

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS UTILIZANDO POLVO DE PASTINA COMO FILLER”**

Por:

JEHISON CORTEZ PAREDES

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 - 2023
TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS UTILIZANDO POLVO DE PASTINA COMO FILLER”**

Por:

JEHISON CORTEZ PAREDES

Semestre II - 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A todas las personas que más quiero y que siempre confiaron en mí.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problemática	2
1.2.1. 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. Definición de variables	5
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.....	5
1.8.1. Población.....	5
1.8.2. Muestra.....	5
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	6
1.9.1. Métodos.....	6
1.9.2. Técnicas.....	6
1.10. Procesamiento de la información.....	6
1.11. Alcance de la investigación	7
1.11.1. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva.....	8

CAPÍTULO II
ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
2.1. Mezclas asfálticas	9
2.1.1. Mezclas asfálticas en caliente	10
2.1.2. Diseño de mezclas asfálticas	10
2.1.3. Métodos de diseño de mezclas asfálticas caliente en laboratorio	11
2.1.4. Características y comportamiento de la mezcla	11
2.1.4.1. Densidad de la mezcla	12
2.1.4.2. Vacíos de aire.....	12
2.1.4.3. Vacíos en el agregado mineral.....	13
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
2.2. Método de diseño Marshall	27
2.2.1. Criterios para determinar el contenido óptimo de asfalto	29
2.2.2. Propiedades método Marshall	29
2.2.2.1. Fluencia.....	30
2.2.2.2. Estabilidad	30
2.2.2.3. Porcentaje de vacíos de la mezcla.....	31
2.2.2.4. Porcentaje de vacíos del agregado mineral (v.a.m)	31
2.2.2.5. Densidad	31
2.3. Pastina.....	32
2.4. Filler.....	32

2.4.1. Tipos y características de los fillers	33
2.4.1.1. Fillers minerales.....	33
2.4.1.2. Efecto del filler como componente de las mezclas asfálticas.....	35
2.4.2. Elección del filler adecuado	35
2.4.3. Influencia del filler en las propiedades de las mezclas asfálticas.....	36
2.5. Análisis de datos cuantitativos.....	37
2.5.1. Estadística descriptiva	37
2.5.1.1. Distribución de frecuencias	37
2.5.1.2. Medidas estadísticas	39
2.5.1.3. Medidas de variabilidad.....	39
2.5.1.4. Asimetría y curtosis	40
2.5.2. Confiabilidad.....	41
2.5.2.1. Referentes conceptuales.....	41
2.5.3. Análisis estadístico inferencial.....	44
2.5.3.1. Estadística inferencial	44
2.5.3.2. Distribución muestral.....	44
2.5.3.3. Nivel de significancia o significación.....	44
2.5.3.4. Relación entre distribución muestral y el nivel de significancia	45
2.5.3.5. Prueba de hipótesis	45

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN Y DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
3.1. Técnicas de muestreo.....	46
3.1.1. Criterios para determinar los porcentajes de pastina.....	46
3.2. Selección de materiales.....	46
3.2.1. Criterios para determinar el banco de agregados	46
3.2.2. Criterios de selección de agregados pétreos.....	47
3.2.3. Criterios de selección de cemento asfáltico	47
3.2.4. Criterios de selección de pastina	48
3.3. Criterios para determinar del número de ensayos.....	48
3.3.1. Criterio del número de ensayos para la caracterización de los agregados.....	48

