

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



**“EVALUACIÓN DEL ESTADO FUNCIONAL Y
ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, TRAMO
LAJAS LA MERCED-CANASMORO”**

Por:

UNIV. CARLOS WALTER CAMACHO MUÑOZ

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

SEMESTRE I - 2021

TARIJA – BOLIVIA

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

**“EVALUACIÓN DEL ESTADO FUNCIONAL Y
ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE, TRAMO
LAJAS LA MERCED-CANASMORO”**

Por:

UNIV.: CARLOS WALTER CAMACHO MUÑOZ

SEMESTRE I - 2021

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**DECANA a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

**VICEDECANO a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
M. Sc. Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....
Ing. Ada Gladys López Rueda

.....
Ing. Edwin Osvaldo Aguirre

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS:

Eres una mujer que simplemente me llena de orgullo, te amo y no habrá manera de devolverte tanto. Esta tesis es un logro más que llevo a cabo, y sin lugar a dudas fue gracias a ti, no sé en donde me encontraría de no ser por tu ayuda, tu apoyo, tu compañía y sobre todo tu amor incondicional.

Gracias MADRE.

AGRADECIMIENTOS:

Gracias a DIOS por permitirme tener y disfrutar de mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, por hacer posible que pueda cumplir con el desarrollo de mi tesis, gracias por creer y confiar en mí.

A mis docentes quienes me proporcionaron gran parte de mis conocimientos, gracias a su paciencia y enseñanza.

No fue sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, pero sobre todo a su apoyo, lo complicado de alcanzar esta meta se hizo menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, “familia donde la vida comienza y el amor nunca termina”.

ÍNDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	

CAPITULO I GENERALIDADES

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación del proyecto de aplicación	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación problemática	3
1.3.2. Problema.....	4
1.4. Objetivos de proyecto de aplicación	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	5
1.6. Identificación de las variables.....	5
1.6.1. Variable independiente	5
1.6.2. Variable dependiente	5
1.7. Alcance	5

CAPITULO II EVALUACIÓN FUNCIONAL Y ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

	Página
2.1. Definición de pavimento	7
2.1.1. Pavimento flexible	8
2.2. Definición de desempeño del pavimento	10
2.2.1. Indicadores de comportamiento.....	11

2.3. Evaluación funcional del pavimento flexible	11
2.3.1. Seguridad	12
2.3.2. Comodidad.....	12
2.3.3. Velocidad de tránsito	13
2.4. Fallas superficiales.....	13
2.4.1. Factores de evaluación.....	14
2.5. Métodos para la evaluación funcional del pavimento flexible	15
2.5.1. Evaluación de la superficie de ruedo	15
2.5.2. Índice de capacidad de servicio actual (PSI)	16
2.5.3. La serviciabilidad.....	17
2.5.4. La pérdida de fricción (IFI)	21
2.5.5. Círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento	24
2.5.6. Índice de Rugosidad Internacional (IRI)	25
2.6. Evaluación estructural de pavimento flexible	30
2.6.1. La viga Benkelman	32

**CAPITULO III
RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

	Página
3.1. Diseño metodológico	41
3.1.1. Componentes	41
3.2. Esquema de la perspectiva usada	42
3.3. Zona de estudio	43
3.3.1. Relevamiento de información.....	43
3.4. Evaluación funcional	45
3.5. Método de evaluación PSI (índice de serviciabilidad presente)	45
3.5.1. Población y muestra.....	47

3.5.2. Encuesta elaborada por mi persona tomando en cuenta el rango de clasificación de la AASHO.....	49
3.5.3. Análisis de los resultados.....	49
3.5.4. Resultados de la encuesta	50
3.5.5. Determinación del PSI.....	52
3.6. Ensayo con péndulo británico	53
3.6.1. Péndulo británico método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento.....	53
3.6.2. Procedimiento de ensayo	54
3.6.3. Cálculos desarrollados péndulo de fricción británico.....	56
3.7. Ensayo con círculo de arena	63
3.7.1. Círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento	63
3.7.2. Equipo y materiales empleados para el desarrollo del ensayo	64
3.8. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI).....	71
3.8.1. Personal para la determinación del Índice de Regularidad Internacional.....	72
3.8.2. Equipo y material de trabajo.....	72
3.8.3. Medición de fallas superficiales	73
3.8.4. Determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)	74
3.8.5. Metodología planteada.....	74
3.8.6. Estimación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)	77
3.8.7. Descripción de la estimación del IRI.....	77
3.8.8. Cálculos y Resultados del IRI.....	77
3.8.9. Análisis de los resultados obtenidos	97
3.9. Evaluación estructural.....	98
3.9.1. Deflexión y determinación del radio de curvatura del pavimento flexible empleando la viga Benkelman–Procedimiento	98
3.9.2. Procedimiento en campo para el desarrollo de la viga Benkelman	101
3.9.3. Análisis de resultados de la evaluación estructural	113

