

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SLURRY Y
MICROPAVIMENTOS, USANDO 100% RAP”**

Por:

CESIA YANETH MAMANI FITA

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

SEMESTRE I – 2021

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DPTO. DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SLURRY Y
MICROPAVIMENTOS, USANDO 100% RAP”**

Por:

CESIA YANETH MAMANI FITA

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. Edwin Osvaldo Aguirre

.....
Ing. Laura K. Soto Salgado

.....
Ing. Julio N. Urzagaste G.

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

DEDICATORIAS:

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles. A mis padres; Sebastian Mamani y Delia Fita por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida. A mis hermanos; Harmin, Olga, Yobana, Daniel y Marcos quienes son una bendición en mi vida. A mis amigos por todo su apoyo brindado y enseñarme con su amistad a ser una mejor persona cada día.

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, a mis hermanos por su ayuda.

A mis amigos: Gerardo Zenteno, Estefani Choque, Yosmar Bustos, Ruben Vargas, Abigail Gaspar, Mariano Guzmán, José Condori, Cristian Montaña, José Vaca, Fernando Velásquez, Adrián Tolaba, Leandro Villarroel, Yesica Humerez, y Elizabeth Fernández, a quienes jamás encontraré la forma de agradecer por su gran apoyo, comprensión, confianza mostrada y brindada durante la realización de este trabajo, muchas gracias y que Dios los bendiga.

PENSAMIENTO:

“Sobre toda cosa guardada, guarda tu corazón porque de él mana la vida”.

Proverbios 4:23

ÍNDICE

Advertencia

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática.....	2
1.2.1 Problema	3
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3 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.....	5
1.6 Operacionalización de las variables	5

	Página
1.6.1 Variable independiente	5
1.6.2 Variable dependiente.....	5
1.7 Identificación del tipo de investigación	5
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1 Unidad	6
1.8.2 Población.....	6
1.8.3 Muestra.....	6
1.8.4 Muestreo.....	6
1.9 Métodos y técnicas empleadas	6
1.9.1 Métodos a utilizar en la evaluación.....	6
1.9.2 Técnicas a utilizar en la evaluación	7
1.10 Procesamiento de la información	10
1.11 Alcance.....	13

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DEL TIPO SLURRY Y MICROPAVIMENTOS

2.1 Generalidades	14
2.2 Marco conceptual	14
2.2.1 Pavimento.....	14

	Página
2.2.2 Tipos de pavimentos	15
2.2.3 Elementos de pavimentos flexibles	18
2.2.4 Carpeta asfáltica o de rodadura	20
2.2.4.1 Compuestos de una carpeta asfáltica.....	21
2.2.4.2 Tipos de carpetas asfálticas	22
2.2.5 Mezcla asfáltica.....	24
2.2.6 Slurry Seal	25
2.2.7 Micropavimento	29
2.2.8 Componentes del Slurry y Micropavimentos.....	32
2.2.8.1 Emulsión asfáltica	32
2.2.8.1.1 Componentes de la emulsión asfáltica	33
2.2.8.1.2 Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	35
2.2.8.2 Agregados	37
2.2.8.3 Relleno mineral y aditivos	37
2.2.8.4 Agua	37
2.2.9 Uso de rap en mezclas asfálticas	38
2.2.10 Beneficios de la utilización de rap	39
2.2.10.1 Beneficios ambientales	39
2.2.10.2 Beneficios económicos.....	40

	Página
2.2.11 Desempeño de la mezcla asfáltica.....	40
2.2.12 Tipos de reciclado	41
2.3 Marco referencial	42
2.4 Marco normativo.....	43

CAPÍTULO III

DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE EL SLURRY Y MICROPAVIMENTOS CON ADICIÓN DE RAP

3.1. Ubicación de la zona de estudio.....	45
3.2 Muestreo de los materiales.....	45
3.2.1 Muestreo zona de estudio: agregado pétreo	46
3.2.2 Muestreo zona de estudio: Rap	47
3.2.3 Emulsión asfáltica	50
3.2.4 Aditivo	52
3.3 Caracterización de la emulsión asfáltica.....	52
3.3.1 Residuo por destilación (ASTM D 402, AASHTO T 78).....	53
3.3.2 Viscosidad Saybolt Furol (ASTM E 102, AASHTO T 72)	55
3.4 Caracterización del residuo asfáltico	56
3.4.1 Penetración (ASTM D 5, AASHTO T 49).....	56
3.4.2 Ductilidad (ASTM D 113, AASHTO T 51).....	58

