

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON LA ADICIÓN DE FIBRAS
DE ACERO PROVENIENTE DEL RECICLADO DE NEUMÁTICO”**

Por:

RODRIGO MARCO SULLCA VALERIANO

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

SEMESTRE II - 2024

TARIJA-BOLIVIA

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y fortaleza en todo momento. Gracias por iluminar mi camino y darme la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar este proyecto.

A mi padre, Grover Sullca, y a mi madre, Felicidad Valeriano, por su amor incondicional y apoyo constante. Ustedes han sido mi inspiración y mi fuerza. Este logro es tanto de ustedes como mío, por todos los sacrificios y esfuerzos que han hecho por mí.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema.....	2
1.2.2. Delimitación temporal y espacial del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Operacionalización de las variables	4
1.6.1. Variables independientes.....	4
1.6.2. Variables dependientes.....	5
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables.....	5
1.7. Identificación del tipo de investigación	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1. Unidad de estudio.....	6
1.8.2. Población.....	6
1.8.3. Muestra	6
1.8.4. Selección de técnicas de muestreo	7
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	8
1.9.1. Métodos	8
1.9.2. Técnicas.....	8
1.9.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	8
1.9.4. Alcance de la investigación.....	9

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE ACERO PROVENIENTE DEL RECICLADO DE NEUMÁTICO

	Página
2.1 Cemento asfáltico.....	10
2.1.1 Definición.....	10
2.1.2 Origen del asfalto	11
2.1.3 Obtención del cemento asfáltico	12
2.1.4 Composición química del asfalto	14
2.1.4.1 Estructura físico-química del asfalto	15
2.1.4.1.1 Los asfaltenos	17
2.1.4.1.2 Los maltenos	17
2.1.4.1.3 Las resinas y los aceites	17
2.1.5 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	18
2.1.6 Propiedades de los cementos asfálticos.....	21
2.1.7 Ensayos de caracterización del cemento asfáltico.....	23
2.1.7.1 Ductilidad (AASHTO T51-00).....	23
2.1.7.2 Penetración (ASTM D 5).....	26
2.1.7.3 Viscosidad (AASHTO T201)	27
2.1.7.4 Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de Cleveland (ASTM D 1310-01)	28
2.1.7.5 Método para determinar la densidad del cemento asfáltico (ASTM D71-94)	30
2.2 Agregados	31
2.2.1. Fuentes de los agregados utilizados en pavimentos	31
2.2.2 Filler	32
2.2.3 Ensayos realizados a los agregados.....	32
2.2.3.1 Granulometría AASHTO T27-99	32
2.2.3.2 Gravedad específica y densidad de agregados gruesos AASHTO T85-91 ..	34
2.2.3.3 Gravedad específica y densidad de agregados finos AASHTO T84.....	36

2.2.3.4	Desgaste mediante la Máquina de los Ángeles AASTHO T96-99.....	37
2.2.3.5	Peso unitario de los agregados AASHTO T19-14.....	39
2.2.3.6	Equivalente de arena AASHTO T176-00.....	40
2.2.3.7	Partículas alargadas caras achatadas ASTM D4791-10	41
2.4	Fibras de acero proveniente del reciclado de neumáticos.....	42
2.4.1	Neumáticos.....	42
2.4.2	Fibra de acero reciclada.....	43
2.4.2.1	Obtención de las fibras de acero	43
2.5	Pavimentos	44
2.5.1	Pavimento flexible.....	45
2.5.1.1	Estructura de un pavimento flexible	47
2.5.1.1.1	Capa de rodamiento	47
2.5.1.1.2	Base	47
2.5.1.1.3	Sub-base.....	47
2.5.1.1.4	Subrasante.....	47
2.5.1.2	Conceptos estructurales básicos en los pavimentos flexibles.....	47
2.5.2	Método Marshall ASTM D 1559	48
2.5.2.1	Preparación de las mezclas	49
2.5.2.2	Compactación de la probeta.....	50
2.5.2.3	Determinación de la estabilidad y la deformación.....	51

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

	Página
3.1. Introducción	53
3.2. Selección de materiales	53
3.2.1. Obtención del material pétreo y cemento asfáltico	54
3.2.2. Obtención de las fibras de acero proveniente del reciclado de neumático.....	55
3.3. Ensayos de caracterización de agregados	55
3.3.1. Granulometría (AASHTO T – 27)	55