3.10. Propuesta de alternativa de solución.....	114
3.10.1. Cálculo diseño del recapado	114
3.10.2. Cómputos métricos.	115
3.10.3. Costo de la obra.....	116

CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones	117
4.2. Recomendaciones	119
BIBLIOGRAFÍA	120

ANEXOS

Anexo I: Solicitudes enviadas

Anexo II: Ensayos realizados

Anexo III: Memoria fotográfica

Anexo IV: Especificaciones técnicas

Anexo V: Análisis de precios unitarios

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1: Clasificación del índice de serviciabilidad	18
Tabla N° 2: Utilización de las medidas de deflexión	39
Tabla N° 3: Población del trabajo	41
Tabla N° 4: Paquete estructural del tramo.....	44
Tabla N° 5: Apreciaciones en el terreno de la superficie del pavimento para emplear el método del PSI	46
Tabla N° 6: Rango de clasificación del PSI (Present Service Index).....	47
Tabla N° 7: ¿Cómo califica usted la rugosidad longitudinal en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?	50
Tabla N° 8: ¿Según su apreciación, ¿cómo califica la intensidad de grietas y parches en el tramo Lajas la Merced-Canasmoro?	51
Tabla N° 9: ¿Usted percibe fallas transversales como deformaciones y ahuellamientos en el pavimento flexible del tramo Lajas la Merced-Canasmoro?	52
Tabla N° 10: Resumen de los coeficientes ponderados.....	53
Tabla N° 11: Consideraciones para la aplicación del índice de fricción.....	57
Tabla N° 12: Datos de la evaluación superficial del pavimento I.F.I. (Índice de fricción internacional).....	58
Tabla N° 13: Estimación de evaluación superficial del pavimento I.F.I. (Índice de fricción internacional).....	59
Tabla N° 14: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos I.F.I. (Índice de fricción internacional).....	60
Tabla N° 15: Resumen de los cálculos de la estimación de evaluación superficial del pavimento-I.F.I. (Índice de fricción internacional).....	61
Tabla N° 16: Cálculo de la fricción a cualquier velocidad.....	62
Tabla N° 17: Datos de la evaluación superficial del pavimento círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento.....	67
Tabla N° 18: Tratamiento estadístico mediante error porcentual del ensayo círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento	68

Tabla N° 19: Resultados del ensayo círculo de arena, método para determinar la textura superficial del pavimento.....	70
Tabla N° 20: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+060-0+110	78
Tabla N° 21: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+280-0+330	80
Tabla N° 22: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 1+000-1+050	82
Tabla N° 23: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+290-2+340	84
Tabla N° 24: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+890-2+940	86
Tabla N° 25: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 3+870-3+920	88
Tabla N° 26: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+070-4+120	90
Tabla N° 27: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+660-4+710	92
Tabla N° 28: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 5+680-5+730	94
Tabla N° 29: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 6+310-6+325	96
Tabla N° 30: Cuadro distancia de ensayo de deflectometría.....	99
Tabla N° 31: Datos de los parámetros geométricos para el desarrollo de la viga Benkelman	102
Tabla N° 32: Mediciones efectuadas en campo para el desarrollo de la viga Benkelman Carril: Derecho (ida).....	103
Tabla N° 33: Mediciones efectuadas en campo para el desarrollo de la viga Benkelman Carril: Izquierdo (vuelta)	104
Tabla N° 34: Rangos de la evaluación estructural	106
Tabla N° 35: Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho (ida).....	107
Tabla N° 36: Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo (vuelta)	110
Tabla N° 37: Valores promedio de deflexiones en todo el tramo.	113
Tabla N° 38: Porcentaje de resultados en todo el tramo.	113
Tabla N° 39: Cuadro comparativo de los métodos empleados	114
Tabla N° 40: Cómputos métricos recapado del tramo	115
Tabla N° 41: Cómputos métricos señalización horizontal.	116
Tabla N° 42: Cómputos métricos mantenimiento de cunetas	116
Tabla N° 43: Presupuesto general.	116

