

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DEL REFUERZO ÓPTIMO PARA LA CAPA
SUPERIOR DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICADO AL
TRAMO SAN MATEO-SELLA MÉNDEZ”**

Por:

SCARLET BARRIENTOS BARRERO

SEMESTRE II – 2024

TARIJA – BOLIVIA

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ESTUDIO DEL REFUERZO ÓPTIMO PARA LA CAPA
SUPERIOR DEL PAVIMENTO FLEXIBLE APLICADO AL
TRAMO SAN MATEO-SELLA MÉNDEZ”**

Por:

SCARLET BARRIENTOS BARRERO

Propuesta elaborada en la asignatura CIV-502 a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar al grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II– 2024

TARIJA – BOLIVIA

.

DEDICATORIA:

A Dios, que, en cada paso de este camino, he encontrado en ti la guía y la fortaleza que he necesitado. Tu luz ha iluminado mi sendero, brindándome la sabiduría y la perseverancia para alcanzar este logro.

A mi querida madre, pilar de mi vida:

Verte feliz es mi mayor anhelo, y esta dedicatoria es un pequeño reflejo del profundo agradecimiento que siento por tu presencia en mi vida. Te amo con todo mi corazón.

Contenido

	Página
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	
1.1	Introducción.....1
1.2	Situación problemática2
1.2.1	Problema3
1.2.2	Relevancia y factibilidad del proyecto.....3
1.3	Justificación.....4
1.4	Objetivos4
1.4.1	Objetivo General.....4
1.4.2	Objetivos Específicos.....5
1.5	Hipótesis5
1.6	Determinación de las variables.....5
1.6.1	Variable Independiente.....5
1.6.2	Variable Dependiente5
1.6.3	Conceptualización y Operacionalización de las variables6
1.6.4	Operacionalización de las variables.....6
1.7	Identificación del tipo del diseño de investigación7
1.8	Alcance de la investigación7
CAPITULO II	
FUNDAMENTO TEÓRICO	
2.1	Marco conceptual9
2.1.1	Definición de pavimento.....9
2.1.2	Clasificación de pavimentos9
2.1.3	Pavimentos flexibles9
2.1.4	Estructura del pavimento10
2.1.5	Definición de asfalto12

2.1.6	Serviciabilidad de los pavimentos	12
2.1.7	2.3. Evaluación de pavimentos	13
2.1.8	Componentes de la evaluación de pavimentos.....	14
2.1.9	Fallas en pavimentos flexibles	15
2.1.10	Causas que generan el deterioro prematuro del asfalto	16
2.1.11	Refuerzo para la capa superior de pavimento flexible.....	18
2.2	Marco normativo	26
2.2.1	Normativas para el análisis del cemento asfáltico	26
2.2.2	Ensayos para la determinación de las propiedades del asfalto	27
2.2.3	Evaluación superficial.....	32
2.2.4	Evaluación estructural.....	44
2.2.5	Curva de deterioro.....	45
2.3	Marco referencial.....	47
2.3.1	Refuerzos para pavimentos flexibles	47
2.3.2	Beneficios de los refuerzos para pavimentos flexibles	48
2.3.3	Recomendaciones para el uso de refuerzos para pavimentos flexibles	48
2.4	Análisis del aporte teórico	49
3	CAPITULO III.....	
3.1	Criterios de diseño metodológico	51
3.1.1	Unidad de muestra	51
3.1.2	Población.....	51
3.1.3	Muestra	51
3.1.4	Tamaño de la muestra	52
3.2	Localización de obtención de agregados	54
3.3	Localización de obtención del cemento asfáltico	54
3.4	Caracterización de los Agregados Pétreos.....	55
3.4.1	Ensayo de Granulometría (AASTHO T-27) (ASTM C-136).....	55

3.4.2	Ensayo de peso específico y absorción de agregados gruesos.....	60
3.4.3	Ensayo de peso específico y absorción de agregado fino (AASHTO T-84).....	62
3.4.4	Ensayo de desgaste de la máquina de los ángeles (AASHTO T-96)	64
3.4.5	Ensayo porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821-95)	69
3.4.6	Ensayo determinación de partículas chatas, planas y alargadas (ASTM-4791)	71
3.4.7	Ensayo equivalente de arena en agregado fino (ASTM D2419-14).....	73
3.5	Caracterización del Cemento Asfáltico	75
3.5.1	Ensayo de ductilidad (ASTM D113-17)	75
3.5.2	Ensayo para la determinación del punto de ablandamiento (ASTM D36)	76
3.5.3	Ensayo de penetración (ASTM D5).....	78
3.5.4	Ensayo para determinar la densidad (ASTM D71-94 AASHTO T229-97).....	80
3.5.5	Ensayo punto de inflamación mediante la copa de Cleveland (ASTM D1310)	82
3.6	Resultados del levantamiento de la información.....	84
3.6.1	Resultados de la Caracterización de Agregados Pétreos.....	84
3.6.2	Resultados de la Caracterización del Cemento Asfáltico	85
3.6.3	Curva de deterioro.....	85
3.6.4	Diseño de mezcla asfáltica método Marshall.....	87
3.6.5	Dosificación con refuerzo con fibra de vidrio	91
3.6.5	Dosificación con refuerzo con aditivo	94
3.6.6	Refuerzo con geomalla triaxial	97

