

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



**“ANÁLISIS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE, ADICIONANDO
COMO FILLER EL POKE (CENIZA VOLCÁNICA), EXTRAÍDO DE LA
PROVINCIA SUR LIPEZ, DEPARTAMENTO DE POTOSÍ”**

Por:

PUÑA CASTRO MARCO ANTONIO

SEMESTRE II – 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis padres: Willy Puña Q.E.P.D.
y mi madre Zenaida Castro
Rodríguez por su apoyo
incondicional en mi vida.

A mis hermanos, Willy, Ronald,
Fernando, por apoyarme siempre,
por haber confiado en mí, tenerme
paciencia durante todos estos años,
para no sentirme solo y poder
cumplir con esta gran meta.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA
PENSAMIENTO
AGRADECIMIENTO
RESUMEN

CAPÍTULO I DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

	Página
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Diseño teórico	3
1.3.1 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1 Situación problemática.....	3
1.3.1.2 Problema	4
1.3.2 Objetivo de la investigación.....	4
1.3.2.1 Objetivo general.....	4
1.3.2.2 Objetivos específicos	4
1.3.3 Hipótesis.....	4
1.4 Diseño metodológico	4
1.4.1 Métodos y técnicas empleadas	4
1.4.1.1 Definición, selección y/o elaboración de los métodos y técnicas de trabajo	4
1.4.1.1.1 Ensayos a realizar para los agregados	5
1.4.1.1.2 Ensayos a realizar para filler	6
1.4.1.1.3 Ensayos a realizar para el cemento asfáltico.....	6
1.4.1.2 Procedimiento de aplicación	8

	pagina
1.4.1.3 Metodología de la práctica	9
1.4.2 Alcance de la investigación.....	9

CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

	Página
2.1 Marco teórico	10
2.1.1 Mezclas asfálticas en caliente	10
2.1.2 Diseño de mezclas asfálticas.....	11
2.1.3. Métodos de diseño de mezclas asfálticas caliente en laboratorio	12
2.1.4. Características y comportamiento de la mezcla	12
2.1.4.1. Densidad de la mezcla.....	12
2.1.4.2. Vacíos de aire.....	13
2.1.4.3. Vacíos en el agregado mineral	14
2.1.4.4. Contenido de asfalto.....	15
2.1.5. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas.....	17
2.1.5.1. Estabilidad.....	17
2.1.5.2. Durabilidad.....	19
2.1.5.3. Impermeabilidad	21
2.1.5.4. Trabajabilidad	22
2.1.5.5. Flexibilidad	24

2.1.5.6. Resistencia a la fatiga.....	25
2.1.5.7. Resistencia al deslizamiento	26
2.1.6. Propiedades físicas de los agregados	27
2.1.6.1. Tamaño y estructura granulométrica.....	28
2.1.6.2. Resistencia y durabilidad.	29
2.1.6.3. Forma cubica.....	30
2.1.6.4. Limpieza.....	31
2.1.6.5. Peso específico.....	32
2.1.7. Método de diseño Marshall.....	32
2.1.8. Propiedades método Marshall	33
2.1.8.1. Fluencia.....	33
2.1.8.2. Estabilidad.....	33
2.1.8.3. Porcentaje de vacíos de la mezcla.....	34
2.1.8.4. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (VAM)	34
2.1.8.5. Densidad.....	36
2.1.9. Filler mineral	37
2.1.10. Elección del filler adecuado	37
2.1.11. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas	38
2.1.11.1. Mejorar el cerrado de la mezcla sin el empleo exagerado de asfalto.....	38
2.1.11.2. Incrementar la resistencia a la deformación de la mezcla asfáltica	38
2.1.11.3. Incrementar la durabilidad de la mezcla	38

CAPÍTULO III.

CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
3.1 Componentes.....	39
3.1.1. Técnicas de muestreo	39
3.2. Criterios adoptados en la investigación.....	39
3.2.1. Criterios para determinar los porcentajes de filler	39
3.2.2. Criterios para determinar los porcentajes de asfalto y filler para el estudio	39
3.3. Selección de materiales	39
3.3.1. Criterios para determinar el banco del filler	40
3.3.2. Criterios de selección de agregados pétreos.....	40
3.3.3. Criterios de selección de cemento asfáltico	40
3.3.4. Criterios de selección de filler.....	40
3.4. Criterios para determinar del número de ensayos	41
3.4.1. Criterio del número de ensayos para la caracterización de los agregados	41
3.4.2. Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico	42
3.4.3. Criterio del número de ensayos para la caracterización del filler	43
3.4.4. Criterios del número de briquetas	43
3.5. Aplicación, uso y proceso de obtención del poke ceniza volcánica.	44
3.5.1. Aplicabilidad del reemplazo del filler dentro de la elaboración de mezclas asfálticas	44
3.5.2. Proceso de obtención del filler.....	45
3.6. Levantamiento de información	46
3.6.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse	46