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1: Sección transversal de una vía.....	8
Figura N° 2: Curvas típicas de deterioro del pavimento	15
Figura N° 3: Concepto de rendimiento del pavimento utilizando el índice de capacidad de servicio actual (PSI)	17
Figura N° 4: Tendencia en el comportamiento de los pavimentos.....	20
Figura N° 5: Esquema del BPN (British Pendulum Number).....	21
Figura N° 6: Diferencia entre microtextura y macrotextura.....	23
Figura N° 7: Esquema de la medida de la macrotextura de un pavimento.....	24
Figura N° 8: Modelo de cuarto de carro	26
Figura N° 9: Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías.....	28
Figura N° 10: Avance del deterioro de un camino respecto al tiempo.....	29
Figura N° 11: Esquema del empleo del uso de la viga Benkelman	32
Figura N° 12: Geometría y los parámetros del modelo de Hogg	33
Figura N° 13: Esquema de la viga Benkelman.....	35
Figura N° 14: Configuración geométrica del sistema de carga.....	36
Figura N° 15: Esquema del proceso de medición	37
Figura N° 16: Ubicación del tramo de estudio	43
Figura N° 18: Espesores del paquete estructural.....	44
Figura N° 17: Representación porcentual pregunta 1.....	50
Figura N° 18: Representación porcentual pregunta 2.....	51
Figura N° 19: Representación porcentual pregunta 3.....	52
Figura N° 20: Péndulo de fricción británico.....	54
Figura N° 21: Preparación del péndulo de fricción británico.....	55
Figura N° 22: Ejecución del ensayo del péndulo de fricción británico.....	56

Figura N° 23: Corrección a aplicar al coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas.	57
Figura N° 24: Desarrollo del ensayo del círculo de arena.....	66
Figura N° 25: Limpieza de la superficie para el ensayo del círculo de arena	66
Figura N° 26: Escala estándar empleada para la cuantificación del IRI	71
Figura N° 27: Personal empleado para la estimación de los datos del IRI.	72
Figura N° 28: Equipo y material de trabajo empleado para la toma de datos	73
Figura N° 29: Instalación del equipo (Estación total)	75
Figura N° 30: Calibración del equipo topográfico y determinación de los puntos	75
Figura N° 31: Estimación de los puntos específicos cada metro aproximadamente con la ayuda del prisma	76
Figura N° 32: Determinación de los puntos de cada tramo.....	76
Figura N° 34: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+060-0+110.....	79
Figura N° 35: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 0+280-0+330.....	81
Figura N° 36: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 1+000-1+050.....	83
Figura N° 37: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+290-2+340.....	85
Figura N° 38: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 2+890-2+940.....	87
Figura N° 39: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 3+870-3+920.....	89
Figura N° 40: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+070-4+120.....	91
Figura N° 41: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 4+660-4+710.....	93
Figura N° 42: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 5+680-5+730.....	95
Figura N° 43: Estimación del Índice de Regularidad Internacional 6+310-6+325	97
Figura N° 44: Posición inicial de la viga Benkelman.....	99
Figura N° 45: Esquema del proceso de medición	100
Figura N° 46: Lectura de dial de la viga Benkelman	101
Figura N° 47: Ajuste de la viga Benkelman km 07 + 800	101
Figura N° 47: Última lectura del dial deformación cero	102

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfica N° 1: Corrección por temperatura para las medidas de BPN con el péndulo de fricción	62
Gráfica N° 2: Curva de fricción – velocidad de deslizamiento	63
Gráfica N° 3: Relación cotas vs distancia 0+060-0+110	79
Gráfica N° 4: Relación cotas vs distancia 0+280-0+330	81
Gráfica N° 5: Relación cotas vs distancia 1+000-1+050	83
Gráfica N° 6: Relación cotas vs distancia 2+290-2+340	85
Gráfica N° 7: Relación cotas vs distancia 2+890-2+940	87
Gráfica N° 8: Relación cotas vs distancia 3+870-3+920	89
Gráfica N° 9: Relación cotas vs distancia 4+070-4+120	91
Gráfica N° 10: Relación cotas vs distancia 4+660-4+710	93
Gráfica N° 11: Relación cotas vs distancia 5+680-5+730	95
Gráfica N° 12: Relación cotas vs distancia 6+310-6+325	96
Gráfica N° 13: Deflexiones máximas carril derecho (Ida).....	109
Gráfica N° 14: Radios de curvatura carril derecho (Ida).....	109
Gráfica N° 15: Deflexiones máximas carril izquierdo (Vuelta).....	112
Gráfica N° 16: Radios de curvatura carril izquierdo (Vuelta).....	112