CAPITULO IV

Página

PROCESAMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADOS

4.1	Organización de resultados.....	99
4.2	Estadística Descriptiva	99
4.2.1	Resultados de la clasificación del PCI tesis	99
4.2.2	Análisis de los resultados según la clasificación del PCI	105

4.2.3	PCI control para validar datos.....	106
4.2.4	Para la Mezcla Densa Caliente fibra de vidrio.....	110
4.2.5	Refuerzo de mezcla asfáltica densa caliente con aditivo zycotherm	114
4.2.6	Resultados obtenidos de refuerzo con geomalla triaxial.....	117
4.2.7	Comparación y análisis	120
4.3	Estadística Inferencial	132
4.4	Prueba de hipótesis T de Student.....	132
4.4.1	Comprobación de la hipótesis.....	133
4.5	Especificaciones Técnicas	133
4.5.1	Concepto del objeto de investigación	133
4.6	Procedimiento en obra.....	134
4.6.1	Refuerzo con fibra de vidrio	134
4.6.2	Refuerzo con aditivo Zycotherm.....	135
4.7	Dificultades puesto en obra	136
4.7.1	Refuerzo con fibra de vidrio	136
4.7.2	Refuerzo con aditivo Zycotherm	136
4.7.3	Refuerzo con geomalla triaxial	137
4.7.4	Recomendaciones	137
4.8	Análisis de precios unitarios.....	137

CAPITULO V

Página

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones	141
5.2	Recomendaciones	142

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

ANEXOS CARACTERIZACION DEL CEMENTO ASFALTICO

ANEXOS REFUERZO DE LA CAPA SUPERIOR DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

ANEXOS FICHA TECNICA DE LOS MATERIALES

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Pavimento flexible vista en corte.....	10
Figura 2 Resumen de fallas en pavimentos flexibles	16
Figura 3. Estructura química de los asfáltenos.....	21
Figura 4. Composición química del asfalto	21
Figura 5. Esquema del enlace químico en superficies áridas de hidrófila.	22
Figura 6. Adherencia superior del agregado - asfalto con Zycotherm.....	23
Figura 7. Estructura geomalla triaxial.....	25
Figura 8, Aplicación geomalla en pavimento flexible	26
Figura 9. Ensayo normal de penetración.....	28
Figura 10. Determinación de la viscosidad Saybolt-Furol.....	29
Figura 11. Ensayo de ductilidad.....	30
Figura 12. Ensayo de punto de ignición.....	31
Figura 13. Evaluación estructural del pavimento Viga Benkelman.....	44
Figura 14. Ubicación de la chancadora Garzón.	54
Figura 15. Ubicación de la posta municipal de la provincia Cercado.....	55
Figura 16. Serie de Tamices para obtener la granulometría de las muestras	56
Figura 17. Curva Granulométrica Grava.....	57
Figura 18. Curva Granulométrica Gravilla.	58
Figura 19. Curva Granulométrica Arena.....	59
Figura 20. Lavar y dejar saturar con agua por 24 hr	61
Figura 21. Peso específico agregado fino	63
Figura 22. Muestra luego de procesar en el equipo de desgaste de los ángeles.....	66
Figura 23. Procedimiento para determinar el equivalente de arena en agregado fino	74
Figura 24. Moldes y equipo para medir la ductilidad del asfalto.....	76
Figura 25. Equipo para determinar el punto de ablandamiento del cemento asfaltico	77
Figura 26. Proceso del ensayo de penetración.	79
Figura 27. Copa de Cleveland con cemento asfaltico a ensayar.	83
Figura 28. Curva de deterioro tramo San Mateo – Sella Mendez	87