	pagina
3.6.1.1. Agregado pétreo	46
3.6.1.2. Muestreo.....	46
3.6.1.3. Cemento asfáltico.....	48
3.6.1.4. Ubicación geo referencial del poke (ceniza volcánica).....	49
3.6.2. Caracterización de los agregados.....	49
3.6.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C-136)	49
3.6.2.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (grava, gravilla).....	59
3.6.2.3. Peso específico del agregado fino ASTM C-128 (arena).....	61
3.6.2.4. Equivalente de arena (ASTM D 2419).....	64
3.6.2.5. Ensayo de desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C-131).	67
3.6.2.6. Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para dererminar la desintegración para agregados gruesos (ASTM C-88)	70
3.6.2.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).....	72
3.6.2.8. Ensayo del índice de las agujas (alargamiento) NORMA BRITISH STANDAR.....	73
3.6.2.9. Ensayo del índice de laminaridad NORMA BRITISH STANDAR 812	75
3.6.3. Caracterización del cemento asfáltico.....	76
3.6.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5).....	76
3.6.3.2. Ensayo peso específico del asfalto (ASTM D-70).....	78
3.6.3.3. Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36).....	81
3.6.3.4. Ensayo ductilidad (ASTM D-113).....	82
3.6.3.5. Viscosidad Saybolt- Furol.....	84
3.6.3.6. Ensayo de la película delgada en horno (TFP).....	86
3.6.4. Caracterización del filler	87

	pagina
3.6.4.1. Ensayo de granulometría método del lavado (ASTM C-136)	89
3.6.4.2. Ensayo de peso específico del filler (ASTM D-854)	91
3.7. Diseño de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de filler.....	93
3.7.1. Diseño granulométrico	93
3.7.2. Dosificación de mezclas asfálticas.....	98
3.7.3. Elaboración de briquetas	101
3.7.4. Rotura de briquetas	103
3.7.5. Datos y resultados de propiedades Marshall.....	105
3.7.6. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico	115
3.8. Datos y resultados de propiedades Marshall convencional.....	122
3.8.1. Ensayos de granulometría para realización de Marshall convencional	122
3.8.2. Datos y resultados de propiedades Marshall.....	127
3.8.3. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico	128
3.9. Análisis de Precios Unitarios de Concreto Asfaltico Convencional y Modificado	131

CAPÍTULO IV:

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1. Resumen de resultados de caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica	133
4.2. Justificación de la selección del % óptimo	135
4.3. Análisis técnico y económico.....	136

CAPÍTULO V:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	138
5.2. Recomendaciones.....	139

Bibliografía

Anexo 1: Planillas de laboratorio

Anexo 2: Fichas técnicas

Anexo 3: Informe fotográfico

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1 Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VAM)	15
Tabla 2.2 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento..	19
Tabla 2.3 Causas y efectos de una poca durabilidad.....	21
Tabla 2.4 Causas y efectos de la permeabilidad.	22
Tabla 2.5 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	24
Tabla 2.6 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.....	26
Tabla 2.7 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento.....	27
Tabla 2.8 Desgaste los Ángeles (ASTM C-131).....	29
Tabla 2.9 Desgaste en sulfatos de magnesio (ASTM C- 88)	30

	Página
Tabla 2.10 Porcentaje de caras producidas por fractura (COVENIN 1124).....	31
Tabla 2.11 Porcentaje de equivalente de arena	31
Tabla 3.1 Número de ensayos de los agregados pétreos.	42
Tabla 3.2 Número de ensayos del cemento asfáltico.	43
Tabla 3.3 Número de briquetas realizadas en laboratorio.	44
Tabla 3.4 Coordenadas de la ubicación del agregado pétreo.	47
Tabla 3.5 Coordenadas de la ubicación del cemento asfáltico.	48
Tabla 3.6 Coordenadas de la ubicación de la procedencia del poke.	49
Tabla 3.7 Datos de las granulometrías de la grava 3/4”.....	51
Tabla 3.8 Datos de las granulometrías de la gravilla 3/8”.	52
Tabla 3.9 Datos de las granulometrías de la arena.	53
Tabla 3.10 Datos de las granulometrías de la filler.	54
Tabla 3.11 Planilla de resultados de las granulometrías promedio (grava 3/4”).	55
Tabla 3.12 Planilla de resultados de las granulometrías promedio (gravilla 3/8”).	56
Tabla 3.13 Planilla de resultados de las granulometrías promedio (arena).	57
Tabla 3.14 Planilla de resultados de las granulometrías promedio (Poke ceniza volcánica).	58
Tabla 3.15 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (grava).	60
Tabla 3.16 Resultados del ensayo de peso específico para grava.	61
Tabla 3.17 Datos del ensayo de peso específico para arena	63
Tabla 3.18 Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.	64
Tabla 3.19 Datos del ensayo equivalente de arena al 3%.	65
Tabla 3.20 Datos del ensayo equivalente de arena al 5%.	66
Tabla 3.21 Datos del ensayo equivalente de arena al 7%.	66