3.3.2. Criterio del número de ensayos para el cemento asfáltico	49
3.3.3. Criterios del número de briquetas	50
3.4. Levantamiento de información	51
3.4.1. Ubicación de la fuente de los materiales a utilizarse.....	51
3.4.1.1. Cemento asfáltico	52
3.4.2. Caracterización de los agregados.	53
3.4.2.1. Ensayo de granulometría (ASTM C-136).....	53
3.4.2.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (grava, gravilla).....	59
3.4.2.3. Peso específico del agregado fino ASTM C-128 (arena)	62
3.4.2.4. Equivalente de arena (ASTM D-2419).....	65
3.4.2.5. Ensayo de peso unitario agregados (ASTM C-29).....	66
3.4.2.6. Ensayo de desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131)....	70
3.4.2.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821)	73
3.4.2.8. Ensayo de determinación de partículas largas y achatadas (ASTM D-4791)	74
3.4.3. Caracterización del cemento asfáltico	76
3.4.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D-5)	76
3.4.3.2. Ensayo punto de inflamación (ASTM D-92).....	77
3.4.3.3. Ensayo peso específico del asfalto (ASTM D-70).....	78
3.4.3.4. Ensayo punto de ablandamiento (ASTM D-36)	80
3.4.3.5. Ensayo ductilidad (ASTM D-113).....	81
3.4.4. Caracterización del filler	82
3.5. Diseño de mezclas asfálticas	83
3.5.1. Diseño granulométrico	83
3.5.2. Dosificación de mezclas asfálticas	93
3.5.3. Elaboración de briquetas	96
3.5.4. Rotura de briquetas.....	98
3.5.5. Datos y resultados de propiedades Marshall	100
3.5.6. Determinación de porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	113

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Página
4.1. Resumen de resultados de caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica de diseño	121
4.1.1. Diseño granulométrico curva 1	122
4.1.2. Diseño granulométrico curva 2	123
4.1.3. Diseño granulométrico curva 3	125
4.1.4. Selección de la mejor curva granulométrica	126
4.1.5. Caracterización de los agregados pétreos y cemento asfáltico.....	126
4.2. Diseño de mezclas asfálticas con pastina	128
4.2.1. Resultados de propiedades Marshall con porcentaje óptimo de pastina	130
4.3. Análisis comparativo del efecto de la incorporación de polvo de pastina como filler a la mezcla asfáltica, mediante el ensayo Marshall.....	132
4.3.1. Contenido óptimo de asfalto.....	133
4.3.2. Densidad máxima	134
4.3.3. Estabilidad	135
4.3.4. Vacíos de la mezcla.....	137
4.3.5. Vacíos del agregado minera (V.A.M) y relación betún vacíos (R.B.V)	138
4.3.6. Fluencia	140
4.4. Análisis comparativo entre distintos tipos de filler usados en mezclas asfálticas	141
4.4.1. Análisis de la densidad máxima	142
4.4.2. Análisis de los vacíos en la mezcla (%)	143
4.4.3. Análisis de la estabilidad.....	145
4.4.4. Fluencia	146
4.5. Análisis técnico y de costo	147
4.5.1. Costo de la mezcla asfáltica sin filler y con filler	148
4.5.1.1. Costo de mezcla asfáltica sin filler	149
4.5.1.2. Costo de la mezcla asfáltica con el 4,25% de polvo de pastina.....	150
4.5.2. Análisis de costo.....	151

4.5.3. Análisis comparativo de costos con otro filler	152
4.6. Tratamiento estadístico.....	153
4.6.1. Estadística descriptiva	153

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	162
5.2. Recomendaciones	163

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 Diseño granulométrico

ANEXO 2 Dosificación de mezclas asfálticas

ANEXO 3 Planillas Marshall

ANEXO 4 Contenido óptimo

ANEXO 5 Planillas Marshall con óptimos

ANEXO 6 Diseño granulométrico final

ANEXO 7 Dosificación con porcentaje final

ANEXO 8 Planilla Marshall con óptimo (3 curvas)

