

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DEL DETERIORO SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO ESTACIÓN DE SERVICIO EL
PORTILLO - COLEGIO SANTA ANA”**

Por:

CHINURI CAMARGO ADRIAN

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 - 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Este trabajo se lo dedico especialmente a mis padres Fernando Chinuri y Honoria Camargo, quienes con su apoyo incondicional me motivaron día a día a seguir adelante. A mi madre, que con su amor y sabios consejos me ha ayudado a culminar una etapa importante de mi vida, sin ellos este logro no habría sido posible.

A mis hermanos: Feliciano, Agustina, Hildo, Luis, Teodoro, Ruth, Lisbeth, Anabel y Ronal F., por su cariño, ejemplo y apoyo constante, quienes en cada momento difícil supieron brindarme fortaleza y carácter para seguir luchando por mis objetivos.

A mi pareja Olivia Cerezo por acompañarme con amor, comprensión y paciencia durante este proceso, y a mi hija Maylim quien es y será siempre mi mayor inspiración para seguir adelante y dar lo mejor de mí cada día.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación del proyecto.....	3
1.3.1. Justificación académica.....	3
1.3.2. Justificación técnica - práctica.....	3
1.3.3. Justificación social.....	3
1.4. Planteamiento del problema.....	4
1.4.1. Situación Problemática.....	4
1.4.2. Delimitación temporal y espacial.....	5
1.4.3. Formulación del Problema.....	6
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos.....	6
1.6. Hipótesis.....	6
1.7. Operacionalización de las variables.....	7
1.7.1. Identificación y conceptualización de variables.....	7
1.7.2. Conceptualización y Operacionalización de las variables.....	7
1.8. Determinación del alcance de la investigación.....	7

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

	Página
2.1. Pavimento.....	8
2.1.1. Estructura de un pavimento.....	9
2.2. Pavimento flexible.....	10
2.2.1. Características del pavimento flexible.....	10

2.2.2. Duración de un pavimento flexible.....	13
2.3. Evaluación superficial.....	13
2.3.1. Método de PCI (Índice de condición de pavimento).....	13
2.3.2. Aplicación del método PCI.....	15
2.3.3. Evaluación de la condición.....	15
2.3.4. Cálculo del PCI.....	16
2.4. Método del índice internacional de rugosidad (IRI).....	48
2.4.1. Equipos para la medición del IRI.....	49
2.4.2. Método IRI con el rugosímetro de Merlín.....	50
2.5. Índice de serviciabilidad presente (PSI).....	53
2.6. Evaluación estructural.....	55
2.6.1. Métodos de evaluación estructural.....	56
2.6.2. Medición de deflexiones por medio de cargas estáticas.....	56
2.6.3. Viga Benkelman.....	56
2.6.4. Ensayo viga Benkelman.....	58
2.6.4.1. Equipo requerido.....	58
2.6.5. Procedimiento de la medición y cálculo.....	58
I. Marco referencial.....	62
II. Marcos normativo.....	64
III. Análisis del aporte teórico (por el autor).....	65

CAPÍTULO III

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Ubicación.....	66
3.2. Criterios metodológicos.....	69
3.2.1.1. Unidades de muestreo.....	69
3.2.2. Población.....	73
3.2.3. Muestra.....	73
3.2.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	73
3.2.5. Métodos y técnicas empleadas.....	73

3.2.6. Relevamiento de información.....	74
3.3. Evaluación superficial del tramo.....	76
3.3.1. Aplicación del método PCI.....	76
3.3.1.1. Procedimiento del PCI (Índice de Condición del Pavimento).....	76
3.3.1.2. Procedimiento de imágenes de PCI (Índice de condición del pavimento).....	81
3.3.2. Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín.....	82
3.3.2.1. Unidades de muestreo método IRI.....	82
3.3.2.2. Procedimiento de medición del IRI con el equipo Merlín.....	83
3.3.2.3. Imágenes Del ensayo de IRI.....	87
3.3.3. Aplicación del método del PSI.....	88
3.3.3.1. Procedimiento de cálculo PSI.....	88
3.4. Evaluación estructural.....	91
3.4.1. Procedimiento de medición viga Benkelman.....	91
3.4.2. Imágenes del ensayo con la viga Benkelman.....	97