Tabla 3.22 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla $\frac{3}{4}$ "	68
Tabla 3.23 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla $\frac{3}{8}$ "	69
Tabla 3.24 Datos del ensayo de desgaste por sulfatos para el agregado grueso.	71
Tabla 3.25 Datos del ensayo de desgaste por sulfatos para el agregado fino	72
Tabla 3.26 Datos del ensayo de caras fracturadas.....	73
Tabla 3.27 Datos del ensayo de índice de alargamiento.	74
Tabla 3.28 Datos del ensayo de índice de laminaridad	76
Tabla 3.29 Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.	78
Tabla 3.30 Datos del ensayo peso específico.....	80
Tabla 3.31 Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento	82
Tabla 3.32 Datos y resultados del ensayo de ductilidad.	84
Tabla 3.33 Datos y resultados del ensayo de viscosidad Saybolt-Furol.	85
Tabla 3.34 Datos y resultados del ensayo de la película delgada en horno (TFP).....	87
Tabla 3.35 Límites de Atterberg..	89
Tabla 3.36 Datos y resultados de la granulometría del filler.	90
Tabla 3.37 Datos y resultados del ensayo de peso específico.....	92
Tabla 3.38 Diseño granulométrico para 3% filler.....	94
Tabla 3.39 Diseño granulométrico para 5% filler	95
Tabla 3.40 Diseño granulométrico para 7% filler	97
Tabla 3.41 Variaciones del porcentaje del cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo de cada diseño granulométrico.....	98
Tabla 3.42 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 3% filler	99
Tabla 3.43 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 5% filler.	100
Tabla 3.44 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 7% filler.	101

	Página
Tabla 3.45 Propiedades volumétricas de la mezcla con 3% filler.....	106
Tabla 3.46 Propiedades volumétricas con el diseño óptimo al 3% filler.	107
Tabla 3.47 Estabilidad y fluencia de la mezcla con 3% filler.....	108
Tabla 3.48 Estabilidad y fluencia para el diseño al 3% filler.....	108
Tabla 3.49 Propiedades volumétricas de la mezcla con 5% filler.....	109
Tabla 3.50 Propiedades volumétricas con el diseño óptimo al 5% filler.	110
Tabla 3.51 Estabilidad y fluencia de la mezcla con 5% filler.....	111
Tabla 3.52 Estabilidad y fluencia para el diseño óptimo al 5% filler.	111
Tabla 3.53 Propiedades volumétricas de la mezcla con 7% filler.....	112
Tabla 3.54 Propiedades volumétricas con el diseño óptimo al 7% filler.	113
Tabla 3.55 Estabilidad y fluencia de la mezcla con 7% filler.....	114
Tabla 3.56 Estabilidad y fluencia para el diseño óptimo al 7% filler... ..	114
Tabla 3.57 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 3 % filler... ..	119
Tabla 3.58 Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall... ..	119
Tabla 3.59 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 5 % filler... ..	120
Tabla 3.60 Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall... ..	120
Tabla 3.61 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 7 % filler	121
Tabla 3.62 Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall	121
Tabla 3.63 Resumen porcentaje óptimos de cemento asfáltico para cada mezcla.....	121
Tabla 3.64 agregado para carpeta asfáltica en caliente / agregado de 3/4"	122
Tabla 3.65 Agregado para carpeta asfáltica en caliente / agregado de 3/8"	123
Tabla 3.66 Agregado para carpeta asfáltica en caliente / arena triturada.....	124
Tabla 3.67 Análisis granulométrico dosificación de materiales diseño mezcla asfáltica.	125

	Página
Tabla 3.68 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico convencional.....	126
Tabla 3.69 Propiedades volumétricas de la mezcla convencional.....	127
Tabla 3.70 Estabilidad y fluencia de la mezcla convencional	128
Tabla 3.71 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla convencional.....	130
Tabla 3.72 Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.	130
Tabla 3.73 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla modificada con Poke.....	131
Tabla 3.74 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla convencional	132
Tabla 4.1 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos.	133
Tabla 4.2 Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico	134
Tabla 4.3 Resultados de mezclas asfálticas en caliente adicionando como filler al “Poke” ceniza volcánica.....	134
Tabla 4.4 Resultados de mezclas asfálticas en caliente convencional	135
Tabla 4.5 Análisis técnico y económico	136

