

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



**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DE LA  
VÍA SAN LORENCITO – CRUCE ISCAYACHI”**

**Por:**

**YEFERSSON ALFREDO ZEBALLOS ESTRADA**

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 I - 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DE LA  
VÍA SAN LORENCITO – CRUCE ISCAYACHI”**

**Por:**

**YEFERSSON ALFREDO ZEBALLOS ESTRADA**

**SEMESTRE I – 2022**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Para mi esposa, su madre y mis pequeñas mellizas Candelaria y Guillermina por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y también a largo de mi vida y a su vez a todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Situación problémica.....	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. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	4
1.6. Operacionalización de las variables.....	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.7. Identificación del tipo de investigación.....	5
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral.....	5
1.8.1. Unidad de estudio.....	5
1.8.2. Población.....	5
1.8.3. Muestra.....	5
1.8.4. Selección y técnicas de muestreo.....	6
1.9. Métodos y técnicas empleadas.....	6
1.9.1. Métodos.....	6
1.9.2. Técnicas.....	6
1.10. Procedimiento de la información.....	9
1.11. Alcance del estudio.....	9

## CAPÍTULO II

### EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

	Página
2.1. Estado de conocimiento.....	10
2.2. Antecedentes.....	10
2.3. Definición de pavimentos.....	11
2.4. Características de un pavimento.....	11
2.5. Componentes de un pavimento flexible.....	12
2.5.1. Capa subrasante.....	12
2.5.2. Capa subbase.....	13
2.5.3. Capa base.....	14
2.5.4. Carpeta asfáltica.....	15
2.6. Fallas en pavimentos flexibles.....	16
2.6.1. Fallas estructurales.....	17
2.6.2. Fallas superficiales.....	17
2.7. Evaluación de pavimentos.....	18
2.7.1. Importancia de la evaluación de pavimentos.....	19
2.7.2. Componentes de la evaluación de pavimentos.....	19
2.8. Evaluación superficial de pavimentos flexibles.....	20
2.8.1. Índice de condición del pavimento (PCI).....	20
2.8.1.1. Metodología de cálculo PCI en vías con capa de rodadura asfáltica.....	27
2.8.1.2. Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento.....	29
2.8.1.3. Descripción de las fallas para determinar el PCI.....	30
2.8.2. Índice de regularidad internacional (IRI).....	43
2.8.3. Índice de fricción internacional (IFI).....	52
2.8.3.1. Metodología de cálculo del IFI.....	56
2.8.4. Índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).....	58
2.9. Evaluación estructural de pavimentos flexibles.....	60
2.9.1 Evaluación con Viga Benkelman.....	60
2.9.2 Calicatas o pozos a cielo abierto.....	70

### CAPÍTULO III

#### EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL TRAMO EN ESTUDIO

	Página
3.1. Ubicación del tramo.....	71
3.2. Características del tramo en estudio.....	73
3.3. Evaluación superficial.....	74
3.3.1. Determinación del índice de condición del pavimento (PCI).....	74
3.3.2. Determinación del índice de regularidad internacional (IRI).....	86
3.3.3. Determinación del índice de serviciabilidad del pavimento (PSI).....	92
3.3.4. Determinación de la macrotextura con la mancha de arena.....	94
3.3.5. Determinación de la microtextura con el péndulo británico.....	96
3.3.6. Determinación del índice de fricción internacional (IFI).....	98
3.4. Evaluación estructural.....	103
3.4.1. Método no destructivo con la viga Benkelman.....	103
3.4.2. Método destructivo con la extracción de núcleo.....	107
3.4.2.1. Determinación de las propiedades Marshall.....	109
3.4.2.2. Extracción centrífuga.....	113
3.4.2.3. Verificación granulométrica.....	114
3.4.2.4 Calicata o pozo a cielo abierto	115

