

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



**“ESTUDIO DE RECAPAMIENTO CON CARPETA DELGADA AL TRAMO
VIAL ASFALTADO CRUCE ALTO SENAC-SAN ANDRÉS”**

Por:

RODRIGO EDUARDO VEGA YUCRA

SEMESTRE I - 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron para alcanzar mis anhelos.

Gracias madre y padre.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Página

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.4. Delimitación espacial y temporal del problema.....	4
1.4.1. Delimitación Espacial	4
1.4.2. Delimitación Temporal	4
1.4.3. Formulación del problema	5
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos.....	5
1.6. Alcance de la Investigación	5
1.7. Hipótesis	6
1.8. Operacionalización de las Variables	6
1.8.1. Conceptualización y operacionalización de las variables:	6

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	8
2.1. Introducción	8
2.2. Carpetas de concreto asfáltico.....	8
2.2.1. Funciones de un Pavimento.....	10
2.3. Componentes de un pavimento	11
2.4. Clasificación de los Pavimentos	13

2.5. Pavimento Flexible	14
2.5.1. Funciones de las capas de un pavimento flexible:	14
2.6. Base y Sub – base	15
2.6.1. Cemento asfáltico	19
2.7. Materiales de los Pavimentos Flexibles	19
2.7.1. Granulometría.....	19
2.7.2. Resistencia al Desgaste	20
2.7.3. Densidad Relativa y Absorción.....	21
2.7.4. Porcentaje que Pasa el Tamiz N° 200	21
2.7.5. Limpieza y Pureza.....	21
2.7.6. Adherencia con el Asfalto	21
2.8. Algunas ventajas del pavimento flexible	22
2.9. Evaluación de pavimentos	22
2.9.1. Importancia de la evaluación de pavimentos.	23
2.9.2. Fallas en pavimentos flexibles.	23
2.10. Evaluación superficial de un pavimento flexible.....	24
2.10.1. Evaluación de la condición de los pavimentos PCI	24
2.10.2. Rangos de calificación del PCI	26
2.10.3. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	27
2.10.4. División del pavimento en unidades de muestra.....	28
2.11. Resistencia al deslizamiento en el pavimento – Péndulo Británico.	29
2.11.1. Microtextura	30
2.11.2. Macrotextura	30
2.11.3. Mediciones de resistencia al deslizamiento	30

2.12. Textura superficial del pavimento – Círculo de Arena.....	33
2.12.1. Círculo de arena	34
2.13. Viga Benkelman	36
2.13.1. Generalidades de evaluación estructural	36
2.13.2. Deflexión de un pavimento flexible – viga Benkelman.....	37
2.14. Diseño de carpeta delgada para recapamiento.....	39
2.14.1. Agregados para Carpetas Delgada	39
2.14.2. Determinación de las Cantidades de Agregados	40
2.14.3. Requisitos de los materiales pétreos.....	42
2.14.4. Pruebas de laboratorios de los materiales pétreos para carpetas asfálticas	44
2.15. Asfaltos	47
2.15.1. Ensayos de los asfaltos que se deben efectuar	48
2.16. Mezclas asfálticas y diseños	48
2.16.1. Contenido mínimo de cemento asfáltico	49
2.16.2. Contenido óptimo de cemento asfáltico	51
2.16.3. Mezclado en planta estacionaria	59

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 64

3.1. Criterio del diseño metodológico.....	64
3.1.1. Unidad de estudio o muestra	64
3.1.2. Población.....	64
3.1.3. Muestra.....	64
3.1.4. Tamaño de la muestra	64
3.2. Localización.....	64
3.3. Características del tramo en estudio.....	66

3.4. Evaluación superficial del tramo.....	68
3.4.1. Aplicación del método PCI (Índice de condición del pavimento)	68
3.4.2. Aplicación del método IFI (Índice de Fricción Internacional).....	72
3.4.3. Ensayo con círculo de arena.....	76
3.4.4. Evaluación estructural del tramo.....	80
3.5. Carpetas asfálticas delgadas.....	83
3.5.1. Agregados para carpetas delgadas.....	83
3.5.2. Cemento asfáltico para carpetas delgadas	87
3.5.3. Diseño de mezclas para carpetas delgadas	92
3.5.4. Pruebas de control para carpetas delgadas	94

CAPÍTULO IV

EVALUACIÓN, DISEÑO Y ANÁLISIS	96
4.1. Procedimiento de Evaluación Superficial	96
4.1.1. Evaluación superficial por el método PCI.....	96
4.1.2. Resultados y análisis de los resultados del PCI.....	103
4.1.3. Evaluación superficial por el método IFI.....	110
4.2. Procedimiento de Evaluación Estructural	122
4.2.1. Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento.....	122
4.2.2. Resultados y análisis de resultados de la muestra de suelo.....	136
4.3. Diseño de Carpeta Delgada.....	137
4.3.2. Aplicación de carpeta delgada E=4 cm	155
4.3.3. Costo de carpetas delgadas.....	157
4.3.4. Resultados del costo de la carpeta asfáltica.....	159
4.3.5. Costo de recapados estudiado por otros autores.....	160

4.4. Prueba de hipótesis	161
4.5. Alternativa más óptima	163

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	165
5.1. Conclusiones	165
5.2. Recomendaciones	169

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I. SOLICITUDES ENVIADAS

ANEXO II. ENSAYOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL

ANEXO III. ENSAYOS DE LOS MATERIALES PARA CARPETAS DELGADAS

ANEXO IV. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO MÍNIMO DE CEMENTO ASFÁLTICO

ANEXO V. ENSAYO MARSHALL PARA DETERMINAR EL CONTENIDO OPTIMO DE C.A.

