

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA
CARRETERA A ERQUIS EN EL TRAMO TOMATITAS (CRUCE A
ERQUIS)–ERQUIS NORTE”**

Por:

GERARDO MAURICIO VACA VALDEZ

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 – 2024

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA
CARRETERA A ERQUIS EN EL TRAMO TOMATITAS (CRUCE A
ERQUIS)–ERQUIS NORTE”**

Por:

GERARDO MAURICIO VACA VALDEZ

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II (M. VÍAS)

Semestre II – 2024

TARIJA – BOLIVIA

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

Página

1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Justificación del proyecto.....	2
1.3.1. Justificación académica.....	2
1.3.2. Justificación sobre la aplicación técnica-práctica.....	3
1.3.3. Justificación e importancia social	3
1.4. Planteamiento del problema.....	3
1.4.1. Situación problemática.....	3
1.4.2. Delimitación del proyecto	4
1.4.2.1. Delimitación espacial	4
1.4.2.2. 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. Hipótesis.....	5
1.7. Identificación de las variables.....	6
1.7.1. Conceptualización de la variable	6
1.7.2. Operacionalización de la variable	6
1.8. Alcance y tipo de la investigación	6

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

Página

2.1. Marco conceptual	7
-----------------------------	---

2.1.1. Importancia del mantenimiento y rehabilitación de las carreteras.....	7
2.1.2. Curva de deterioro del pavimento	8
2.1.2.1. Etapas o fases del ciclo de un pavimento	8
2.1.2.1.1. Fase A. Construcción	8
2.1.2.1.2. Fase B. Deterioro lento y poco visible	9
2.1.2.1.3. Fase C. Deterioro acelerado y quiebre	9
2.1.2.1.4. Fase D. Pérdida total	10
2.1.3. Ciclo de vida de una carretera con y sin mantenimiento	10
2.1.4. El mantenimiento y el patrimonio vial.....	11
2.1.4.1. Clasificación de las operaciones de mantenimiento y rehabilitación vial.....	11
2.1.4.1.1. El mantenimiento rutinario	12
2.1.4.1.2. El mantenimiento periódico	13
2.1.4.1.3. El mantenimiento de urgencia.....	13
2.1.4.1.4. La rehabilitación.....	14
2.1.4.1.4.1. Rehabilitación superficial.....	15
2.1.4.1.4.2. Rehabilitación estructural.....	15
2.1.4.2. Planificación del mantenimiento y rehabilitación vial.....	16
2.1.4.2.1. Cuando intervenir.....	16
2.1.4.2.2. Tipo de intervención	16
2.1.4.3. Herramientas de apoyo a la planeación del mantenimiento vial.....	17
2.1.5. Necesidades de mantenimiento y rehabilitación	18
2.1.5.1. Mantenimiento del derecho de vía	19
2.1.5.2. Mantenimiento de los elementos de señalización y seguridad vial.....	20
2.1.5.3. Mantenimiento de calzadas pavimentadas	21

2.1.6. Relación entre la condición de las calzadas pavimentadas y las necesidades de mantenimiento y/o rehabilitación.....	21
2.1.7. Generalidades sobre los estudios de condición.....	23
2.1.7.1. Características funcionales de los pavimentos flexibles	24
2.1.7.2. Características estructurales de los pavimentos	25
2.1.7.3. Clasificación y cuantificación de los deterioros en pavimentos flexibles.....	25
2.1.7.4. Índice de Condición del Pavimento PCI	26
2.1.7.4.1. Rangos de calificación del PCI	27
2.1.7.4.2. Unidades de muestreo del PCI	27
2.1.7.4.3. Intervalo de muestreo para la inspección	28
2.1.7.4.4. Evaluación de la condición	29
2.1.7.4.5. Cálculo del PCI para las unidades de muestreo	29
2.1.7.5. Índice de Regularidad Internacional IRI	31
2.1.7.5.1. Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos	32
2.1.7.5.2. Escala de valores IRI del Banco Mundial	32
2.1.7.5.3. Clasificación del rango de rugosidad IRI.....	33
2.1.7.5.4. Rugosímetro Merlín	33
2.1.7.5.5. Metodología para la determinación del IRI con el Merlín.....	34
2.1.7.5.5.1. Histograma de la distribución de frecuencia.....	34
2.1.7.5.5.2. El tablero del Merlín	35
2.1.7.5.6. Cálculo de la rugosidad	36
2.1.7.5.6.1. Factor de corrección para el ajuste de “D”	36
2.1.7.5.6.2. Rugosidad en la escala del IRI	36
2.1.7.5.6.3. IRI característico	37
2.1.7.6. Evaluación estructural.....	37