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

	Página
4.1. Análisis final de la evaluación superficial.....	116
4.1.1. Análisis de resultados por el método PCI.....	116
4.1.2. Análisis de resultados por el método IRI (Rueda de Merlín) .....	118
4.1.3. Análisis de resultados por el método PSI.....	119
4.1.4. Análisis de resultados de la macrotextura.....	120
4.1.5. Análisis de resultados de la microtextura.....	123
4.1.6. Análisis de resultados del método IFI.....	125
4.2. Análisis final de la evaluación estructural.....	126
4.2.1. Análisis de resultados por el método no destructivo.....	126
4.2.2. Análisis de resultados por el método destructivo.....	128
4.2.2.1. Análisis de resultados de las propiedades Marshall.....	129
4.2.2.2. Análisis de resultados de las extracciones centrífugas.....	132

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	Página
5.1. Conclusiones.....	137
5.2. Recomendaciones.....	139

## **BIBLIOGRAFÍA**

### **ANEXOS**

- Anexo 1. Ábacos y planillas para el cálculo del PCI
- Anexo 2. Planillas de evaluación método IRI
- Anexo 3. Planillas IFI, macrotextura y microtextura
- Anexo 4. Planillas de evaluación estructural no destructivo
- Anexo 5. Planillas de evaluación estructural destructivo
- Anexo 6. Análisis de costos

### **ÍNDICE DE TABLAS**

	Página
Tabla 1.1 Operacionalización de la variable independiente.....	5
Tabla 2.1. Requisitos para subbase granular.....	14
Tabla 2.2. Requisito para base granular .....	15
Tabla 2.3. Rangos de calificación del PCI .....	21
Tabla 2.4. Longitudes de unidades de muestreo .....	23
Tabla 2.5. Planilla de datos para determinar CDV.....	29
Tabla 2.6. Niveles de severidad para huecos.....	41
Tabla 2.7. Tablero Merlin.....	49
Tabla 2.8. Formato de planilla para toma de datos.....	50
Tabla 2.9. Valores de fricción con el Péndulo Británico.....	58
Tabla 2.10. Textura en pavimentos para el círculo de arena.....	58
Tabla 2.11. Niveles de aceptabilidad para las diferentes correlaciones.....	60
Tabla 2.12. Recomendaciones del punto de ensayo sobre el pavimento.....	61
Tabla 2.13. Factor de corrección por estacionalidad.....	66
Tabla 2.14. Significado ecuaciones de deflexión característica.....	68
Tabla 3.1. Longitudes de unidades de muestreo asfáltico .....	74
Tabla 3.2. Muestras seleccionadas para el PCI prog. 0+000 – 10+000.....	76



Tabla 3.3. Muestras seleccionadas para el PCI prog. 10+000 - 11+000.....	78
Tabla 3.4. Planilla de recolección de datos para el PCI.....	79
Tabla 3.5. Cálculo de densidad y valores deducidos por fallas.....	80
Tabla 3.6. Cálculo del PCI en un pavimento flexible.....	82
Tabla 3.7. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación.....	83
Tabla 3.8. Resultados PCI (unidad 48) .....	83
Tabla 3.9. Resultados PCI progresivas 0+000 a 2+000.....	84
Tabla 3.10. Resultados PCI progresivas 2+000 a 4+000.....	84
Tabla 3.11. Resultados PCI progresivas 4+000 a 6+000.....	85
Tabla 3.12. Resultados PCI progresivas 6+000 a 8+000.....	85
Tabla 3.13. Resultados PCI progresivas 8+000 a 10+000.....	86
Tabla 3.14. Resultados PCI progresivas 10+000 a 11+000.....	86
Tabla 3.15. Datos de campo con la rueda de Merlín.....	90
Tabla 3.16. Frecuencias obtenidas del histograma de datos Merlín.....	91
Tabla 3.17. Resultados IRI por kilómetro.....	92
Tabla 3.18. Resultados PSI por kilómetro.....	93
Tabla 3.19. Resultado de la macrotextura de la progresiva, ejemplo.....	95
Tabla 3.20. Resultados de la macrotextura.....	96
Tabla 3.21. Resultados de la microtextura.....	98
Tabla 3.22. Datos de fricción corregidos por temperatura del pavimento.....	99
Tabla 3.23. Valores para graficar la curva " fricción vs velocidad".....	101
Tabla 3.24. Resultados del Índice de Fricción internacional (I.F.I.) .....	102
Tabla 3.25. Proceso de cálculo de Do y RC.....	105
Tabla 3.26. Proceso de cálculo de deflexiones y radios de curvatura.....	105
Tabla 3.27. Resultados de deflexiones y radios de curvatura del tramo.....	107
Tabla 3.28. Disposición de los núcleos extraídos.....	108
Tabla 3.29. Datos y cálculos de las propiedades Marshall, sentido de ida.....	112
Tabla 3.30. Datos y cálculos de las propiedades Marshall, sentido de vuelta.....	112
Tabla 3.31. Resultados de las propiedades Marshall.....	113
Tabla 3.32. Resultados finales de la extracción centrífuga.....	115
Tabla 4.1. Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación.....	116