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

	Página
4.1. Resultados evaluación superficial.....	100
4.1.1. Resultados método PCI.....	100
4.1.2. Análisis resultados PCI para el proyecto.....	101
4.2. Evaluación superficial con el método IRI.....	105
4.2.1. Resultados parciales del método IRI.....	105
4.2.2. Análisis de los resultados del método IRI.....	107
4.3. Evaluación superficial con el método PSI.....	107
4.3.1. Resultados parciales del método PSI.....	107
4.3.2. Análisis de resultados del método PSI.....	108
4.4. Análisis de la relación PCI, IRI y PSI.....	110
4.4.1. Diagnóstico general superficial del estado del pavimento.....	111
4.5. Hipótesis con distribución chi cuadrado método PCI.....	112
4.6. Evaluación estructural con el método viga Benkelman.....	115

4.6.1. Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman.....	122
4.7. Análisis para el tipo de mantenimiento.....	129
4.7.1. Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación.....	134
4.7.2. Costo de la obra.....	135

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.....	136
5.2. Recomendaciones.....	138

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

ANEXOS VI: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXOS VII: PRECIOS UNITARIOS

ANEXOS VIII: PRESUPUESTO GENERAL

ANEXOS IX: PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1.- Paquete estructural.....	9
Figura N° 2.- Pavimento flexible.....	9
Figura N° 3.- Ciclo de vida de un pavimento.....	12
Figura N° 4.-Ciclo de vida de pavimentos con mantenimiento y rehabilitación	12
Figura N° 5.-Fallas en los pavimentos flexibles establecidos por PCI	18
Figura N° 6.- Piel de cocodrilo de baja severidad.....	20
Figura N° 7.- Piel de cocodrilo de severidad media.....	20
Figura N° 8.- Piel de cocodrilo de alta severidad.....	20
Figura N° 9.- Exudación de baja severidad.....	21
Figura N° 10.- Exudación de severidad media.....	22
Figura N° 11.- Exudación de alta severidad.....	22
Figura N° 12.- Grietas en bloque de baja severidad.....	23
Figura N° 13.- Grietas en bloque de severidad media.....	23
Figura N° 14.- Grietas en bloque de alta severidad.....	24
Figura N° 15.- Abultamientos y hundimientos de baja severidad.....	25
Figura N° 16.- Abultamientos y hundimientos de severidad media.....	25
Figura N° 17.- Abultamientos y hundimientos de alta severidad.....	25
Figura N° 18.- Corrugación de baja severidad.....	26
Figura N° 19.- Corrugación de severidad media.....	26
Figura N° 20.- Corrugación de alta severidad.....	27
Figura N° 21.- Depresión de baja severidad.....	28
Figura N° 22.- Depresión de severidad media.....	28
Figura N° 23.- Depresión de alta severidad.....	28
Figura N° 24.- Grieta de borde de baja severidad.....	29
Figura N° 25.- Grieta de borde de severidad media.....	29
Figura N° 26.- Grieta de borde de alta severidad.....	29
Figura N° 27.- Grieta de reflexión de junta de baja severidad.....	31
Figura N° 28.- Grieta de reflexión de junta de severidad media.....	31
Figura N° 29.- Grieta de reflexión de junta de alta severidad.....	31