ANEXO VI. COSTO DE CARPETAS DELGADAS

ANEXO VII. CÓMPUTOS MÉTRICOS DE CARPETA DELGADA

ANEXO VIII. PRECIOS UNITARIOS PRIVADOS DE CARPETA DELGADA

ANEXO IX. COSTO DE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO DE CARPETAS DELGADAS

ANEXO X. COSTO DE MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA

ANEXO XI. MEMORIA FOTOGRÁFICA

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Especificación granulométrica para materiales pétreos en asfaltos.....	9
Figura 2. Sección típica de un pavimento.....	12
Figura 3. Estructura típica de un pavimento asfáltico (flexible).....	14
Figura 4. Zona de especificaciones granulométricas (sub – base y base).....	18

Figura 5. Máquina de Los Ángeles.....	20
Figura 6. Diferencia entre macrotextura y microtextura.....	30
Figura 7. Péndulo Británico del TRRL.....	31
Figura 8. Corrección del coeficiente de resistencia al deslizamiento a 20°C.....	32
Figura 9. Clasificación del perfil según la AIPCR.....	33
Figura 10. Instrumentos para medir la profundidad de macrotextura.....	35
Figura 11. Viga Benkelman.....	36
Figura 12. Gráfico de deflexiones admisibles.....	38
Figura 13. Graficas Método de Marshall.....	57
Figura 14. Ubicación geográfica de la zona en estudio.....	65
Figura 15. Coordenadas de la ubicación del tramo en estudio.....	65
Figura 16. Longitud del tramo en estudio.....	68
Figura 17. Unidad de muestreo para el método PCI $A = 230.40 \text{ m}^2$	69
Figura 18. Procedimiento en la evaluación PCI.....	71
Figura 19. Planilla de muestreo de datos Método PCI.....	72
Figura 20. Péndulo de fricción británico.....	73
Figura 21. Procedimiento de ensayo del péndulo británico.....	74
Figura 22. Corrección de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas.....	75
Figura 23. Procedimiento de ensayo del círculo de arena.....	79
Figura 24. Equipos del para el ensayo.....	79
Figura 25. Pesado de volquete.....	81
Figura 26. Procedimiento del ensayo viga Benkelman.....	82
Figura 27. Obtención del valor deducido (VD).....	97
Figura 28. Medición de las fallas superficiales.....	98
Figura 29. Curvas de corrección del valor deducido para pavimentos asfálticos.....	99
Figura 30. Frecuencia de calificación de la sección 1.....	104
Figura 31. Frecuencia de calificación de la sección 2.....	105
Figura 32. Frecuencia de calificación de la sección 3.....	106
Figura 33. Frecuencia de calificación de la sección 4.....	107
Figura 34. Frecuencia de calificación de la sección 5.....	108
Figura 35. Frecuencia de calificación por kilómetro de vía.....	109

Figura 36. Frecuencia de calificación por sección de vía	109
Figura 37. Corrección por temperatura para BPN con el péndulo de fricción.....	116
Figura 38. Curva de fricción – velocidad de deslizamiento.....	117
Figura 39. Granulometría para mezclas de carpetas delgadas (CAC D12)	139
Figura 40. Esquema de una planta asfáltica en caliente.....	156
Figura 41. Presupuesto de materiales, mano de obra y equipo E= 4 cm	158

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de las variables.	6
Tabla 2. Materiales de Sub – Base.	16
Tabla 3. Materiales de Base.	17
Tabla 4. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación	26
Tabla 5. Hoja de registro en vías de pavimento flexible.....	28
Tabla 6. Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas.	29
Tabla 7. Clasificación de textura superficial según AIPCR.....	33
Tabla 8. Agregados para el Diseño del Tramo Vial.....	41
Tabla 9. Índice Asfáltico Método del Área Superficial.	50
Tabla 10. Coeficientes asfálticos método de la distribución de partículas.....	51
Tabla 11. Factores de Corrección.....	56
Tabla 12. Especificaciones para Mezclas Asfálticas.....	58
Tabla 13. Longitud del tramo vial en estudio.	68
Tabla 14. Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas.	69
Tabla 15. Planilla de recolección de datos para el PCI.	70
Tabla 16. Tipo de fallas de pavimentos.....	71
Tabla 17. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción	76
Tabla 18. Requisitos áridos gruesos (ej. mezclas densas).....	84
Tabla 19. Requisitos áridos finos (ej. mezclas densas)	85
Tabla 20. Requisitos filler aporte.	85
Tabla 21. Granulometría.	86

