9
2.1.2 Composición química de los asfaltos.....	10
2.1.3 Propiedades Físicas del asfalto	11
2.1.3.1 Durabilidad.....	11
2.1.3.2 Adhesión y cohesión.....	11
2.1.3.3 Susceptibilidad a la temperatura.	11
2.1.4 Mezclas asfálticas.....	12
2.1.5 Clasificación de las mezclas asfálticas	13
2.1.6 Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas	14
2.1.7 Deterioros en mezclas asfálticas	17
2.1.8 Deformación permanente	17
2.1.9 Asfalto modificado	18
2.1.10 Beneficios de la Modificación del Asfalto.....	19
2.1.11 Polímeros	19
2.1.12 Métodos de diseño.....	20
2.1.13 Método Marshall	20

2.1.13.1	consideraciones preliminares	20
2.1.13.2	Criterios para el proyecto de una mezcla asfáltica	21
2.1.13.3	Equipo	22
2.1.13.4	Descripción del método Marshall	23
2.1.13.5	Preparación de las muestras para ensayo	23
2.1.14	Preparación de las mezclas	24
2.1.14.1	Compactación de los núcleos de prueba	24
2.1.15	Ensayo Marshall.....	25
2.1.15.1	Procedimiento de ensayo	25
2.1.15.2	Equipo requerido	25
2.1.16	Pruebas de estabilidad y fluencia.....	25
2.1.17	Presentación de resultados.....	26
2.1.18	Microfibras.....	27
2.1.18.1	Cómo funcionan las microfibras.....	27
2.1.18.2	Qué beneficios aportan las microfibras.....	27
2.1.18.3	Microfibras sintéticas Fibermesh 150.....	28
2.1.18.4	Uso de las fibras	28
2.1.18.5	Información del producto	29
2.1.18.6	Información de aplicación	30
2.2	Marco referencial	31
2.3	Marco normativo.....	32
2.4	Análisis y posición del investigador.....	33
3	CAPITULO III:	
	DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	33
3.2	Criterios de Diseño Metodológico.....	33
3.2.1	Unidad de muestra.....	33
3.2.2	Población.....	33
3.2.3	Muestra.....	33
3.2.3.1	Caracterización de los agregados:.....	33
3.2.3.2	Caracterización del cemento asfáltico:	33
3.2.4	Tamaño de la muestra.....	34
3.2.5	Control y Validación Interna	35
3.2.6	Caracterización de los materiales	36
3.2.6.1	Ubicación y fuente de los materiales a utilizarse	36
3.2.7	Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136).....	39
3.2.8	Ensayo de peso específico	50

3.2.8.1	específico y absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C127 AASHTO T85).	50
3.2.9	Gravedad específica y absorción de los agregados finos (ASTM C 128-97)	55
3.2.10	Peso Unitario de los Agregados (ASTM C 29M-97)	58
3.2.11	Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D 5821-01)	61
3.2.12	Índice de Alargamiento y Aplanamiento (ASTM C 143)	64
3.2.13	Desgaste de los Ángeles (ASTM C 131-01)	68
3.2.3.	Equivalente de Arena (ASTM D 2419-95)	70
3.2.9.	Resumen y evaluación de la caracterización de los agregados	75
3.3	Caracterización del cemento asfáltico	75
3.3.1.	Ensayo de penetración [ASTM D 5-97)	76
3.3.2.	Peso específico (ASTM D 70-03)	77
3.3.1	Ensayo de ablandamiento (ASTM D 36-95)	79
3.3.2	Ensayo de ductilidad (ASTM D 113)	80
3.3.3	Evaluación de la caracterización del cemento asfáltico	81
3.4	Graduación Granulométrica ASTM D3515	82
3.5	Contenido mínimo de cemento asfáltico	83
3.6	Contenido óptimo de cemento asfáltico Método Marshall	84
3.6.1.	Determinación de la cantidad de material	84
3.6.1	Desarrollo de la elaboración de briquetas	86
3.6.2	Preparación de la muestra de ensayo	86
3.6.3	Elaboración de briquetas	86
3.6.4	Base de mezcla y agregado	88
3.6.5	Peso de la briqueta	88
3.6.5.1	Peso de la briqueta en estado seco.	88
3.6.5.2	Peso de la briqueta en estado saturado superficialmente seco.	89
3.6.5.3	Peso de la briqueta sumergida en el agua.	89
3.6.6	Volumen de la briqueta.	90
3.6.7	Densidad de la briqueta.	90
3.6.7.1	Densidad real de la briqueta.	90
3.6.7.2	Densidad máxima teórica de la briqueta.	90
3.6.8	Porcentaje de vacíos.	91
3.6.8.1	Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).	91
3.6.8.2	Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.).	91
3.6.8.3	porcentaje de vacíos llenos de asfalto o relación betún en vacíos (R.B.V)	91
3.6.9	Estabilidad y fluencia.	91