Figura N° 30.- Desnivel carril/berma de baja severidad.....	32
Figura N° 31.- Desnivel carril/berma de severidad media.....	32
Figura N° 32.- Desnivel carril/berma de alta severidad.....	32
Figura N° 33.- Grietas longitudinales y transversales de baja severidad.....	34
Figura N° 34.- Grietas longitudinales y transversales de severidad media.....	34
Figura N° 35.- Grietas longitudinales y transversales de alta severidad.....	34
Figura N° 36.- Parcheo de servicios públicos de baja severidad.....	36
Figura N° 37.- Parcheo de servicios públicos de severidad media.....	36
Figura N° 38.- Parcheo de servicios públicos de alta severidad.....	36
Figura N° 39.- Pulimento de agregados.....	37
Figura N° 40.- Hueco de baja severidad.....	38
Figura N° 41.- Hueco de severidad media.....	39
Figura N° 42.- Hueco de severidad alta.....	39
Figura N° 43.- Cruce de vía férrea de baja severidad.....	40
Figura N° 44.- Cruce de vía férrea de severidad media.....	40
Figura N° 45.- Cruce de vía férrea de severidad alta.....	40
Figura N° 46.- Ahuellamiento de baja severidad.....	41
Figura N° 47.- Ahuellamiento de severidad media.....	41
Figura N° 48.- Ahuellamiento de alta severidad.....	42
Figura N° 49.- Desplazamiento de baja severidad.....	43
Figura N° 50.- Desplazamiento de severidad media.....	43
Figura N° 51.- Desplazamiento de severidad alta.....	43
Figura N° 52.- Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.....	44
Figura N° 53.- Grieta parabólica (slippage) de severidad media.....	44
Figura N° 54.- Grieta parabólica (slippage) de alta severidad.....	45
Figura N° 55.- Ejemplo de hinchamiento.....	46
Figura N° 56.- Desprendimiento de agregados de baja severidad.....	47
Figura N° 57.- Desprendimiento de agregados de severidad media.....	47
Figura N° 58.- Desprendimiento de agregados de alta severidad.....	47
Figura N° 59.- Equipo para la medición de la rugosidad superficial con Merlín.....	50
Figura N° 60.- Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.....	51

Figura N° 61.- Histograma de la distribución de frecuencias.....	51
Figura N° 62.- Esquema del rugosímetro Merlín.....	52
Figura N° 63.- índice de serviciabilidad.....	54
Figura N° 64.- Esquema viga Benkelman.....	58
Figura N° 65.- Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.....	59
Figura N° 66.- Esquema de aplicación de la Viga de Benkelman.....	60
Figura N° 67.- Mapa político del departamento de Tarija.....	66
Figura N° 68.- Inicio del tramo del proyecto.....	67
Figura N° 69.- Fin del tramo del proyecto.....	67
Figura N° 70.- Tramo Estación De Servicio El Portillo - Colegio Santa Ana.....	68
Figura N° 71.- Sección transversal del tramo evaluado.....	74
Figura N° 72.- Espesores paquete estructural de la progresiva 3+614.....	75
Figura N° 73.- Espesores paquete estructural de la progresiva 7+458.....	75
Figura N° 74.- Progresivas para el PCI.....	81
Figura N° 75.- Inspección del tramo.....	81
Figura N° 76.- Estudio del tramo con el método PCI.....	82
Figura N° 77.- Calibración del equipo de Merlín.....	87
Figura N° 78.- Equipo de Merlín.....	87
Figura N° 79.- Lectura con el equipo Merlín.....	88
Figura N° 80.- Pesaje de la volqueta en la balanza electrónica.....	97
Figura N° 81.- Calibración del equipo.....	98
Figura N° 82.- Ensayo de la viga Benkelman.....	98
Figura N° 83.- Marcado de distancias.....	99
Figura N° 84.- Lectura de temperatura.....	99