Tabla 22. Requisitos sobre ligantes asfálticos (i).....	87
Tabla 23. Requisitos de dosificación D, S, CAD y Micros.....	88
Tabla 24. Tipos de cementos asfálticos.....	89
Tabla 25. Usos recomendados de los asfaltos para pavimentación.....	90
Tabla 26. Penetración recomendable para diferentes tipos de asfaltos.....	91
Tabla 27. Fallas existentes.....	96
Tabla 28. Resultados de valor deducido corregido (CDV).....	98
Tabla 29. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación.....	100
Tabla 30. Muestras seleccionadas para el PCI prog. 0+000 – 8+000.....	101
Tabla 31. Muestras seleccionadas para el PCI prog. 8+000 – 9+220.....	102
Tabla 32. Calificación PCI progresivas 0+000 a 2+000.....	103
Tabla 33. Calificación PCI progresivas 2+000 a 4+000.....	104
Tabla 34. Calificación PCI progresivas 4+000 a 6+000.....	105
Tabla 35. Calificación PCI progresivas 6+000 a 8+000.....	106
Tabla 36. Calificación PCI progresivas 8+000 a 9+220.....	107
Tabla 37. Calificación PCI por kilómetro de vía.....	108
Tabla 38. Calificación PCI por secciones de vía.....	109
Tabla 39. Calificación PCI del proyecto.....	110
Tabla 40. Datos de I.F.I. Carril: Derecho (ida y vuelta).....	110
Tabla 41. Estimación de I.F.I. Carril: ida y vuelta.....	111
Tabla 42. Tratamiento estadístico de ensayos I.F.I. Carril: Ida y Vuelta.....	113
Tabla 43. Resumen de los cálculos I.F.I Carril: Ida y Vuelta.....	115
Tabla 44. Cálculo de la fricción a cualquier velocidad.....	117
Tabla 45. Datos de evaluación superficial, Carril: Ida y Vuelta.....	117
Tabla 46. Tratamiento estadístico de error porcentual del círculo de arena.....	119
Tabla 47. Resultados del ensayo círculo de arena.....	120
Tabla 48. Datos de los parámetros geométricos de la viga Benkelman.....	122
Tabla 49. Mediciones en campo (Viga Benkelman – Carril: Derecho (ida).....	123
Tabla 50. Mediciones en campo (Viga Benkelman – Carril: Izquierdo (vuelta).....	124
Tabla 51. Rangos de la evaluación estructural.....	128
Tabla 52. Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida).....	129

Tabla 53. Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (Vuelta)	132
Tabla 54. Calificación según el CBR y uso de suelo	136
Tabla 55. Resultados de los métodos empleados	137
Tabla 56. Agregados para el Diseño del Tramo Vial.....	138
Tabla 57. Resumen de % retenido en los tamices	140
Tabla 58. Retenido acumulado.....	141
Tabla 59. Resumen de % retenido en los tamices	142
Tabla 60. Coeficientes asfálticos método de la distribución de partículas.....	143
Tabla 61. Resumen de ensayos de los materiales de la mezcla en laboratorio.	144
Tabla 62. Resumen de ensayos de los materiales de la mezcla en laboratorio.	146
Tabla 63. Metodo Marshall para contenido optimo de cemento asfáltico	147
Tabla 64. Resumen de resultados de diseño “método Marshall”	148
Tabla 65. Graficas de diseño de mezclas asfálticas (método Marshall).....	149
Tabla 66 Propiedades marshall con el contenido óptimo de cemento asfáltico.....	150
Tabla 67 Planilla de ensayos con el contenido optimo método marshall.....	151
Tabla 68. Composición de agregado	153
Tabla 69. Composición de la mezcla asfáltica de bajo espesor.	153
Tabla 70. Volúmenes de agregado asfalto	154
Tabla 71. Cuadro resumen de carpeta delgada E= 4 Cm	154
Tabla 72. Resumen de insumos por m ² de carpeta asfáltica E= 4 Cm.....	155
Tabla 73. Presupuesto de carpeta de bajo espesor E=4 Cm.....	157
Tabla 74. Presupuesto de materiales, mano de obra y equipo E= 4Cm	158
Tabla 75. Presupuesto total de la capa de rodadura para el tramo vial en estudio...	159
Tabla 76. Costo de materiales para carpeta delgada	160
Tabla 77. Presupuesto de la capa de rodadura tratamiento triple por Km	160
Tabla 78. Presupuesto de recapado de pavimento flexible.	160
Tabla 79. Presupuesto de recapamientos.....	161
Tabla 80. Presupuesto total de capas de rodadura por Km.	162

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Deflexiones máximas carril derecho (Ida)	131
Gráfico 2. Radios de curvatura carril derecho (Ida).....	132
Gráfico 3. Deflexiones máximas carril izquierdo (Vuelta)	135
Gráfico 4. Radios de curvatura carril izquierdo (Vuelta).....	135