ANEXO 9 Planilla Marshall con porcentaje final

ANEXO 10 Caracterización del filler en laboratorio

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1 Muestra de mezcla asfáltica	9
Figura N° 2 Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada.....	14
Figura N° 3 Carga que sufre una mezcla asfáltica	18
Figura N° 4 Muestra de poca durabilidad de la mezcla asfáltica	20
Figura N° 5 Extracto de mezcla asfáltica permeable	21
Figura N° 6 Trabajabilidad de una mezcla asfáltica	23
Figura N° 7 Efecto de la flexibilidad en la mezcla asfáltica	24
Figura N° 8 Efecto de la poca resistencia a la fatiga de la mezcla asfáltica	25
Figura N° 9 Pastina Klaukol Clásica 1-4 mm	32
Figura N° 10 Histograma de frecuencias	38
Figura N° 11 Muestra de agregado pétreo	47
Figura N° 12 Cemento asfáltico.....	48
Figura N° 13 Pastina Klaukol Clásica.....	48
Figura N° 14 Ubicación de la obtención del agregado grueso.....	52
Figura N° 15 Proceso del tamizado.....	53
Figura N° 16 Agregado utilizado para el ensayo	59
Figura N° 17 Obtención del peso sumergido en agua.....	60
Figura N° 18 Secado superficial del material	63
Figura N° 19 Preparación del equipo para el pesado de la muestra.....	63
Figura N° 20 Equivalente de Arena y agitación del cilindro graduado con la muestra ...	65
Figura N° 21 Peso unitario compactado del agregado 3/4”	67
Figura N° 22 Máquina de desgaste por abrasión y material ensayado	71

Figura N° 23 Agregado grueso - grava	71
Figura N° 24 Agregado grueso – gravilla y las 8 esferas.....	72
Figura N° 25 Partículas de caras fracturadas	73
Figura N° 26 Partículas largas y achatadas	75
Figura N° 27 Realización del ensayo de penetración del cemento asfáltico.....	77
Figura N° 28 Realización del ensayo punto de inflamación del cemento asfáltico	78
Figura N° 29 Realización del ensayo peso específico del cemento asfáltico	79
Figura N° 30 Ensayo punto de ablandamiento.....	81
Figura N° 31 Realización del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico	82
Figura N° 32 Datos técnicos del filler.....	83
Figura N° 33 Pesado de los materiales.....	97
Figura N° 34 Elaboración y compactado de las briquetas	98
Figura N° 35 Medición de las alturas de la briqueta.....	99
Figura N° 36 Briqueta sumergida en agua	99
Figura N° 37 Ensayo de Estabilidad y Fluencia.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1 Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VMA)	15
Tabla N° 2 Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	19
Tabla N° 3 Causas y efectos de una poca durabilidad	21
Tabla N° 4 Causas y efectos de la permeabilidad	22
Tabla N° 5 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	24
Tabla N° 6 Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	26
Tabla N° 7 Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	27
Tabla N° 8 Criterios mínimos y máximos de las propiedades Marshall.....	29
Tabla N° 9 Número de ensayos de los agregados pétreos.....	49
Tabla N° 10 Número de ensayos del cemento asfáltico.....	50
Tabla N° 11 Número de briquetas para el contenido óptimo de cemento asfáltico	51
Tabla N° 12 Coordenadas de la ubicación del agregado pétreo.....	52
Tabla N° 13 Datos de las granulometrías de la grava 3/4”	54
Tabla N° 14 Datos de las granulometrías de la gravilla 3/8”	54
Tabla N° 15 Datos de las granulometrías de la arena	55
Tabla N° 16 Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	56
Tabla N° 17 Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	57
Tabla N° 18 Planilla de resultados de las granulometrías promedio.....	58
Tabla N° 19 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (grava).....	60
Tabla N° 20 Resultados del ensayo de peso específico para grava.....	61
Tabla N° 21 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (gravilla).....	62
Tabla N° 22 Resultados del ensayo de peso específico para gravilla 3/8”	62
Tabla N° 23 Datos del ensayo de peso específico para arena	63