Figura 29. Procedimiento Método Marshall	88
Figura 30. Curvas método Marshall determinación del porcentaje óptimo de asfalto.....	90
Figura 31. Briquetas fabricadas con refuerzo fibra de vidrio.....	91
Figura 32. Briquetas con refuerzo de aditivos	95
Figura 33. Briquetas de ensayo fabricadas con geomalla triaxial	97
Figura 34. PCI vs progresiva del km 1.....	100
Figura 35 PCI vs progresiva.....	101
Figura 36. PCI vs progresiva del km.....	101
Figura 37. PCI vs progresiva del km 4.....	103
Figura 38. PCI vs progresiva del km.....	104
Figura 39. PCI vs progresiva del km 6.....	104
Figura 40 Curva de deterioro.	107
Figura 41. PCI calificacion	108
Figura 42. PCI porcentaje.	108
Figura 43. Densidad promedio-Refuerzo fibra de vidrio	111
Figura 44. % de vacíos de mezcla total.....	111
Figura 45. Vacíos de agregado mineral.....	112
Figura 46. Relación betún vacíos	112
Figura 47. Estabilidad	113
Figura 48. Fluencia.....	113
Figura 49. Densidad promedio.....	114
Figura 50. % de vacíos de mezcla total.....	115
Figura 51. Vacíos de agregado mineral.....	115
Figura 52. Relación vacíos -betún.....	116
Figura 53. Estabilidad	116
Figura 54. Fluencia.....	117
Figura 55. Densidad promedio.....	118
Figura 56. % de vacíos de mezcla total.....	118
Figura 57. Relación Betún -vacíos	119
Figura 58. Vacíos de agregado mineral.....	119
Figura 59. Estabilidad	120

Figura 60. Comparación de Densidad.....	120
Figura 61. Comparación de % de vacíos de mezcla.....	121
Figura 62. Comparación de vacíos de agregado mineral	121
Figura 63. Comparación de Vacíos -betún.....	122
Figura 64. Estabilidad	122
Figura 65. Estabilidad según tipo de refuerzo.....	123
Figura 66. Curva refuerzo de fibra.....	124
Figura 67. Curva de refuerzo de aditivo.....	125
Figura 68. Curva de refuerzo de geomalla	126
Figura 69. Histograma de frecuencias de estabilidad.....	129
Figura 70. Polígono marcas de clase de estabilidad.....	130
Figura 71. Curva de acumulación de estabilidad	131
Figura 72. Costos.	140

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Variable independiente	6
Tabla 2. Variable dependiente.....	6
Tabla 3. Características físicas Aditivo Zycotherm	20
Tabla 4. Dosificación Aditivo-Zycotherm	20
Tabla 5. Datos representativos de valores de producción	27
Tabla 6. Rangos de calificación del PCI	33
Tabla 7. Hoja de registro para el PCI.....	35
Tabla 8. Longitudes de unidades de muestreo	35
Tabla 9. Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido	42
Tabla 10. Nivel de Confianza.....	52
Tabla 11. Planilla de muestreo	53
Tabla 12. Granulometría Agregado Grueso Grava.	57
Tabla 13. Granulometría Agregado Grueso Gravilla.	58
Tabla 14. Granulometría Agregado Fino Arena.	59
Tabla 15. Resultados del peso específico de la grava.	62
Tabla 16. Resultados del peso específico de la gravilla.....	62
Tabla 17. Resultados del peso específico de la arena.	64
Tabla 18. Desgaste de los angeles grava.	67
Tabla 19. Resultados de Desgaste de los Ángeles (Grava).	67
Tabla 20 Desgaste de los ángeles gravilla.....	68
Tabla 21. Resultados de Desgaste de los Ángeles (Gravilla).	68
Tabla 22. Resultados del % de caras fracturadas (Grava).....	70
Tabla 23. Resultados del % de caras fracturadas (Gravilla).	70
Tabla 24. Resultados del Índice de alargamiento (Grava).	72
Tabla 25. Resultados del Índice de alargamiento (Gravilla).	72
Tabla 26. Resultados del porcentaje de Equivalente de Arena.	74
Tabla 27. Resultados del ensayo de Ductilidad.	76
Tabla 28. Resultados del ensayo Punto de Ablandamiento.	78

Tabla 29. Resultados del ensayo de Penetración.	79
Tabla 30. Resultados del ensayo de Densidad	81
Tabla 31. Resultados del ensayo Punto de Inflamación.....	83
Tabla 32. Resultados de la caracterización de los Agregados.	84
Tabla 33. Resultados de la caracterización del Cemento Asfáltico.	85
Tabla 34. Rangos de calificación del PCI	85
Tabla 35. Curva de deterioro.....	86
Tabla 36 Diseño de mezcla asfalto.....	87
Tabla 37. Planilla Marshall	89
Tabla 38 Dosificación fibra de vidrio	91
Tabla 39. Planilla Marshall	93
Tabla 40 Dosificación Aditivo	94
Tabla 41. Planilla Marshall	96
Tabla 42. Planilla Marshall	98
Tabla 43. Estadística de resultados para la mezcla asfáltica con fibra de vidrio	110
Tabla 44. Tabla de resultados Aditivo	114
Tabla 45. Resultados para la mezcla asfáltica con geomalla triaxial	117
Tabla 46. Análisis estadístico de datos	127
Tabla 47. Serie de Datos para la Estabilidad.....	132
Tabla 48. Costos sin aditivo	138
Tabla 49. Costos con aditivo	139