	Página
3.4.3 Punto de ablandamiento (ASTM D 2398)	60
3.4.4 Peso específico del asfalto (ASTM D 70).....	62
3.5 Caracterización de los áridos y rap	63
3.5.1 Análisis granulométrico (ASTM C 136, AASHTO T 27)	63
3.5.2 Equivalente de arena (ASTM D 2419).....	69
3.5.3 Abrasión por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C-131)	70
3.5.4 Caras fracturadas de los agregados	74
3.5.5 Gravedad específica en áridos finos (ASTM E 128 AASHTO T84-00)	76
3.5.6 Peso unitario de la arena	79
3.6 Slurry Seal y Micropavimento	81
3.7 Diseño de mezclas asfálticas Slurry y Micropavimentos.....	83
3.7.1 Contenido óptimo de emulsión asfáltica y/o asfalto residual.....	83
3.8 Incorporación de rap en mezclas asfálticas de Slurry y Micropavimentos	97
3.8.1 Influencia del cemento asfáltico en el rap.....	101
3.8.2 Propiedades volumétricas del Slurry y Micropavimento, con adición de Rap.	102
3.8.2.1 Densidad de la mezcla asfáltica	102
3.8.2.2 % de vacíos de la mezcla asfáltica	104
3.8.3 Propiedades mecánicas del Slurry y Micropavimentos	107
3.8.3.1 Estabilidad de la mezcla asfáltica	108

3.8.3.2 Flujo de la mezcla asfáltica 110

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Análisis de los resultados 113

4.1.1 Análisis caracterización de la emulsión asfáltica..... 113

4.1.2 Análisis caracterización de los agregados y rap..... 115

4.1.3 Análisis del porcentaje óptimo de emulsión asfáltica 119

4.1.4 Análisis de propiedades mecánicas volumétricas del slurry y micropavimento... 120

4.1.4.1 Densidad..... 120

4.1.4.2 % de vacíos en la mezcla 123

4.1.4.3 Estabilidad..... 126

4.1.4.4 Flujo o fluencia 129

4.2 Porcentaje óptimo de rap en Slurrys y Micropavimentos 132

4.3 Optimización del Slurry y Micropavimentos en pavimentos flexibles 133

4.4 Espesor del Slurry y Micropavimento 134

4.5 Aplicación y potencialidad del Slurry y Micropavimentos..... 135

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones 136

	Página
5.2 Recomendaciones.....	137
BIBLIOGRAFÍA	139

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo I: Hoja técnica emulsión asfáltica.

Anexo II: Caracterización de la emulsión asfáltica.

Anexo III: Caracterización del agregado fino.

Anexo IV: Diseño marshall para obtención del contenido óptimo de emulsión.

Anexo V: Diseño de briquetas asfálticas del tipo slurry y micropavimentos, con incorporación de rap.

Anexo VI: Normativas para slurry seals y micropavimentos.

Anexo VII: Especificación técnica del rap.

Anexo VIII: Análisis de precios unitarios.

Anexo IX: Informe fotográfico.

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1: Caracterización de los agregados.....	7
Tabla 1.2: Caracterización de la emulsión asfáltica y residuo asfáltico	8
Tabla 1.3: Elaboración de briquetas para laboratorio	11
Tabla 2.1: Granulometrías para Slurry Seal.....	27
Tabla 2.2: Granulometrías para micropavimentos	31
Tabla 2.3: Caracterización de agregados y rap	43
Tabla 2.4: Caracterización de la emulsión asfáltica y del asfalto residual.....	44
Tabla 3.1: Porcentaje de utilización del rap	49
Tabla 3.2: Resultado ensayo residuo por destilación	54
Tabla 3.3: Resultados ensayo de viscosidad Saybolt Furol	55
Tabla 3.4: Resultados ensayo de penetración	57
Tabla 3.5: Resultados ensayo de ductilidad	59
Tabla 3.6: Resultado ensayo punto de ablandamiento	61
Tabla 3.7: Resultado peso específico asfalto residual.....	62
Tabla 3.8: Granulometría para Slurry Seals según la norma ISSA A 105	65
Tabla 3.9: Análisis granulométrico - Tipo II	66
Tabla 3.10: Granulometría para Micropavimentos según norma ISSA A 143	67
Tabla 3.11: Análisis granulométrico - Tipo III	68
Tabla 3.12: Resultado ensayo equivalente de arena.....	70
Tabla 3.13: Parámetro para el desgaste de los ángeles	71
Tabla 3.14: Resultados ensayo desgaste abrasión los ángeles del agregado.....	73
Tabla 3.15: Resultados ensayo desgaste abrasión los ángeles del rap	73