3.3.2. Peso específico del agregado grueso (AASHTO T85-91)	59
3.3.3. Peso específico del agregado fino (AASHTO T84-00).....	61
3.3.4. Peso unitario agregado (Grava, Gravilla) y agregado fino (Arena), (AASHTO T-19) (ASTM C-29).....	62
3.3.5. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM E 131, AASHTO T96-99).....	63
3.3.6. Porcentaje de caras fracturadas en los áridos	65
3.3.7. Determinación de partículas alargadas y achatadas (ASTM D-4791)	66
3.3.8. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D 2419, AASHTO T176-00).....	68
3.4. Ensayos de caracterización de las fibras de acero provenientes del reciclado de neumático	69
3.4.1. Propiedades visibles de las fibras de acero.....	69
3.4.2. Tamaño de las fibras de acero	69
3.5. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico	70
3.5.1. Ensayo de penetración.....	70
3.5.2. Punto de inflamación mediante la copa abierta de Cleveland.....	71
3.5.3. Ensayo para determinar la ductilidad	71
3.5.4. Ensayo peso específico del asfalto	72
3.5.5. Ensayo punto de ablandamiento.....	73

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Diseño por el método Marshall para el contenido óptimo	74
4.2. Desarrollo de la elaboración de briquetas	78
4.3. Resultados de la mezcla asfáltica convencional.....	80
4.4. Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	83
4.5. Procedimiento Marshall preliminar a briquetas con adición de fibras de acero proveniente del reciclado de neumático.....	84

4.5.1. Dosificación de briquetas preliminares modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos.....	84
4.5.2. Elaboración y ruptura de briquetas de mezcla modificada preliminar con la adición de fibras de acero proveniente del reciclado de neumático	85
4.5.3. Resultados de la mezcla asfáltica preliminar modificado con fibras de acero proveniente del reciclado de neumático	86
4.5.4. Análisis de los resultados obtenidos del procedimiento Marshal preliminar	87
4.5.4.1 Briquetas con un 5% de fibra de acero proveniente del reciclado de neumático.....	87
4.5.4.2 Análisis de los resultados de estabilidad en la mezcla asfáltica modificada con adición de fibras de acero preliminar.....	88
4.5.4.3 Análisis de los resultados de fluencia en la mezcla asfáltica modificada con adición de fibras de acero preliminar.....	89
4.5.4.4 Comparación de estabilidad entre la mezcla asfáltica convencional y modificada preliminar.....	90
4.5.4.5 Comparación de fluencia entre la mezcla asfáltica convencional y modificada preliminar.....	91
4.6 Identificación del rango de cemento asfáltico para mezclas modificadas con fibras	92
4.6.1 Dosificación de briquetas para la obtención del rango de cemento asfáltico a utilizar.....	92
4.6.2 Resultados de la mezcla asfáltica para determinar el rango de cemento asfáltico a utilizar	93
4.7 Procedimiento Marshall a briquetas con adición de fibras de acero proveniente del reciclado de neumático clasificadas por su longitud.....	95
4.7.1 Clasificación de las fibras de acero por su rango de longitud.....	95
4.7.2 Dosificación de briquetas modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos clasificadas	95
4.7.2.1 Dosificación de briquetas modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos Cortas (0-2 cm).....	96
4.7.2.2 Dosificación de briquetas modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos Medianas (2-4 cm).....	97
4.7.2.3 Dosificación de briquetas modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos Largas (4-6 cm).....	98
4.7.3 Ruptura de briquetas modificadas con la adición de fibras de acero recicladas de neumáticos clasificadas	99

4.7.4 Resultados de la mezcla asfáltica modifica con fibras de acero clasificada por rangos	99
4.7.4.1 Resultados de la mezcla asfáltica modificada con fibras de acero cortas proveniente del reciclado de neumático.....	100
4.7.4.2 Mezcla asfáltica optima modificada con fibras de acero cortas proveniente del reciclado de neumático.....	102
4.7.4.3 Resultados de la mezcla asfáltica modificada con fibras de acero medianas proveniente del reciclado de neumático	103
4.7.4.4 Mezcla asfáltica optima modificada con fibras de acero medianas proveniente del reciclado de neumático.....	105
4.7.4.5 Resultados de la mezcla asfáltica modificada con fibras de acero largas proveniente del reciclado de neumático.....	105
4.7.4.6 Mezcla asfáltica optima modificada con fibras de acero largas proveniente del reciclado de neumático.....	106
4.8 Precios unitarios para carpeta asfáltica	106
4.9 Análisis de los resultados obtenidos del procedimiento Marshal para las mezclas asfálticas modifica.....	107
4.9.1 Análisis estadístico de la dispersión de datos.....	107
4.9.1.1 Análisis estadístico de la dispersión de datos para mezclas asfálticas con fibras de acero cortas	107
4.9.1.2 Análisis estadístico de la dispersión de datos para mezclas asfálticas con fibras de acero medianas.....	109
4.9.2 Comparación de precios unitarios de mezcla asfáltica convencional y modificadas con fibra de acero.....	110
4.9.3 Comparación de estabilidad para las mezclas asfálticas convencionales, modificadas con fibra de acero y de trabajos similares.....	111
4.9.4 Comparación de fluencia para las mezclas asfálticas convencionales, modificadas con fibra de acero y de trabajos similares.....	113