2.1.7.6.1. La Viga Benkelman.....	38
2.1.7.6.2. Equipo para la medición de deflexiones	38
2.1.7.6.3. Procedimiento para la medición de deflexiones.....	39
2.1.7.6.4. Deflexión máxima.....	40
2.1.7.6.5. Deflexión media a la distancia de 50 cm	40
2.1.7.6.6. Factor de corrección por temperatura	41
2.1.7.6.7. Factor de corrección por estacionalidad.....	41
2.1.7.6.8. Deflexiones corregidas.....	41
2.1.7.6.9. Radio de curvatura	42
2.1.7.6.10. Deflexión admisible	42
2.1.7.6.11. Deflexión media	43
2.1.7.6.12. Deflexión característica.....	43
2.1.8. Técnicas para el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles.....	44
2.1.8.1. Técnicas para el mantenimiento rutinario de pavimentos flexibles	44
2.1.8.1.1. Tratamiento de grietas.....	44
2.1.8.1.2. Parcheo y bacheo.....	45
2.1.8.2. Técnicas para el mantenimiento periódico de pavimentos flexibles.....	47
2.1.8.2.1. Descripción de técnicas usuales de mantenimiento periódico	47
2.1.8.2.1.1. Sello tipo niebla.....	48
2.1.8.2.1.2. Sello de arena–asfalto	49
2.1.8.2.1.3. Tratamiento superficial	49
2.1.8.2.1.4. Lechada asfáltica.....	49
2.1.8.2.1.5. Sello del Cabo (“Cape seal”).....	50
2.1.8.2.1.6. Microaglomerado en frío.....	51
2.1.8.2.1.7. Microaglomerado en caliente	51

2.1.8.2.1.8. Fresado	52
2.1.8.3. Técnicas para la rehabilitación de pavimentos flexibles.....	53
2.1.8.3.1. Sobrecapa de refuerzo	53
2.1.8.3.2. Tratamiento previo al refuerzo.....	54
2.1.8.3.3. Oportunidad para el refuerzo	55
2.2. Marco normativo.....	55
2.3. Marco referencial	56
2.4. Análisis del aporte teórico.....	57

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Identificación de la zona de proyecto.....	58
3.2. Descripción	58
3.3. Localización	58
3.4. Criterios del diseño metodológico	60
3.4.1. Unidad de muestra.....	60
3.4.2. Población.....	60
3.4.3. Muestra.....	60
3.5. Levantamiento de información	61
3.5.1. Evaluación superficial del tramo.....	61
3.5.1.1. Dimensión de las unidades de muestreo	61
3.5.1.2. Intervalo de muestreo	62
3.5.1.3. Cálculo del PCI	62
3.5.1.3.1. Densidad de los daños.....	63
3.5.1.3.2. Valores deducidos	64
3.5.1.3.3. PCI de la unidad de muestra analizada	66
3.5.1.4. Cálculo del PCI de unidades de muestra adicionales.....	67

3.5.1.4.1. Selección de unidades de muestra adicionales.....	68
3.5.1.4.2. Recolección de datos en campo	68
3.5.1.4.3. Trabajo de gabinete	70
3.5.1.4.3.1. Densidad de los daños.....	71
3.5.1.4.3.2. Valores deducidos	72
3.5.1.4.3.3. PCI de la unidad de muestra adicional analizada.....	73
3.5.1.5. Resultados del PCI	74
3.5.2. Aplicación de la metodología IRI	76
3.5.2.1. Intervalo de muestreo	76
3.5.2.2. Obtención de datos de campo con el Rugosímetro de Merlín	77
3.5.2.3. Procedimiento de cálculo	78
3.5.2.3.1. Factor por corrección	79
3.5.2.3.2. Rango “D”	79
3.5.2.3.3. Corrección del rango “D”	80
3.5.2.3.4. Determinación del IRI para la progresiva 1+600 a 2+000.....	80
3.5.2.4. Resultados y clasificación final del IRI	80
3.5.3. Evaluación estructural del tramo.....	81
3.5.3.1. Dimensión de las unidades de muestreo	81
3.5.3.2. Intervalo de muestreo	81
3.5.3.3. Procedimiento para la toma de datos	82
3.5.3.4. Procedimiento de cálculo de la deflexión del pavimento.....	84
3.5.3.4.1. Deflexión máxima (Prog. 0+800)	84
3.5.3.4.2. Factor de corrección por temperatura	84
3.5.3.4.3. Factor de corrección por estacionalidad.....	84
3.5.3.4.4. Deflexión máxima corregida (Prog. 0+800)	85