Página

Tabla 3.16: Peso total de la muestra según el tamaño del agregado	74
Tabla 3.17: Resultados ensayo caras fracturadas del agregado	75
Tabla 3.18: Resultados ensayo caras fracturadas del rap	75
Tabla 3.19: Resultados peso específico arena y filler	79
Tabla 3.20: Resultados peso unitario de la arena	80
Tabla 3.21: Materiales componentes de los sellos de lechada asfáltica.....	84
Tabla 3.22: Dosificación para granulometría - tipo II.....	85
Tabla 3.23: Dosificación para granulometría - tipo III	85
Tabla 3.24: Planilla Marshall para granulometría Tipo II.....	89
Tabla 3.25: Resultado contenido óptimo de emulsión asfáltica - Tipo II.....	91
Tabla 3.26: Planilla Marshall para granulometría Tipo III	93
Tabla 3.27: Resultado contenido óptimo de emulsión asfáltica - Tipo III.....	95
Tabla 3.28: Dosificación de briquetas asfálticas con incorporación del rap - Tipo II	98
Tabla 3.29: Dosificación de briquetas asfálticas con incorporación del rap - Tipo III.....	98
Tabla 3.30: Resultados densidad de la mezcla – granulometría tipo II	103
Tabla 3.31: Resultados densidad de la mezcla - granulometría tipo III.....	104
Tabla 3.32: Resultados % de vacíos de la mezcla – granulometría tipo II	106
Tabla 3.33: Resultados % de vacíos de la mezcla – granulometría tipo III.....	107
Tabla 3.34: Resultados estabilidad de la mezcla asfáltica - granulometría tipo II.....	109
Tabla 3.35: Resultados estabilidad de la mezcla asfáltica - granulometría tipo III	110
Tabla 3.36: Resultados flujo vs % de rap – granulometría tipo II	111
Tabla 3.37: Resultados flujo vs % de rap – granulometría tipo III.....	112
Tabla 4.1: Resultados caracterización emulsión asfáltica.....	113

Página

Tabla 4.2: Análisis de la granulometría del agregado.....	116
Tabla 4.3: Análisis granulométrico del Rap.....	117
Tabla 4.4: Resultados caracterización del agregado	118
Tabla 4.5: Comparación de resultados % óptimo de emulsión asfáltica.....	120
Tabla 4.6: Análisis de la densidad en las muestras asfálticas	121
Tabla 4.7: Análisis del % de vacíos en las muestras asfálticas.....	124
Tabla 4.8: Análisis de la estabilidad de la mezcla asfáltica	127
Tabla 4.9: Análisis de la fluencia de la mezcla asfálticas	130
Tabla 4.10: Porcentaje de variación en estabilidades – Granul. Tipo II	133
Tabla 4.11: Porcentaje de variación en estabilidades - Granul. Tipo III.....	134