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1.- Delimitación temporal	5
Tabla N° 2.- Operacionalización de la variable independiente	7
Tabla N° 3.- Escala de clasificación del PCI	14
Tabla N° 4.- Niveles de severidad para huecos.....	38
Tabla N° 5.- Equipos para la medición del IRI	49
Tabla N° 6.- Índice de Serviciabilidad	54
Tabla N° 7.- Planilla De Coordenadas	68
Tabla N° 8.- Longitudes de unidades de muestreo asfáltico	69
Tabla N° 9.- Unidades de Muestras y Muestras Adicionales.....	72
Tabla N° 10.- Población	73
Tabla N° 11.- Paquete estructural del tramo evaluado.....	74
Tabla N° 12.- Ejemplo de relevamiento de fallas	77
Tabla N° 13.- Resultados y clasificación del (PCI) GENERAL.....	80
Tabla N° 14.- Unidades de muestreo (IRI, PSI).....	83
Tabla N° 15.- Rango de rugosidad	85
Tabla N° 16.- Rango de rugosidad	86
Tabla N° 17.- Rango de rugosidad	86
Tabla N° 18.- Total de datos obtenidos de resultados del PSI	90
Tabla N° 19.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (IDA)	92
Tabla N° 20.- Datos obtenidos con la Viga Benkelman carril (VUELTA)	93
Tabla N° 21.- Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida).....	95
Tabla N° 22.- Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)	96
Tabla N° 23.- Resultados de todo el tramo de PCI.	100
Tabla N° 24.- Estados del pavimento en porcentaje	101
Tabla N° 25.- Resultado promedio del tramo evaluado en general	102
Tabla N° 26.- Porcentaje de fallas más representativas en general	103
Tabla N° 27.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (Ida)	105
Tabla N° 28.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (Vuelta).....	106
Tabla N° 29.- Resultado del tramo evaluado en general	106

Tabla N° 30.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (IDA)	107
Tabla N° 31.- Resultados del tramo por kilómetro evaluado (VUELTA)	108
Tabla N° 32.- Resultado promedio del tramo evaluado en general.....	108
Tabla N° 33.- Estados de serviciabilidad en porcentaje.....	109
Tabla N° 34.- Rango de relación IRI, PCI, PSI.....	110
Tabla N° 35.- Resultados del PCI, IRI, PSI.....	111
Tabla N° 36.- Tratamiento estadístico del PCI.	112
Tabla N° 37.- Resultados de la evaluación superficial por el método PCI	113
Tabla N° 38.- Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida).....	116
Tabla N° 39.- Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)	119
Tabla N° 40.- Tabla de clasificación viga benkelman	122
Tabla N° 41.- Frecuencias viga Benkelman carril Derecho.....	123
Tabla N° 42.- Frecuencias viga Benkelman carril Izquierdo	126
Tabla N° 43.- Intervención en base a rango PCI	129
Tabla N° 44.- Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.	131
Tabla N° 45.- Determinación de cantidad total por tipo de falla y severidad	132
Tabla N° 46.- Plan de mejoras de las fallas encontradas en el tramo vial	133
Tabla N° 47.- Cómputos métricos de mantenimiento	134
Tabla N° 48.- Presupuesto general	135

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica N°1: Niveles de investigación.....	7
Gráfica N°2: Resultados de todo el tramo general.....	101
Gráfica N°3: Estado de falla por unidad de muestreo.....	102
Gráfica N°4: Panel de fallas en general.....	103
Gráfica N°5: Estado del pavimento por kilómetro evaluado	105
Gráfica N°6: Estado del pavimento por kilómetro evaluado	106
Gráfica N°7: Resultados del tramo por kilómetro (IDA).....	107
Gráfica N°8: Resultados del tramo por kilómetro (VUELTA).....	108
Gráfica N°9: Estado del pavimento por unidad de muestra.....	109
Gráfica N°10: Diagrama de frecuencias del PCI	112
Gráfica N°11: Deflexiones máximas (ida)	117
Gráfica N°12: Radios de curvatura (ida).....	117
Gráfica N°13: Deflexiones máximas (vuelta)	120
Gráfica N°14: Radios de curvatura (vuelta).....	120
Gráfica N°15: Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril Derecho	123
Gráfica N°16: Diagrama de frecuencias viga Benkelman carril Derecho	126