Tabla 4.2. Calificación PCI por kilómetro del tramo.....	117
Tabla 4.3. Calificación PCI por secciones del tramo.....	117
Tabla 4.4. Calificación PCI del proyecto.....	118
Tabla 4.5. Clasificación de rangos de regularidad.....	118
Tabla 4.6. Calificación IRI por kilómetro.....	119
Tabla 4.7. Calificación IRI del proyecto.....	119
Tabla 4.8. Calificación PSI por kilómetro.....	120
Tabla 4.9. Calificación PSI del proyecto.....	120
Tabla 4.10. Calificación de la macrotextura de los carriles ida y vuelta.....	121
Tabla 4.11. Calificación de la macrotextura del proyecto.....	122
Tabla 4.12. Calificación de la microtextura de los carriles ida y vuelta.....	123
Tabla 4.13. Calificación de la microtextura del proyecto.....	124
Tabla 4.14. Resultados del Índice de Fricción internacional (I.F.I.) .....	125
Tabla 4.15. Resultado final IFI del proyecto.....	126
Tabla 4.16. Resultados de deflexiones y radios de curvatura del tramo.....	127
Tabla 4.17. Resultados de las propiedades Marshall.....	129
Tabla 4.18. Validación de resultados de las propiedades Marshall.....	132
Tabla 4.19. Resultados finales de la extracción centrífuga.....	133
Tabla 4.20. Valoración de resultados finales del centrífugo.....	136

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Cinta métrica de 50 m y flexómetro.....	6
Figura 1.2. Rugosímetro de Merlín.....	7
Figura 1.3. Péndulo británico y equipo de círculo de arena.....	7
Figura 1.4. Deflectómetro Benkelman.....	8
Figura 1.5. Extractor de núcleos.....	8
Figura 1.6. Equipo de Marshall.....	9
Figura 2.1. Capas de un pavimento flexible.....	11
Figura 2.2. Resumen de las fallas en pavimentos flexibles.....	18
Figura 2.3. Severidad de la falla “piel de cocodrilo” .....	32
Figura 2.4. Severidad de la falla “exudación” .....	33
Figura 2.5. Severidad de la falla “fisuras en bloque” .....	34
Figura 2.6. Severidad de la falla “fisura de borde” .....	35
Figura 2.7. Severidad de la falla “desnivel carril – berma” .....	36
Figura 2.8. Severidad de la falla “fisuras longitudinales y transversales” .....	38
Figura 2.9. Severidad de la falla “parches” .....	39
Figura 2.10. Severidad de la falla “agregado pulido” .....	40
Figura 2.11. Severidad de la falla “huecos o baches” .....	42
Figura 2.12. Severidad de la falla “peladura por intemperismo” .....	43
Figura 2.13. Esquema del rugosímetro de Merlín.....	46
Figura 2.14. Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.....	47
Figura 2.15. Histograma de la distribución de frecuencias.....	48
Figura 2.16. Rugosímetro de Merlín empleado para los ensayos.....	52
Figura 2.17. Diferencia entre microtextura y macrotextura.....	53
Figura 2.18. Equipo péndulo británico.....	54
Figura 2.19. Esquema del péndulo británico.....	55
Figura 2.20. Círculo de arena.....	55
Figura 2.21. Viga Benkelman.....	60
Figura 2.22. Viga coincidente con el centro de las llantas.....	62
Figura 2.23. Configuración geométrica del sistema de carga.....	62

