UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN DEL DETERIORO SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO COLEGIO SANTA ANA LA NUEVA – U.E. YESERA SUD"

Por:

AUGUSTO JESUS APAZA GALLARDO

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

SEMESTRE I – 2026

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres Armin Apaza Pinaya y Paola Gallardo, quienes, con su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza me motivaron día a día a seguir adelante. A mi madre, que con su amor, fortaleza y sabios consejos me ha guiado en cada paso de mi vida; y a mi padre, por ser ejemplo de perseverancia y trabajo constante. Sin ellos, este logro no habría sido posible.

A mis hermanas Victoria y Zayra, por su cariño, compañía y apoyo inquebrantable en los momentos más difíciles. Gracias por ser fuente de alegría, inspiración y motivación para continuar superándome.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Página

1.1. Antecedentes……1

1.2. Situación Problémica……...2

1.2.1. Problema……...3

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema…… 3

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema……... 3

1.3. Justificación……4

1.4. Objetivos……..5

1.4.1. Objetivo General……..5

1.4.2. Objetivos Específicos……... 5

1.5. Hipótesis…….. 5

1.6. Operacionalización de las variables……...6

1.6.1. Variable Independiente……6

1.6.2. Variable dependiente…… 6

1.7. Identificación del tipo investigación…… ...6

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral…….7

1.8.1. Unidad de estudio…… 7

1.8.2. Población…….. 7

1.8.3. Muestra…… 7

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo…….. 7

1.9. Métodos y técnicas empleadas……...8

1.9.1. Métodos…… 8

1.9.2. Técnicas…… 8

1.10. Procesamiento de la información…….. 8

1.11. Alcance de la investigación……... 8

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Página

2.1. Pavimento…….. 10
2.2. Pavimento flexible……10
2.2.1. Características del pavimento flexible……11
2.2.2. Duración de un pavimento flexible……... 14
2.2.3. Componentes de la evaluación de pavimentos……... 15
2.3. Evaluación superficial…… 15
2.4. Evaluación estructural……... 15
2.4.1. Método de PCI (Índice de condición de pavimento)…….. 15
2.4.2. Aplicación del método PCI……16
2.4.3. Evaluación de la condición del PCI……17
2.4.4. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo……17
2.4.5. Fallas y niveles de severidad…….. 18
2.5. Método del índice internacional de rugosidad (IRI)…….. 39
2.5.1. Método Índice de Serviciabilidad (PSI)……. 46
2.5.2. Evaluación estructural…… 47
2.5.3. Métodos de evaluación estructural……. 48
2.5.4. Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas……48
2.5.5. Viga Benkelman……48
2.5.6. Marco referencial……54
2.5.7. Marco normativo…… 56
2.5.8. Análisis y posición del investigador……...57

CAPÍTULO III

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Página

3.1. Ubicación……...58

3.2. Criterios metodológicos…….60

3.2.1.1. Unidades de muestreo……...60

3.2.2. Relevamiento de información…….66

3.3. Evaluación superficial del tramo…… 67

3.3.1. Aplicación del método PCI…….67

3.3.1.1. Procedimiento del PCI (Índice de Condición del Pavimento……. 67

3.3.1.2. Procedimiento de imágenes de PCI (Índice de condición del pavimento)…….. 72

3.3.2. Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín……. 73

3.3.2.1. Unidades de muestreo método IRI…….. 73

3.3.2.2. Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín……... 74

3.3.2.3. Imagines Del ensayo de IRI……...78

3.3.3. Aplicación del método del PSI……... 79

3.3.3.1. Procedimiento de cálculo PSI……79

3.4. Evaluación estructural…… 82

3.4.1. Procedimiento de medición viga Benkelman……. 82

3.4.2. Imágenes del ensayo con la viga Benkelman……. 90

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados finales de la evaluación superficial y estructural…… 93

4.1.1. Análisis de resultados por el método PCI…….. 93

4.1.2. Análisis resultados PCI para el proyecto……94

4.2. Evaluación superficial con el método IRI……. 98

4.2.1. Resultados parciales del método IRI…….. 98

4.2.2. Análisis de los resultados del método IRI……. 101

4.3. Evaluación superficial con el método PSI……...102

4.3.1. Resultados parciales del método PSI……102

Página

4.3.2. Análisis de resultados del método PSI……. 104
4.3.3. Diagnóstico general superficial del estado del pavimento……... 105
4.4. Hipótesis con distribución chi cuadrado método PCI……. 107
4.5. Evaluación estructural con el método viga Benkelman……...110
4.5.1. Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman……... 122
4.6. Análisis para el tipo de mantenimiento…… 124
4.6.1. Especificaciones Técnicas…… 129
4.6.2. Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación……... 137
4.6.3. Costo de la obra…….. 138