3.6.9.1	Corrección de la Estabilidad	92
3.7	Resultados Marshall	93
3.7.1	Gráficas Marshall	93
3.8	Criterios para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	95
3.9	Elaboración de briquetas con el porcentaje óptimo de cemento asfáltico y la adición de microfibras Sika Fibermesh 150.	96
4	CAPÍTULO IV	
	PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS.....	102
4.2	Análisis y resultados de una mezcla asfáltica modificada	102
4.2.1	Media.	103
4.2.2	Amplitud.	103
4.2.3	Número de intervalos de clases.	104
4.2.4	Amplitud de intervalo de clase.	104
4.2.5	Cálculo de los intervalos de clase, marca de clase, frecuencia absoluta y relativa.	105
4.2.6	Mediana (m).....	106
4.2.7	Desviación Standard o típica.	106
4.2.8	Error Estándar de la Media (Ex).	107
4.2.9	Cálculo del intervalo de Confianza (IC).	108
4.3	Interpretación de la hipótesis de investigación.	108
4.4	Decisión:	109
4.5	Análisis y resultados de una mezcla asfáltica convencional y una modificada.....	110
4.5.1	Densidad.....	110
4.5.2	Estabilidad (Marshall)	111
4.5.3	Fluencia.....	112
4.5.4	Porcentaje de vacíos (VTM).....	113
4.5.5	Relación Betún–Vacíos	114
4.5.6	Vacíos de agregado mineral (VMA).....	115
4.6	Análisis del precio de producción de la mezcla asfáltica convencional Composición de la mezcla	116
4.7	Análisis del precio de producción de la mezcla asfáltica modificada	118
4.8	Análisis comparativo entre resultados de laboratorio y datos municipales	121
4.9	Especificaciones Técnicas	124
4.9.1	Concepto del Objeto de Investigación	124
4.9.2	Materiales y Equipos	124
4.9.2.1	Materiales utilizados.....	124

4.9.2.2	Equipos utilizados	125
4.9.3	Procedimiento y Rango de Medición.....	125
4.9.4	Medición de la Variable	127
4.9.5	Forma de Cubicación.....	127
5	CAPÍTULO V	
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
5.2	Conclusiones	128
5.3	Recomendaciones.....	129
	Bibliografía	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Delimitación Temporal.....	5
Tabla 2.	Variables Independiente y dependiente.....	7
Tabla 3.	Normas aplicadas en los ensayos.....	32
Tabla 4.	Cálculo de muestra estratificada.....	35
Tabla 5.	Datos Granulométricos de los Agregados	39
Tabla 6.	Primer ensayo de granulometría de la grava	41
Tabla 7.	Segundo ensayo de granulometría de la grava	42
Tabla 8.	Tercer ensayo de granulometría de la grava	43
Tabla 9.	Primer ensayo de granulometría de la gravilla	44
Tabla 10.	Segundo ensayo de granulometría de la gravilla	45
Tabla 11.	Tercer ensayo de granulometría de la gravilla.....	46
Tabla 12.	Primer ensayo de granulometría de la arena.....	47
Tabla 13.	Segundo ensayo de granulometría de la arena.....	48
Tabla 14.	Tercer ensayo de granulometría de la arena.	49
Tabla 15.	Cantidad mínima ensayo gravedad específica y absorción	51
Tabla 16.	Pesos de la grava.....	52
Tabla 17.	Pesos de la gravilla	52
Tabla 18.	Gravedad específica y absorción de la grava.....	54
Tabla 19.	Gravedad específica y absorción de la gravilla	55
Tabla 20.	Datos de gravedades y absorción de la arena	56
Tabla 21.	Gravedades específicas y absorción de la arena	58