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1: Estructura de pavimento flexible	16
Figura 2.2: Estructura de pavimento rígido.....	16
Figura 2.3: Estructura del pavimento articulado	17
Figura 2.4: Estructura de pavimento semi-rígido.....	18
Figura 2.5: Etapas para la preparación de la base	19
Figura 2.6: Etapas para la preparación de la subrasante	20
Figura 2.7: Equipo de lechada asfáltica	26
Figura 2.8: Diagrama de una típica mezcladora para lechadas asfálticas	26
Figura 2.9: Esquema de una emulsión	33
Figura 2.10: Esquema de una emulsión aniónica y catiónica	35
Figura 2.11: Esquema de la nomenclatura según la norma ASTM D 2397.....	36
Figura 3.1: Mapa Bolivia - Tarija	45
Figura 3.2: Ubicación de la procedencia del agregado	46
Figura 3.3: Recolección del agregado.....	47
Figura 3.4: Tramo principal Tarija - Canaletas.....	48
Figura 3.5: Recolección rap de la carretera Tarija - Canaletas	48
Figura 3.6: Emulsión de rotura rápida con polímero modificado	51
Figura 3.7: Aditivo	52
Figura 3.8: Ensayo residuo por destilación.....	54
Figura 3.9: Ensayo de viscosidad de la emulsión asfáltica	56
Figura 3.10: Ensayo de penetración al residuo asfáltico.....	58
Figura 3.11: Ensayo de ductilidad.....	60

Figura 3.12: Ensayo punto de ablandamiento	61
Figura 3.13: Ensayo peso específico del asfalto residual.....	63
Figura 3.14: Tamizado del agregado.....	64
Figura 3.15: Curva granulométrica agregado Fino - Tipo II.....	66
Figura 3.16: Curva granulométrica agregado fino - Tipo III	69
Figura 3.17: Ensayo equivalente de arena.....	70
Figura 3.18: Ensayo desgaste abrasión los ángeles del rap y agregados	73
Figura 3.19: Ensayo caras fracturadas del agregado y rap.....	76
Figura 3.20: Ensayo peso específico de la arena.....	78
Figura 3.21: Ensayo peso específico del filler	79
Figura 3.22: Ensayo peso unitario de la arena	81
Figura 3.23: Elaboración y medición de briquetas asfálticas	87
Figura 3.24: Rotura de briquetas asfálticas	88
Figura 3.25: Gráfica densidad vs % de emulsión asfáltica	91
Figura 3.26: Gráfica % vacíos mezcla vs % emulsión asfáltica	92
Figura 3.27: Gráfica estabilidad vs % emulsión asfáltica.....	92
Figura 3.28: Gráfica densidad vs % emulsión asfáltica	95
Figura 3.29: Gráfica % vacíos mezcla vs % emulsión asfáltica	96
Figura 3.30: Gráfica estabilidad vs % emulsión asfáltica.....	96
Figura 3.31: Preparación de briquetas asfálticas con incorporación de rap	100
Figura 3.32: Rotura de briquetas asfálticas con incorporación de rap	101
Figura 4.1: Gráfica densidad vs % rap – Granul. tipo II.....	122
Figura 4.2: Gráfica densidad vs % rap – Granul. tipo III.....	123

Página

Figura 4.3: Gráfica % de vacíos vs % rap – Granul. tipo II.....	125
Figura 4.4: Gráfica % de vacíos vs % rap – Granul. tipo III.....	126
Figura 4.5: Gráfica estabilidad vs % rap - Granul. tipo II.....	128
Figura 4.6: Gráfica estabilidad vs % rap.....	128
Figura 4.7: Gráfica flujo vs % de rap – Granulometría tipo II.....	131
Figura 4.8: Gráfica flujo vs % de rap – Granulometría tipo III	131

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Tamizado del agregado

Fotografía 2: Ensayo de penetración al asfalto residual

Fotografía 3: Control de temperatura – Ensayo Pto. Ablandamiento

Fotografía 4: Destilación emulsión asfáltica

Fotografía 5: Control de temperatura – Ensayo viscosidad de Saybolt Furol

Fotografía 6: Preparación de la muestra para destilar el asfalto

Fotografía 7: Eliminación de burbujas de aire – Ensayo equivalente de arena

Fotografía 8: Agitado de tubo por 90 seg. – Ensayo equivalente de arena

Fotografía 9: Colocación de la muestra al molde – Ensayo peso unitario

Fotografía 10: Compactación briqueta asfáltica

Fotografía 11: Retiro del molde para extraer la briqueta asfáltica

Fotografía 12: Medición de alturas y diámetro de las briquetas asfálticas

Fotografía 13: Peso sumergido de la briqueta

Fotografía 14: Rotura de briquetas en la Prensa Marshall