

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO
FLEXIBLE DEL TRAMO COPACABANA – YUNCHARÁ”**

Por:

LIMACHI DELGADO JOSE ARMANDO

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

SEMESTRE II - 2024

TARIJA - BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

FLEXIBLE DEL TRAMO COPACABANA – YUNCHARÁ”

Por:

LIMACHI DELGADO JOSE ARMANDO

SEMESTRE II - 2024

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, quien me iluminó en cada paso y momento de este camino. A mis padres, Hilda y Reinaldo, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de esta etapa tan importante en mi vida. A mi pareja, Sulma, por ser mi compañera en cada desafío y brindarme apoyo mutuo en esta etapa. A mis hermanos, Kebin e Ismael, por su constante respaldo y por ser mis compañeros de vida. Y, finalmente, a mis fieles compañeras de cuatro patas, Lulu, Prince, Lupita y Kiarita, cuya leal compañía ha sido un refugio de consuelo y alegría en los momentos de felicidad y de soledad.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema	2
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. Objetivo.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Operacionalización de las variables	5
1.6.3. Variable independiente	5
1.7. Identificación del tipo de investigación	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1. Unidad de estudio.....	6
1.8.2. Población.....	6
1.8.3. Muestra.....	6
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	6
1.9. Métodos y técnicas empleadas	6
1.9.1. Métodos.....	6
1.9.2. Técnicas.....	6
1.10. Procesamiento de la información	7

1.11. Determinación del alcance de la investigación	7
---	---

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

FLEXIBLE

Página

2.1. Definición de pavimentos	8
2.2. Tipos de los pavimentos	9
2.2.1. Pavimento Flexible.....	9
2.2.2. Pavimentos rígidos	10
2.2.3. Pavimentos mixtos o compuestos	10
2.1.1. Componentes de un pavimento flexible	11
2.1.1.1. Capa asfáltica	11
2.1.1.2. Base	12
2.1.1.3. Subbase	12
2.1.1.4. Subrasante	12
2.2. Fallas en los pavimentos	12
2.2.1. Causas del surgimiento de las fallas.....	12
2.3. Importancia de la evaluación de pavimentos	13
2.3.1. Evaluación Superficial de un Pavimento Flexible	14
2.3.1.1. Método PCI (índice de condición de pavimento)	14
2.3.1.2. Método IRI (Índice de Regularidad Internacional).....	46
2.3.1.2.1. Método IRI con el Rugosímetro de Merlín	49
2.3.1.3. Método IFI (Índice de Fricción Internacional).....	56
2.3.1.3.1. Resistencia al deslizamiento	56
2.3.1.3.2. Macrotextura con el ensayo del círculo de arena	59
2.3.1.3.3. Microtextura con ensayo del péndulo británico (TRRL)	61

2.3.2. Evaluación Estructural de un pavimento flexible	63
2.3.2.1. Método de la Viga Benkelman	64
2.3.2.1.1. Descripción del equipo.....	65
2.4. Conservación vial.....	72
2.5. Tipos Mantenimiento vial	73
2.5.1. Mantenimiento rutinario.....	73
2.5.2. Mantenimiento periódico	74
2.6. Marco Normativo	75

CAPÍTULO III

CARACTERÍSTICAS DEL TRAMO COPACABANA – YUNCHARÁ Y CRITERIOS DE RELEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

	Página
3.1. Ubicación geográfica del tramo en estudio.....	77
3.2. Relevamiento de información.	78
3.3. Evaluación superficial.....	80
3.3.1. Determinación del PCI (Índice de Condición de Pavimento).....	80
3.3.2. Determinación del IRI (Índice de Regularidad Internacional).....	93
3.3.4. Determinación de la macrotextura con la mancha de arena.....	98
3.3.5. Determinación de la microtextura con el péndulo británico	101
3.3.6. Determinación del IFI (Índice de Fricción Internacional)	105
3.4. Evaluación estructural.....	109
3.4.1. Método no destructivo con la Viga Benkelman	109

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Página
4.1. Resultados finales de la evaluación superficial.....	118
4.1.1. Análisis de resultados por el método PCI	118

4.1.2. Análisis de resultados por el método IRI	127
4.1.3. Análisis de resultados de la macrotextura	129
4.1.4. Análisis de los resultados de la microtextura	131
4.1.5. Análisis de resultados del método IFI	133
4.2. Análisis de la evaluación estructural	136
4.2.1. Análisis de resultados por el método no destructivo con la viga Benkelman	136
4.2. Hipótesis con distribución chi cuadrado	138

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	140
5.2. Recomendaciones.....	142
 BIBLIOGRAFÍA	 143