Tabla N° 24 Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino	65
Tabla N° 25 Datos del ensayo equivalente de arena	66
Tabla N° 26 Resultados del ensayo equivalente de arena.....	66
Tabla N° 27 Datos del ensayo de peso unitario de la grava 3/4”	67
Tabla N° 28 Datos del ensayo de peso unitario de la grava 3/4”	68
Tabla N° 29 Resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4”	68
Tabla N° 30 Datos del peso unitario de la gravilla 3/8”	68
Tabla N° 31 Datos del peso unitario de la gravilla 3/8”	69
Tabla N° 32 Resultados del ensayo de la gravilla 3/8”	69
Tabla N° 33 Datos del peso unitario suelto de la arena	69
Tabla N° 34 Datos del peso unitario compactado de la arena.....	70
Tabla N° 35 Resultados del ensayo de la arena	70
Tabla N° 36 Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”	71
Tabla N° 37 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”	72
Tabla N° 38 Datos del ensayo de caras fracturadas	73
Tabla N° 39 Resultados del ensayo de caras fracturadas.....	74
Tabla N° 40 Datos del ensayo partículas chatas y alargadas	75
Tabla N° 41 Resultados del ensayo partículas chatas y alargadas	76
Tabla N° 42 Datos del ensayo penetración del cemento asfáltico 85-100.....	77
Tabla N° 43 Datos del ensayo punto de inflamación.....	78
Tabla N° 44 Datos del ensayo peso específico	79
Tabla N° 45 Resultados del ensayo peso específico	80
Tabla N° 46 Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento	81
Tabla N° 47 Datos y resultados del ensayo de ductilidad.....	82

Tabla N° 48 Curva de diseño granulométrico para 0% pastina	85
Tabla N° 49 Curva de diseño granulométrico para 2% pastina	86
Tabla N° 50 Curva de diseño granulométrico para 4% pastina	88
Tabla N° 51 Curva de diseño granulométrico para 5% pastina	89
Tabla N° 52 Diseño granulométrico para 6% pastina.....	91
Tabla N° 53 Diseño granulométrico para 7% pastina.....	92
Tabla N° 54 Variaciones del porcentaje del cemento asfáltico para obtener el porcentaje óptimo de cada diseño granulométrico	93
Tabla N° 55 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 0% pastina	94
Tabla N° 56 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 2% pastina	94
Tabla N° 57 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 4% pastina	95
Tabla N° 58 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 5% pastina	95
Tabla N° 59 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 6% pastina	95
Tabla N° 60 Dosificación con porcentajes de cemento asfáltico para 7% pastina	96
Tabla N° 61 Propiedades volumétricas de la mezcla con 0% pastina	101
Tabla N° 62 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 0% pastina	102
Tabla N° 63 Propiedades volumétricas de la mezcla con 2% pastina	103
Tabla N° 64 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 2% pastina	104
Tabla N° 65 Propiedades volumétricas de la mezcla con 4% pastina.....	105
Tabla N° 66 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 4% pastina	106
Tabla N° 67 Propiedades volumétricas de la mezcla con 5% pastina.....	107
Tabla N° 68 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 5% pastina	108
Tabla N° 69 Propiedades volumétricas de la mezcla con 6% pastina.....	109
Tabla N° 70 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 6% pastina	110
Tabla N° 71 Propiedades volumétricas de la mezcla con 7% pastina.....	111

Tabla N° 72 Resumen de propiedades volumétricas de la mezcla con 7% pastina	112
Tabla N° 73 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 0 % pastina.....	114
Tabla N° 74 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 2 % pastina.....	115
Tabla N° 75 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 4 % pastina.....	116
Tabla N° 76 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 5 % pastina.....	117
Tabla N° 77 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 6 % pastina.....	118
Tabla N° 78 Porcentaje óptimo de cemento asfáltico para mezcla con 7 % pastina.....	119
Tabla N° 79 Resumen porcentaje óptimos de cemento asfáltico para cada mezcla	120
Tabla N° 80 Diseño granulométrico curva 1.....	122
Tabla N° 81 Diseño granulométrico curva 2.....	123
Tabla N° 82 Diseño granulométrico curva 3.....	125
Tabla N° 83 Resultados de la caracterización de los agregados pétreos.....	127
Tabla N° 84 Resultados de los ensayos de caracterización del cemento asfáltico.....	127
Tabla N° 85 Resultados de las propiedades Marshall para cada porcentaje de pastina	128
Tabla N° 86 Elección del porcentaje óptimo de polvo de pastina	129
Tabla N° 87 Resultados de las propiedades Marshall para el porcentaje óptimo de polvo de pastina	129
Tabla N° 88 Dosificación con porcentajes óptimos para el porcentaje óptimo de polvo de pastina	130
Tabla N° 89 Propiedades volumétricas con los contenidos óptimos	130
Tabla N° 90 Resumen de propiedades volumétricas con el contenido óptimo.....	132
Tabla N° 91 Resultados de las propiedades Marshall de cada tipo de filler usados	142
Tabla N° 92 Incremento de densidad máxima	142
Tabla N° 93 Incremento de vacíos de la mezcla.....	144