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
Conclusiones	116
Recomendaciones.....	117

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo A: Memoria fotográfica

Anexo B: Memoria de laboratorios

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Variable independiente	5
Tabla 1.2 Variable dependiente.....	5
Tabla 1.3 Técnicas de muestreo	7
Tabla 2.1 Clasificación de las mezclas asfálticas.....	20
Tabla 3.1 Granulometría grava	56
Tabla 3.2 Granulometría gravilla	57
Tabla 3.3 Granulometría agregado fino	58
Tabla 3.4 Peso específico de la grava	60
Tabla 3.5 Peso específico de la gravilla	60
Tabla 3.6 Peso específico de la gravilla.....	61
Tabla 3.7 Peso unitario suelto y compactado (Grava)	62
Tabla 3.8 Peso unitario suelto y compactado (Gravilla).....	63
Tabla 3.9 Peso unitario suelto y compactado (Arena)	63
Tabla 3.10 Granulometría de la muestra de agregado para ensayo.....	64
Tabla 3.11 % De desgaste Maquina de los ángeles (grava).....	65
Tabla 3.12 % De desgaste Maquina de los ángeles (gravilla).....	65
Tabla 3.13 Porcentaje de caras fracturadas (Gravas).....	66
Tabla 3.14 Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas).....	66
Tabla 3.15 Determinación de partículas largas y achatadas GRAVA 3/4".	67
Tabla 3.16 Determinación de partículas largas y achatadas GRAVILLA 3/8".	67
Tabla 3.17 Resultado ensayo de equivalente de arena.....	68
Tabla 3.18 Propiedades visibles.....	69
Tabla 3.19 Diámetro promedio	69
Tabla 3.20 Longitud promedio.....	69
Tabla 3.21 Punto de penetración.....	70
Tabla 3.22 Punto de inflamación y combustión del cemento asfáltico.....	71
Tabla 3.23 Resultado del ensayo de ductilidad.....	72
Tabla 3.24 Resultado del ensayo de peso específico	72
Tabla 3.25 Punto de ablandamiento.....	73

Tabla 4.1 Diseño granulométrico.....	74
Tabla 4.2 Índice asfáltico	76
Tabla 4.3 Variaciones del porcentaje de asfalto para el porcentaje óptimo.....	76
Tabla 4.4 Dosificación para el contenido óptimo del asfalto 85/100.....	77
Tabla 4.5 Planilla de criterios de diseño Marshall	77
Tabla 4.6 Resultados del ensayo Marshall.....	80
Tabla 4.7 Resultados del diseño óptimo de la mezcla convencional	83
Tabla 4.8 Resultados al porcentaje óptimo de cemento asfáltico convencional.....	83
Tabla 4.9 Dosificación para mezcla asfáltica modificada.....	84
Tabla 4.10 Resultado del ensayo Marshall para mezcla asfáltica con fibras de acero.....	86
Tabla 4.11 Dosificación para mezcla asfáltica modificada.....	92
Tabla 4.12 Resultado del ensayo Marshall para determinar cemento asfáltico	93
Tabla 4.13 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero cortas....	96
Tabla 4.14 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero cortas....	96
Tabla 4.15 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero medianas.....	97
Tabla 4.16 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero medianas.....	97
Tabla 4.17 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero largas....	98
Tabla 4.18 Dosificación para mezcla asfáltica modificada con fibras de acero largas....	98
Tabla 4.19 Resultado del ensayo Marshall con fibras de acero cortas.....	100
Tabla 4.20 Resultados al porcentaje óptimo de mezcla asfáltica con fibras de acero cortas	102
Tabla 4.21 Resultado del ensayo Marshall con fibras de acero medianas	103
Tabla 4.22 Resultados al porcentaje óptimo de mezcla asfáltica con fibras de acero medianas.....	105
Tabla 4.23 Resultado del ensayo Marshall con fibras de acero largas.....	105
Tabla 4.24 Precios de las diferentes carpetas asfálticas.....	106
Tabla 4.25 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 0.25 % de fibras de acero cortas.....	107
Tabla 4.26 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 0.5 % de fibras de acero cortas.....	108