Figura 2.24. Posiciones adoptadas por el vehículo de carga.....	63
Figura 2.25. Significado cualitativo de las diferentes curvas de deflexiones.....	67
Figura 2.26. Elaboración de una calicata	70
Figura 3.1. Mapa político del departamento de Tarija.....	71
Figura 3.2. Tramo "San Lorencito – cruce Iscayachi" .....	72
Figura 3.3. Medición de fallas superficiales.....	79
Figura 3.4. Ejecución del ensayo, operador y auxiliar.....	87
Figura 3.5. Lectura y toma de datos con el equipo Merlín.....	88
Figura 3.6. Operador eleva el equipo Merlín a una distancia constante.....	89
Figura 3.7. Realización de la práctica de la mancha de arena.....	94
Figura 3.8. Preparando el péndulo británico para realizar el ensayo.....	97
Figura 3.9. Lectura de la resistencia al patinaje con el péndulo británico.....	97
Figura 3.10. Papeleta del pesaje de la volqueta.....	103
Figura 3.11. Calibración en 0 el del extensómetro digital de la viga Benkelman	104
Figura 3.12. Lectura de recuperación del pavimento cuando avanza la volqueta	104
Figura 3.13. Extracción de núcleo del pavimento.....	108
Figura 3.14. Espesor de la muestra obtenida.....	109
Figura 3.15. Pesaje de las muestras en seco.....	110
Figura 3.16. Pesaje de las muestras superficialmente secas.....	110
Figura 3.17. Pesaje de las muestras sumergidas en agua.....	111
Figura 3.18. Rotura de núcleos extraídos.....	111
Figura 3.19. Separación del ligante y el agregado con el equipo de centrifugo...	113
Figura 3.20. Agregado obtenido luego del proceso de centrifugación.....	114
Figura 3.21. Ensayo de granulometría.....	114
Figura 3.2.2. Capas estructurales de la vía	115

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 3.1. Curvas de corrección del valor deducido para pavimentos.....	82
Gráfico 3.2. Corrección por temperatura de la fricción.....	99
Gráfico 3.3. Variación de la fricción en función de la velocidad.....	102
Gráfico 3.4. Deflexiones máximas del 0+000 al 1+000 ida.....	106
Gráfico 3.5. Radios de curvatura del 0+000 al 1+000 ida.....	106
Gráfico 4.1. Comportamiento de la macrotextura para ida y vuelta.....	122
Gráfico 4.2. Comportamiento de la microtextura para ida y vuelta.....	124
Gráfico 4.3. Comportamiento de los resultados I.F.I. ida y vuelta.....	125
Gráfico 4.4. Resultados de deflexiones características del tramo ida y vuelta....	127
Gráfico 4.5. Resultados de radios de curvatura características del tramo.....	128
Gráfico 4.6. Resultados de la densidad Marshall.....	129
Gráfico 4.7. Resultados de la estabilidad Marshall.....	130
Gráfico 4.8. Resultados de la fluencia Marshall.....	131
Gráfico 4.9. Variación del contenido del ligante del tramo ida y vuelta.....	133
Gráfico 4.10. Curvas granulométricas de núcleos extraídos del carril de ida.....	134
Gráfico 4.11. Curvas granulométricas de núcleos extraídos del carril de vuelta..	135