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones……139
5.2. Recomendaciones…… 141

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXOS I: CÁLCULOS DEL PCI
ANEXOS II: CÁLCULOS DEL IRI
ANEXOS III: CÁLCULOS DEL PSI
ANEXOS IV: CÁLCULOS DE LA VIGA BENKELMAN
ANEXOS V: FOTOS
ANEXOS VI: PRECIOS UNITARIOS
ANEXOS VII: PRESUPUESTO GENERAL
ANEXOS VIII: PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura N° 1.- Paquete estructural……. 10
Figura N° 2.- Sección típica transversal pavimento flexible…… 11
Figura N° 3.- Ciclo de vida de un pavimento……... 13
Figura N° 4.- Ciclo de vida de pavimentos con mantenimiento y rehabilitación……14
Figura N° 5.- Fallas en los pavimentos flexibles establecidos por PCI……... 19
Figura N° 6.- Piel de cocodrilo……20
Figura N° 7.- Exudación……...21
Figura N° 8.- Agrietamiento en bloque…… 23
Figura N° 9.- Abultamientos y hundimientos…….. 24
Figura N° 10.- Corrugación……. 25
Figura N° 11.- Depresión……. 26
Figura N° 12.- Grietas de borde……... 26
Figura N° 13.- Grieta de reflexión de junta……..28
Figura N° 14.- Desnivel carril/berma……... 29
Figura N° 15.- Grietas longitudinales y transversales…….. 30
Figura N° 16.- Parcheo y acometidas……... 31
Figura N° 17.- Agregado pulido……...32
Figura N° 18.- Huecos……..33
Figura N° 19.- Cruce de vía férrea de baja severidad……...34
Figura N° 20.- Ahuellamiento…….. 35
Figura N° 21.- Desplazamiento o deformación por empuje……36
Figura N° 22.- Grietas parabólicas o por desplazamientos…….. 37
Figura N° 23.- Hinchamiento……... 38
Figura N° 24.- Meteorización/desprendimiento de agregados……39
Figura N° 25.- Equipo de medición de la rugosidad superficial, Merlín……. 41
Figura N° 26.- Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio……... 42
Figura N° 27.- Histograma de distribución de frecuencias…….. 43
Figura N° 28.- Esquema del rugosímetro Merlín…… 45
Figura N° 29.- Esquema de la viga Benkelman……... 50

Página

Figura N° 30.- Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman……...51
Figura N° 31.- Esquema del proceso de medición de la Viga Benkelman…….. 52
Figura N° 32.- Mapa orográfico del departamento de Tarija……... 58
Figura N° 33.- Inicio del tramo del proyecto……... 59
Figura N° 34.- Fin del tramo del proyecto……... 59
Figura N° 35.- Tramo Colegio Santa Ana La Nueva - U.E Yesera Sud…….. 60
Figura N° 36.- Progresivas para el PCI…….. 72
Figura N° 37.- Inspección del tramo…… 72
Figura N° 38.- Estudio del tramo con el método PCI……73
Figura N° 39.- Calibración del equipo de Merlín……78
Figura N° 40.- Equipo de Merlín……..78
Figura N° 41.- Lectura con el equipo Merlín……... 79
Figura N° 42.- Pasaje de la volqueta en la balanza electrónica……90
Figura N° 43.- Calibración del equipo……..91
Figura N° 44.- Ensayo de la viga Benkelman…….. 91
Figura N° 45.- Marcado de distancias…….. 92
Figura N° 46.- Lectura de temperatura……92