ANEXOS

ANEXO I: CÁLCULO Y PLANILLAS DETERMINACIÓN DEL PCI

ANEXO II: CÁLCULO Y PLANILLAS DETERMINACIÓN DEL IRI

ANEXO III: CÁLCULO Y PLANILLAS DETERMINACIÓN DEL IFI

ANEXO IV: CÁLCULO Y PLANILLAS VIGA BENKELMAN

ANEXO V: CÁLCULO Y PLANILLAS VELOCIDAD REAL

ANEXO VI: ANÁLISIS DE COSTOS

ANEXO VII: DOCUMENTACIÓN

ANEXO VIII: PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Funciones de los pavimentos.....	8
Figura 3. Componentes de un pavimento flexible	11
Figura 4. Piel de cocodrilo	23
Figura 5. Exudación	25
Figura 6. Agrietamiento en bloque.....	26
Figura 7. Abultamiento y hundimiento	27
Figura 8. Corrugación	28
Figura 9. Depresión.....	30
Figura 10. Grieta de borde	31
Figura 11. Grieta de deflexión de junta.....	32
Figura 12. Desnivel de carril/berma.....	33
Figura 13. Grieta longitudinal y transversal.....	35
Figura 14. Parcheo	36
Figura 15. Pulimiento de agregados.....	37
Figura 16. Huecos	39
Figura 17. Cruce de vía férrea.....	40
Figura 18. Ahuellamiento.....	41
Figura 19. Desplazamiento	42
Figura 20. Grietas parabólicas	43
Figura 21. Hinchamiento.....	44
Figura 22. Meteorización/desprendimiento de agregados	46
Figura 23. Perfiles del camino	47
Figura 24. Sistemas de suspensión formados por amortiguadores y resortes.....	48
Figura 25. Modelo "cuarto de coche"	48
Figura 26. Rugosímetro de Merlín empleado para los ensayos	49
Figura 27. Medición de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio....	50
Figura 28. Esquema del Rugosímetro MERLIN.....	51
Figura 29. Histograma de distribución de frecuencias.....	53
Figura 30. Condiciones de contacto entre una rueda en movimiento y una superficie mojada	57

Figura 31. Círculo de arena.....	60
Figura 32. Esquema del cuenco de deflexión de pavimento originado por la aplicación de una carga.....	65
Figura 33. Esquema y principio de operación de la viga benkelman	67
Figura 34. Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.....	68
Figura 35. Determinación de la longitud de la calzada, para determinación del PCI.....	81
Figura 36. Punto de partida para evaluación superficial y estructural del tramo "copacabana - Yunchará"	81
Figura 37. Medición e identificación de las fallas superficiales	86
Figura 38. Unidad de muestra inicial 0+000 a 0+032.....	86
Figura 39. Curva de los valores deducidos corregidos	88
Figura 40. Lectura y toma de datos del ensayo con el rugosímetro de Merlín	93
Figura 41. Lectura de datos carril Ida a una distancia constante	94
Figura 42. Realización de la práctica de la Mancha de arena	99
Figura 43. Preparando el equipo para realización del ensayo.....	102
Figura 44. Lectura de la resistencia al patinaje con el péndulo británico	102
Figura 45. Progresiva final con el ensayo del péndulo británico	103
Figura 46. Recibo de pesado de volqueta	110
Figura 47. Pesaje de la volqueta en la balanza electrónica	110
Figura 48. Punto de partida y ensamblado de la viga Benkelman	111
Figura 49. Lectura a diferencias distancias con la viga Benkelman	112
Figura 50. Medición de la temperatura durante el ensayo	112
Figura 51. Progresiva final 11+000 (Ida), punto de llegada del ensayo de viga Benkelman.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla 1. Conceptualización y operación de la variable independiente.....	5
Tabla 2. Escala de clasificación del PCI.....	14
Tabla 3. Pavimentos flexibles método PCI - fallas consideradas.....	15
Tabla 4. Longitudes de unidades de muestreo.....	16
Tabla 5. Planilla de datos para determinar CDV	21
Tabla 6. Niveles de severidad para huecos.....	38
Tabla 7. Planilla para toma de datos de campo	54
Tabla 8. Clasificación de la textura en pavimentos para circulo de arena.....	61
Tabla 9. Clasificación del péndulo británico	63
Tabla 10. Recomendaciones del punto de ensayo sobre el pavimento.....	68
Tabla 11. Factor de corrección por estacionalidad	70
Tabla 12. Correlación de categoría de acción con el rango de PCI.....	74
Tabla 13. Puntos de estudio.....	78
Tabla 14. Descripción del paquete estructural.....	78
Tabla 15. Diseño geométrico del tramo vial Copacabana - Yunchará.....	79
Tabla 16. Longitudes de unidades de muestreo asfálticas.....	81
Tabla 17. Sección 1 de progresiva 0+000 a 4+000	83
Tabla 18. Sección 2 de progresiva 4+000 a 8+000	84
Tabla 19. Sección 3 de progresiva 8+000 a 11+000.....	85
Tabla 20. Inventario de fallas existentes unidad de muestra U64 sección 1.	87
Tabla 21. Obtención de valores deducidos	89
Tabla 22. Rangos de clasificación y simbología PCI	89
Tabla 23. Resultados y clasificación del PCI sección 1	90
Tabla 24. Resultados y clasificación del PCI sección 2	91
Tabla 25. Resultados y clasificación del PCI sección 3	91
Tabla 26. Tratamiento estadístico del PCI.....	92
Tabla 27. Datos de campo levantados con la rueda de Merlín	95
Tabla 28. Frecuencias obtenidas del histograma	96
Tabla 29. Resultados Ida y Vuelta IRI por progresivas	97
Tabla 30. Resultados IRI de todo el proyecto	97