Tabla 22.	Peso unitario suelto de los agregados	59
Tabla 23.	Peso unitario compactado de los agregados	60
Tabla 24.	Cantidad mínima de material para ensayo caras fracturadas.....	62
Tabla 25.	Partículas fracturadas, cuestionables y no fracturadas.	63
Tabla 26.	Partículas fracturadas, cuestionables y no fracturadas.	64
Tabla 27.	Muestra mínima para el ensayo de Índice de alargamiento y aplanamiento ..	65
Tabla 28.	Índice de alargamiento del agregado grueso “Grava”	66
Tabla 29.	Índice de alargamiento del agregado grueso “Gravilla”	66
Tabla 30.	Índice de aplanamiento del agregado grueso “Grava”	67
Tabla 31.	Índice de alargamiento del agregado grueso “Gravilla”	68
Tabla 32.	Granulometrías para el ensayo de Desgaste de los Ángeles.....	68
Tabla 33.	Carga Abrasiva	69
Tabla 34.	Resultados de ensayo de equivalente de arena	71
Tabla 35.	Datos de la calibración de frasco volumétrico.....	72
Tabla 36.	Datos del ensayo de peso específico del filler	73
Tabla 37.	Resultados del ensayo de peso específico de filler convencional	74
Tabla 38.	Resumen de caracterización de los agregados.....	75
Tabla 39.	Penetración del cemento asfáltico	76
Tabla 40.	Gravedad específica bulk del cemento asfáltico.....	78
Tabla 41.	Punto de ignición y de llama del cemento asfáltico	79
Tabla 42.	Punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	79
Tabla 43.	Ductilidad del cemento asfáltico	80
Tabla 44.	Caracterización y evaluación de la calidad del cemento asfáltico según especificaciones técnicas de calidad de betún	81
Tabla 45.	Graduación granulométrica ASTM D3515	82
Tabla 46.	Índice asfáltico.....	84
Tabla 47.	Dosificación de la mezcla asfáltica.	85
Tabla 48.	Dosificación de la mezcla asfáltica con variación de porcentajes de cemento asfáltico.....	85
Tabla 49.	Alturas de cada briqueta ensayada.....	87
Tabla 50.	Peso de briquetas en estado seco	88

Tabla 51.	Peso de briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S.).....	89
Tabla 52.	Peso de briqueta sumergida en agua.....	89
Tabla 53.	Factores de corrección de la estabilidad	92
Tabla 54.	Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	93
Tabla 55.	Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.....	96
Tabla 56.	Peso del agregado y cemento asfáltico.	96
Tabla 57.	Datos obtenidos de la metodología Marshall de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de microfibras.....	97
Tabla 58.	Resultados de las gráficas del ensayo Marshall para el contenido óptimo de Microfibra.....	100
Tabla 59.	Resultados del ensayo de estabilidad con un porcentaje de 0.26% de microfibras Sika Fibermesh 150	102
Tabla 60.	Cálculo de frecuencia absoluta y relativa.	105
Tabla 61.	Composición mezcla convencional	116
Tabla 62.	Dosificación para 1 m ³ mezcla asfáltica convencional.....	116
Tabla 63.	Análisis de precios unitarios de una carpeta asfáltica convencional.	117
Tabla 64.	Composición mezcla modificada.....	118
Tabla 65.	Dosificación para 1 m ³ mezcla asfáltica modificada	118
Tabla 66.	Análisis de precios unitarios de una carpeta asfáltica modificada	119
Tabla 67.	Costo de producción de las mezclas asfálticas convencional y modificada.	120
Tabla 68.	Comparación del agregado grueso (grava).....	121
Tabla 69.	Comparación del agregado grueso (gravilla).....	122
Tabla 70.	Comparación del agregado fino (arena)	122