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada (Nota: para simplificar el volumen de asfalto absorbido no es mostrado).....	14
Figura 2.2 Carga que sufre una mezcla asfáltica.....	18
Figura 2.3 Muestra de poca durabilidad de la mezcla asfáltica.	20
Figura 2.4 Extracto de mezcla asfáltica permeable.....	21

	Página
Figura 2.5 Trabajabilidad de una mezcla asfáltica.....	23
Figura 2.6 Efecto de la flexibilidad en la mezcla asfáltica	24
Figura 2.7 Efecto de la poca resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica.....	25
Figura 2.8 Efecto de la resistencia al deslizamiento de la mezcla asfáltica en contacto con las ruedas de los vehículos.....	26
Figura 2.9 Curva Granulométrica de agregado grueso	28
Figura 2.10 Curva Granulométrica de agregado fino.....	28
Figura 2.11 Ensayo desgaste los Ángeles.	29
Figura 2.12 Angularidad de la fracción gruesa	30
Figura 2.13 Varios tipos de pesos específicos de agregado	32
Figura 2.14 Dosificación de mezclas asfálticas	35
Figura 3.1 Proceso de la obtención del nuevo filler.....	45
Figura 3.2 Muestreo de acopio agregado 3/8".	47
Figura 3.3 Ubicación de la obtención del agregado grueso.	47
Figura 3.4 Ubicación de la obtención del cemento asfáltico.	48
Figura 3.5 Ubicación de la provincia Sur Lipez y el cerro K'alka Punta	49
Figura 3.6 Proceso del tamizado.	50
Figura 3.7 Agregado utilizado para el ensayo.....	59
Figura 3.8 Obtención del peso sumergido en agua.	60
Figura 3.9 Secado superficial del material.	62
Figura 3.10 Preparación del matraz para el pesado de la muestra	62
Figura 3.11 Equivalente de Arena y agitación del cilindro graduado con la muestra.	64
Figura 3.12 Lectura de la altura de arena que contiene.....	65
Figura 3.13 Máquina de desgaste por abrasión y material ensayado.....	67

	Página
Figura 3.14 Agregado grueso - grava.....	68
Figura 3.15 Agregado grueso – gravilla y las 8 esferas.	69
Figura 3.16 Método de los sulfatos.....	70
Figura 3.17 Partículas de caras fracturadas.....	72
Figura 3.18 Índice de las agujas (ALARGAMIENTO).	74
Figura 3.19 Índice laminar.	75
Figura 3.20 Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico.	77
Figura 3.21 Realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico.	79
Figura 3.22 Ensayo punto de ablandamiento.	81
Figura 3.23 Realización del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico.....	83
Figura 3.24 Realización del ensayo de viscosidad de Saybolt-Furol.....	85
Figura 3.25 Realización del ensayo de la película delgada en horno (TFP).	86
Figura 3.26 Aparato de casa grande.....	88
Figura 3.27 Colocado y retiro de la muestra en el aparato de casa grande	89
Figura 3.28 Proceso de lavado del filler.....	90
Figura 3.29 Proceso de lavado del filler.....	91
Figura 3.30 Pesado de los materiales.	102
Figura 3.31 Elaboración y compactado de las briquetas.....	103
Figura 3.32 Medición de las alturas de la briqueta.	104
Figura 3.33 Briqueta sumergida en agua.....	104
Figura 3.34 Ensayo de Estabilidad y Fluencia.	105

ÍNDICE DE gráfico

	Página
Gráfico 3.1 Curva granulométrica - grava...	55
Gráfico 3.2 Curva granulométrica - gravilla...	56
Gráfico 3.3 Curva granulométrica- agregado fino....	57
Gráfico 3.4 Curva granulométrica - filler....	58
Gráfico 3.5 Curva granulométrica del filler.....	90
Gráfico 3.6 Curva de diseño granulométrico para 3% filler...	94
Gráfico 3.7 Curva de diseño granulométrico para 5% filler	96
Gráfico 3.8 Curva de diseño granulométrico para 7% filler..	98
Gráfico 3.9 Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 3 % filler	115
Gráfico 3.10 Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 3 % filler.....	116
Gráfico 3.11 Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 5 % filler... ..	117
Gráfico 3.12 Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 5 % filler	117
Gráfico 3.13 Curvas de propiedades volumétricas Marshall para 7 % filler... ..	118
Gráfico 3.14 Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para 7 % filler	118
Gráfico 3.15 Curva granulométrica de agregado de 3/4"	123
Gráfico 3.16 Curva granulométrica de agregado de 3/8"	124
Gráfico 3.17 Curva granulométrica de arena triturada.....	125
Gráfico 3.18 Curva granulométrica de diseño convencional	126
Gráfico 3.19 Curvas de estabilidad y fluencia Marshall para mezcla convencional... ..	128
Gráfico 3.20 Curvas de propiedades volumétricas Marshall para mezcla convencional	129