Tabla 31. Tratamiento estadístico del IRI para todo el tramo en estudio	98
Tabla 32. Resultados de la macrotextura de la progresiva 2+500 (ida)	100
Tabla 33. Clasificación de la textura	100
Tabla 34. Resultados progresivos de la macrotextura tramo id y vuelta.....	101
Tabla 35. Datos levantados y promedio para progresiva 2+500 (ida).....	103
Tabla 36. Resultado de la microtextura para progresiva 2+000 (ida)	104
Tabla 37. Calificación de la microtextura	104
Tabla 38. Resultados de la microtextura para cada kilómetro ida y vuelta	105
Tabla 39. Promedio Péndulo Británico.....	105
Tabla 40. Promedio círculo de arena.....	105
Tabla 41. BPN promedio corregido.....	106
Tabla 42. Valores para el grafico e la curva "fricción vs velocidad"	108
Tabla 43. Resultados finales IFI por kilómetro ida y vuelta	109
Tabla 44. Lecturas del ensayo en progresiva 2+500 (ida).....	113
Tabla 45. Resultados de deflexión y radio de curvatura progresiva 2+500 (ida).....	114
Tabla 46. Frecuencias viga Benkelman carril derecho	115
Tabla 47. Frecuencias viga Benkelman carril izquierdo	116
Tabla 48. Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril izquierdo.....	116
Tabla 49. Resultados de las deflexiones y radio de curvatura ida y vuelta del tramo en estudio	117
Tabla 50. Resultados por kilómetro y clasificación del PCI	118
Tabla 51. Resultados PCI para las tres secciones de estudio.....	119
Tabla 52. Resultados y clasificación PCI para el proyecto	119
Tabla 53. Cuantificación de fallas para todo el tramo.....	120
Tabla 54. Porcentaje de cada tipo de falla en el tramo de estudio.....	121
Tabla 55. Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.	123
Tabla 56. Plan de mejoras de las fallas encontradas en el tramo vial.....	124
Tabla 57. Presupuesto general de mantenimiento periódico del tramo vial Copacabana-Yunchará.....	127
Tabla 59. Resultados del IRI por Kilometro.....	128
Tabla 60. Resultados IRI para todo el proyecto	128

Tabla 61. Resultados de la macrotextura por cada kilómetro de ida y vuelta	129
Tabla 62. Resultados y clasificación de la macrotextura carril de ida	129
Tabla 63. Resultados y clasificación de la macrotextura carril de vuelta.....	130
Tabla 64. Resultados macrotextura para todo el proyecto.....	130
Tabla 65. Resultados y clasificación de la microtextura por kilómetro ida y vuelta.....	131
Tabla 66. Resultados y clasificación de la microtextura carril de ida	132
Tabla 67. Resultados y clasificación de la microtextura carril de vuelta	132
Tabla 68. Resultados y clasificación de la microtextura de todo el proyecto	133
Tabla 69. Resultados del IFI por kilómetro del tramo de estudio	133
Tabla 70. Resultados del IFI para todo el proyecto	134
Tabla 71. Comparación de velocidades	135
Tabla 72. Resultados de la deflexión y radio de curvatura por kilómetro del tramo de estudio	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Página

Gráfico 1. Pavimento flexible	9
Gráfico 2. Pavimento rígido	10
Gráfico 3. Pavimento compuesto	11
Gráfico 4. Diferencias entre microtextura y macrotextura.....	58
Gráfico 5. Péndulo británico	62
Gráfico 6. Componentes del equipo de viga benkelman.....	64
Gráfico 7. Ubicación geográfica del tramo	77
Gráfico 8. Ubicación del tramo vial Copacabana - Yunchará	78
Gráfico 9. Espesor del paquete estructural.....	79
Gráfico 10. Diseño geométrico del tramo vial Copacabana - Yunchará	80
Gráfico 11. Densidad de las fallas para determinada área de estudio	90
Gráfico 12. Diagrama de frecuencias del PCI.....	92
Gráfico 13. Histograma de distribución de frecuencias	95
Gráfico 14. Diagrama de frecuencias del IRI.....	98
Gráfico 15. Curva de fricción vs velocidad de deslizamiento.....	108
Gráfico 16. Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril derecho (ida)	115
Gráfico 17. Resultados por kilómetro del PCI.	118
Gráfico 18. Porcentaje de fallas en tramo.	121
Gráfico 19. Macrotextura del tramo	130
Gráfico 20. Microtextura del tramo.....	132
Gráfico 21. Comparación de IFI vs velocidad real carril de ida	135
Gráfico 22. Comparación IFI vs velocidad real carril de vuelta	135
Gráfico 23. Deflexiones Características en el tramo de ida y vuelta	137
Gráfico 24. Radios de curvatura del tramo de estudio	137