3.5.3.4.5. Deflexión a 50 cm (Prog. 0+800).....	85
3.5.3.4.6. Deflexión corregida a 50 cm (Prog. 0+800)	85
3.5.3.4.7. Deflexión admisible	85
3.5.3.4.8. Deflexión característica.....	86
3.5.3.4.9. Radio de curvatura	86
3.5.3.4.10. Resultados de la Viga Benkelman.....	86
3.6. Planificación y programación del mantenimiento vial.....	88
3.6.1. Aplicación del software HDM-4 en el tramo de estudio.....	88
3.6.2. Base de datos para la aplicación del programa HDM-4.....	88
3.6.3. Estándares de mantenimiento.....	89
3.6.4. Criterios de intervención	89
3.6.5. Informe de resultados	90
3.6.6. Estado anual de la carretera.....	90
3.6.7. Evolución de la rugosidad	95
3.6.8. Calendario de actuaciones por año.....	96
3.6.9. Resumen de costes económicos totales anuales.....	99

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1. Análisis de resultados de la evaluación superficial.....	100
4.1.1. Análisis de resultados del IRI	101
4.2. Análisis de resultados de la evaluación estructural.....	102
4.3. Tratamiento estadístico del PCI	103
4.3.1. Estadística descriptiva.....	103
4.3.2. Estadística inferencial	103
4.4. Tratamiento estadístico del IRI	104
4.4.1. Estadística descriptiva.....	104

4.4.2. Estadística inferencial	105
4.5. Tratamiento estadístico de la evaluación estructural	106
4.5.1. Estadística descriptiva	106
4.5.2. Intervalo de confianza	108
4.5.3. Estadística inferencial	108
4.6. Análisis técnico–económico de la planificación realizada.....	110
4.7. Especificaciones técnicas de los trabajos de mantenimiento	111

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	115
5.2. Recomendaciones.....	116

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: Planillas de cálculo del PCI

ANEXO 2: Planillas de cálculo del IRI

ANEXO 3: Planillas de cálculo de la Viga Benkelman

ANEXO 4: Reporte fotográfico

ANEXO 5: Cartas de solicitud y respuesta

ANEXO 6: Análisis de precios unitarios

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Línea de tiempo del proyecto desarrollado	4
Tabla 1.2. Operacionalización de la variable	6
Tabla 2.1. Labores de mantenimiento y rehabilitación HDM-4	18
Tabla 2.2. Clasificación del PCI	27
Tabla 2.3. Longitudes de unidades de muestreo	27
Tabla 2.4. Unidades de muestra a inspeccionar	28
Tabla 2.5. Hoja de inspección de condiciones para unidad de muestra	29
Tabla 2.6. Formato para las iteraciones del cálculo del CDV	31
Tabla 2.7. Calificación del IRI	33
Tabla 2.8. Factor de corrección por estacionalidad (F_E)	41
Tabla 3.1. Ubicación de los puntos de inicio y fin del tramo de análisis	59
Tabla 3.2. Cálculo del tamaño de muestra	60
Tabla 3.3. Tamaño de muestra adoptado	61
Tabla 3.4. Hoja de inspección de condiciones para la unidad U64	63
Tabla 3.5. Valores deducidos tabulados Elevación–Hundimiento	64
Tabla 3.6. Resultados de densidades y valores deducidos	65
Tabla 3.7. Valores deducidos corregidos tabulados	66
Tabla 3.8. Valores deducidos corregidos VDC	67
Tabla 3.9. Registro de daños presentes en UMA 1	70
Tabla 3.10. Hoja de inspección de condiciones para la unidad UMA 1	71
Tabla 3.11. Densidad de los daños	71
Tabla 3.12. Valores deducidos	72
Tabla 3.13. Valores deducidos corregidos	73
Tabla 3.14. Resultados de la evaluación superficial	74
Tabla 3.15. Datos de campo con la Rueda de Merlín	78
Tabla 3.16. Frecuencias	79
Tabla 3.17. Resultados y clasificación IRI	80
Tabla 3.18. Resultados de la evaluación estructural por kilómetro	86
Tabla 3.19. Características del tramo	88
Tabla 3.20. Criterios de intervención adoptados	89