ÍNDICE DE TABLAS

Página

Tabla N° 1.- Operacionalización de la variable independiente 6
Tabla N° 2.- Población 7
Tabla N° 3.- Escala de clasificación del PCI 16
Tabla N° 4.- Niveles de severidad para huecos. 33
Tabla N° 5.- Clasificación del rango de rugosidad 44
Tabla N° 6.- Índice de Serviciabilidad 46
Tabla N° 7.- Planilla De Coordenadas 60
Tabla N° 8.- Longitudes de unidades de muestreo asfaltico 61
Tabla N° 9.- Unidades de muestra PCI 66
Tabla N° 10.- Ejemplo de relevamiento de fallas 68
Tabla N° 11.- Resultados y clasificación del (PCI) 71
Tabla N° 12.- Unidades de muestreo (IRI, PSI) 74
Tabla N° 13.- Rango de rugosidad 76
Tabla N° 14.- Rango de rugosidad método IRI 77
Tabla N° 15.- Total de datos obtenidos de resultados del PSI 81
Tabla N° 16.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (IDA) 83
Tabla N° 17.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (VUELTA) 84
Tabla N° 18.- Resultados viga Benkelman carril derecho (ida) primer sector 86
Tabla N° 19.- Resultados viga Benkelman carril derecho (ida) segundo sector 87
Tabla N° 20.- Resultados viga Benkelman carril izquierdo (vuelta) segundo sector 88
Tabla N° 21.- Resultados viga Benkelman carril izquierdo (vuelta) primer sector 89
Tabla N° 22.- Resultados de todo el tramo de PCI. 93
Tabla N° 23.- Estados del pavimento en porcentaje 95
Tabla N° 24.- SECTOR (Colegio Santa Ana La Nueva – Cruce Yesera Sud) 95
Tabla N° 25.- SECTOR (Cruce Yesera Sud - U.E. Yesera Sud) 96
Tabla N° 26.- Resultado promedio del tramo evaluado en general 96
Tabla N° 27.- Porcentaje de fallas más representativas en general 97
Tabla N° 28.- Resultados del primer sector IRI (Ida y Vuelta) 99
Tabla N° 29.- Resultados del segundo sector IRI (Ida y Vuelta) 100

Página

Tabla N° 30.- Resultado del tramo evaluado en general....101
Tabla N° 31.- Resultados primer sector método PSI (IDA Y VUELTA)....102
Tabla N° 32.- Resultados segundo sector método PSI (IDA Y VUELTA)....103
Tabla N° 33.- Resultado promedio del tramo evaluado en general....104
Tabla N° 34.- Estados de serviciabilidad en porcentaje....105
Tabla N° 35.- Resultados del PCI, IRI, PSI....106
Tabla N° 36.- Tratamiento estadístico del PCI.....106
Tabla N° 37.- Resultados de evaluación superficial por el método PCI....108
Tabla N° 38.- Resultados de la viga Benkelman primer sector (ida)....111
Tabla N° 39.- Resultados de la viga Benkelman segundo sector (ida)....114
Tabla N° 40.- Resultados de la viga Benkelman segundo sector (vuelta)....117
Tabla N° 41.- Resultados de la viga Benkelman primer sector (vuelta)....120
Tabla N° 42.- Tabla de clasificación viga benkelman....122
Tabla N° 43.- Intervención en base a rango PCI....124
Tabla N° 44.- Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.....126
Tabla N° 45.- Determinación de cantidad total por tipo de falla y severidad....127
Tabla N° 46.- Plan de mejoras de las fallas encontradas en el tramo vial....128
Tabla N° 47.- Cómputos métricos de mantenimiento....137
Tabla N° 48.- Presupuesto general....138

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Página

Gráfica N°1: Resultados del metodo PCI de los dos sectores.....94
Gráfica N°2: Estado de falla por unidad de muestreo.....95
Gráfica N°3: Panel de fallas en general.....97
Gráfica N°4: Resultados en gráfica del primer sector metodo IRI 99
Gráfica N°1: Resultados en gráfica del segundo sector metodo IRI.....100
Gráfica N°2: Resultados en gráfico primer sector método PSI 103
Gráfica N°3: Resultados en gráfico segundo sector método PSI.....104
Gráfica N°4: Estado del pavimento por unidad de muestra.....105
Gráfica N°5: Diagrama de frecuencias del PCI 107
Gráfica N°6: Deflexiones máximas (ida) primer sector.....112
Gráfica N°7: Radios de curvatura (ida) primer sector 112
Gráfica N°8: Deflexiones máximas (ida) segundo sector 115
Gráfica N°9: Radios de curvatura (ida) segundo sector.....115
Gráfica N°10: Deflexiones máximas (vuelta) segundo sector 118
Gráfica N°11: Radios de curvatura (vuelta) segundo sector.....118
Gráfica N°12: Deflexiones máximas (vuelta) primer sector.....121
Gráfica N°13: Radios de curvatura (vuelta) primer sector.....121