Tabla 4.27 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 1 % de fibras de acero cortas.....	108
Tabla 4.28 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 0.25 % de fibras de acero medianas	109
Tabla 4.29 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 0.5 % de fibras de acero medianas	109
Tabla 4.30 Coeficiente de variación para mezclas asfálticas modificadas con 1 % de fibras de acero medianas	110

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Esquema del tratamiento del petróleo para obtener los diversos productos asfálticos.....	14
Figura 2.2 Representación esquemática de los componentes del asfalto.....	16
Figura 2.3 Representación esquemática de la viscosidad	22
Figura 2.4 Molde para ensayo de ductilidad	25
Figura 2.5 Partes de un neumático	43
Figura 2.6 Perfil típico de una estructura de pavimento flexible	46
Figura 3.1. Recolección del material.....	54
Figura 3.2. Recolección del cemento asfáltico.....	54
Figura 3.3. Fibras de Acero recicladas por INGOQUI	55
Figura 3.4. Granulometría de los agregados (Grava (3/4”), gravilla (3/8”) y arena).....	56
Figura 3.5. Peso específico del agregado fino.....	61
Figura 3.6. Peso Unitario compactado	62
Figura 3.7. Realización del ensayo de desgaste de los Ángeles.....	64
Figura 3.8. % de caras fracturadas	65
Figura 3.9. Caras alargadas	67
Figura 3.10. Enrasado de fino hasta la línea referencial	68
Figura 3.11. Muestra con cemento asfáltico y agua destilada.....	73
Figura 4.1. Ruptura de briqueta en ensayo Marshall	79
Figura 4.2. Elaboración de briquetas con fibras de acero preliminares	85
Figura 4.3. Ruptura de briquetas con fibras de acero preliminar	85
Figura 4.4. Desmoronamiento de briqueta con 5% de fibras de acero	87
Figura 4.5. Briquetas desmoronadas con fibras de acero recicladas largas	99

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1 Curva Granulométrica grava.....	57
Gráfico 3.2 Curva Granulométrica gravilla	58
Gráfico 3.3 Curva Granulométrica arena.....	59
Gráfico 4.1 Curva granulométrica de la mezcla según diseño Marshall.....	75
Gráfico 4.2 Porcentaje de asfalto vs estabilidad corregida	81
Gráfico 4.3 Porcentaje de asfalto vs densidad de la probeta.....	81
Gráfico 4.4 Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos en aire de la mezcla	81
Gráfico 4.5 Porcentaje de asfalto vs vacíos de agregado mineral (VAM).....	82
Gráfico 4.6 Porcentaje de asfalto vs porcentaje de vacíos lleno de asfalto (RBV).....	82
Gráfico 4.7 Porcentaje de asfalto vs fluencia (flujo).....	82
Gráfico 4.8 Porcentaje de fibras de acero vs Estabilidad.....	88
Gráfico 4.9 Porcentaje de fibras de acero vs Fluencia	89
Gráfico 4.10 Comparación de estabilidad.....	90
Gráfico 4.11 Comparación de fluencia	91
Gráfico 4.12 Porcentaje de asfalto vs estabilidad	94
Gráfico 4.13 Porcentaje de asfalto vs fluencia.....	94
Gráfico 4.14 Comparación de estabilidad vs cemento asfáltico con fibras de acero cortas	101
Gráfico 4.15 Comparación de fluencia vs cemento asfáltico con fibras de acero cortas	101
Gráfico 4.16 Comparación de estabilidad vs cemento asfáltico con fibras de acero medianas.....	104
Gráfico 4.17 Comparación de fluencia vs cemento asfáltico con fibras de acero medianas.....	104
Gráfico 4.18 Comparación de precio unitario de carpeta asfáltica	111
Gráfico 4.19 Comparación de estabilidad de mezclas asfálticas modificadas y convencional	112
Gráfico 4.20 Comparación de fluencia de mezclas asfálticas modificadas y convencional	113