Tabla 3.21. Estado anual de la carretera	91
Tabla 3.22. Calendario de actuaciones (por año)	97
Tabla 3.23. Resumen de costes económicos totales anuales	99
Tabla 4.1. Resultados PCI	100
Tabla 4.2. Resultados IRI	101
Tabla 4.3. Resultados Viga Benkelman	102
Tabla 4.4. Distribución de frecuencias observadas fo	103
Tabla 4.5. Cálculo de frecuencias esperadas fe	103
Tabla 4.6. Determinación del χ^2 calculado	103
Tabla 4.7. Distribución de frecuencias observadas fo	104
Tabla 4.8. Cálculo de frecuencias esperadas fe	104
Tabla 4.9. Determinación del χ^2 calculado	105
Tabla 4.10. Distribución de frecuencias	106
Tabla 4.11. Resumen del análisis descriptivo	108

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Curva de deterioro típica para una carretera pavimentada	8
Figura 2.2. Diagrama de flujo del ciclo de vida “fatal y deseable”	10
Figura 2.3. Trabajos de mantenimiento rutinario	12
Figura 2.4. Trabajos de mantenimiento periódico	13
Figura 2.5. Mantenimiento de emergencia	14
Figura 2.6. Trabajos de rehabilitación vial	15
Figura 2.7. Modelo HDM-4	18
Figura 2.8. Control de vegetación en derecho de vía	19
Figura 2.9. Mantenimiento de señalización vertical	20
Figura 2.10. Tipos de tratamientos según la condición del pavimento	22
Figura 2.11. Evaluación de pavimentos mediante PCI	26
Figura 2.12. Escala de rugosidad IRI	32
Figura 2.13. Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín	33
Figura 2.14. Desviación del perfil del pavimento respecto a la cuerda promedio	34
Figura 2.15. Tablero Merlín	35

Figura 2.16. Esquema y principio de operación de la Viga Benkelman	38
Figura 2.17. Deflectómetro “Viga Benkelman”	39
Figura 2.18. Esquematzación del proceso de medición con la Viga Benkelman	40
Figura 2.19. Sellado de grietas	44
Figura 2.20. Parcheo	46
Figura 2.21. Sello tipo niebla	48
Figura 2.22. Sello de arena–asfalto	49
Figura 2.23. Lechada asfáltica	50
Figura 2.24. Cape seal	50
Figura 2.25. Textura superficial de un microaglomerado en caliente	52
Figura 2.26. Fresado	52
Figura 2.27. Recapado con mezcla asfáltica	54
Figura 3.1. Localización geográfica de la zona en estudio	58
Figura 3.2. Foto satelital de la zona en estudio	59
Figura 3.3. Esquema de la unidad de muestreo	61
Figura 3.4. Medición del área o longitud afectada según el tipo de falla	62
Figura 3.5. Recorrido para la selección de unidades adicionales	68
Figura 3.6. Parcheo	69
Figura 3.7. Hundimiento	69
Figura 3.8. Fisura longitudinal	70
Figura 3.9. Calibración del equipo Merlín	77
Figura 3.10. Toma de datos con el Rugosímetro de Merlín	77
Figura 3.11. Cargado para el posterior pesaje de volqueta	82
Figura 3.12. Marcado de distancias para sus respectivas lecturas	83
Figura 3.13. Colocación del equipo, registro de deflecciones y temperaturas	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 2.1. Histograma de distribución de frecuencias	34
Gráfico 3.1. Ábaco de valores deducidos Falla 4 U64	64
Gráfico 3.2. Ábaco de corrección de valores deducidos U64	66
Gráfico 3.3. Ábaco de valores deducidos Falla 4 UMA 1	72

Gráfico 3.4. Ábaco de corrección de valores deducidos UMA 1.....	73
Gráfico 3.5. Porcentaje de fallas	76
Gráfico 3.6. Histograma de las lecturas de campo.....	78
Gráfico 3.7. Deflectograma.....	87
Gráfico 3.8. Radios de curvatura.....	87
Gráfico 3.9. Evolución de la regularidad para el periodo de análisis	95
Gráfico 3.10. Evolución de la regularidad en el tiempo	96
Gráfico 4.1. Histograma y polígono de frecuencias.....	106
Gráfico 4.2. Polígono de frecuencias acumuladas (ojiva).....	107
Gráfico 4.3. Región de rechazo o no rechazo de la hipótesis nula.....	109