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	asfalto.....	9
Figura 2.	Deformación permanente	18
Figura 3.	Bolsa de microfibras sintéticas Fibermesh 150	29
Figura 4.	Micro fibras sintéticas Fibermesh 150.....	30
Figura 5.	Imagen satelital de la de la Chancadora Garzon.....	37
Figura 6.	Ubicación de la posta municipal de la provincia Cercado.....	38

Figura 7. Ubicación de CONCRETAR LTDA.	38
Figura 8. Curva granulométrica – grava.	42
Figura 9. Curva granulométrica – grava.	43
Figura 10. Curva granulométrica – grava.	44
Figura 11. Curva granulométrica – gravilla.	45
Figura 12. Curva granulométrica – gravilla.	46
Figura 13. Curva granulométrica – gravilla.	47
Figura 14. Curva granulométrica – arena.	48
Figura 15. Curva granulométrica – arena.	49
Figura 16. Curva granulométrica – arena.	50
Figura 17. Secado superficial y pesado sumergido.	51
Figura 18. Pesado del matraz y su desmoronamiento.	56
Figura 19. Pesado del molde con material.	58
Figura 20. Inspección visual por tamaños.	62
Figura 21. Evaluación del alargamiento del material.	65
Figura 22. Evaluación del aplanamiento del material.	67
Figura 23. Máquina de Desgaste de los Ángeles.	70
Figura 24. Probeta de equivalente de arena y su agitado.	71
Figura 25. Curva de calibración del frasco volumétrico.	73
Figura 26. Medición con el equipo de penetración.	76
Figura 27. Medición de la gravedad específica del cemento asfáltico.	77
Figura 28. Equipo de punto de ignición, llama y su medición.	78
Figura 29. Medición del ablandamiento del cemento asfáltico.	79
Figura 30. Medición de la ductilidad del cemento asfáltico.	80
Figura 31. Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.	93
Figura 32. Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.	94
Figura 33. Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total. ..	94
Figura 34. Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.	94
Figura 35. Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).	95
Figura 36. Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos del agregado mineral (V.A.M.). ..	95
Figura 37. Densidad vs Microfibra.	98

Figura 38. Estabilidad corregida vs Microfibra	98
Figura 39. Porcentaje de vacíos de mezcla vs Microfibra.	99
Figura 40. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs Microfibra.....	99
Figura 41. Relación betumen vacíos (R.B.V.). vs Microfibra.	99
Figura 42. Determinación del histograma y polígono de frecuencias.....	105
Figura 43. Determinación de la curva de frecuencia acumulada.	106
Figura 44. Representación gráfica de la prueba de hipótesis Z para la estabilidad Marshall	109
Figura 45. Densidad VS Porcentaje de microfibra	110
Figura 46. Estabilidad VS Porcentaje de microfibra.....	111
Figura 47. Fluencia VS Porcentaje de microfibra.....	112
Figura 48. Porcentaje de vacíos VS Porcentaje de microfibra.....	113
Figura 49. Relación Betún Vacíos VS Porcentaje de microfibra.....	114
Figura 50. Vacíos de agregado mineral VS Porcentaje de microfibra.....	115
Figura 51. Comparación del costo de producción de las mezclas asfáltica	120

ANEXOS

ANEXO I CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

ANEXO II CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

ANEXO III DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

ANEXO IV CARTAS DE SOLICITUD Y FICHAS TÉCNICAS

ANEXO V REPORTE FOTOGRAFICO.