Tabla N° 94 Incremento de la estabilidad.....	145
Tabla N° 95 Incremento de la fluencia	146
Tabla N° 96 Comparación de resultados con y sin filler	148
Tabla N° 97 Precio unitario de la mezcla asfáltica sin filler.....	149
Tabla N° 98 Precio unitario de la mezcla asfáltica con polvo de pastina	150
Tabla N° 99 Tabla de balance final de costos	151
Tabla N° 100 Costo de producción	152
Tabla N° 101 Resumen estadístico para estabilidad	154
Tabla N° 102 Tabla de frecuencias para estabilidad.....	155
Tabla N° 103 Resumen estadístico para fluencia.....	158
Tabla N° 104 Tabla de frecuencias para fluencia	158

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico N° 1 Esquema de actividades.....	8
Gráfico N° 2 Curva granulométrica - grava.....	56
Gráfico N° 3 Curva granulométrica - gravilla.....	57
Gráfico N° 4 Curva granulométrica- agregado fino.....	58
Gráfico N° 5 Curva de diseño granulométrico para 0% pastina	84
Gráfico N° 6 Curva de diseño granulométrico para 2% pastina	86
Gráfico N° 7 Curva de diseño granulométrico para 4% pastina	87
Gráfico N° 8 Curva de diseño granulométrico para 5% pastina	89
Gráfico N° 9 Curva de diseño granulométrico para 6% pastina	90
Gráfico N° 10 Curva de diseño granulométrico para 7% pastina	92
Gráfico N° 11 Propiedades volumétricas de la mezcla con 0% pastina	102
Gráfico N° 12 Propiedades volumétricas de la mezcla con 2% pastina	104
Gráfico N° 13 Propiedades volumétricas de la mezcla con 4% pastina	106
Gráfico N° 14 Propiedades volumétricas de la mezcla con 5% pastina	108
Gráfico N° 15 Propiedades volumétricas de la mezcla con 6% pastina	110
Gráfico N° 16 Propiedades volumétricas de la mezcla con 7% pastina	112
Gráfico N° 17 Curva granulométrica 1	123
Gráfico N° 18 Curva granulométrica 2	124
Gráfico N° 19 Curva granulométrica 3	126
Gráfico N° 20 Contenido óptimo de asfalto.....	134
Gráfico N° 21 Densidad máxima	135
Gráfico N° 22 Estabilidad	136
Gráfico N° 23 Vacíos de la mezcla.....	137

Gráfico N° 24 V.A.M (%).....	138
Gráfico N° 25 R.B.V (%).....	139
Gráfico N° 26 Fluencia promedio.....	140
Gráfico N° 27 Tendencia de la densidad máximo	143
Gráfico N° 28 Tendencia de los vacíos en la mezcla asfáltica	144
Gráfico N° 29 Tendencia de la estabilidad	145
Gráfico N° 30 Tendencia del flujo.....	147
Gráfico N° 31 Costo de las mezclas asfálticas.....	151
Gráfico N° 32 Costo de mezcla asfáltica convencional y modificada.....	152
Gráfico N° 33 Datos ordenados para tratamiento estadístico	153
Gráfico N° 34 Datos ordenados para tratamiento estadístico	155
Gráfico N° 35 Datos ordenados para tratamiento estadístico	157
Gráfico N° 36 Datos ordenados para tratamiento estadístico	159