

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



“EVALUACION SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL TRAMO
CANALETAS – ENTRE RIOS”

Por:

SIRLEN MERI PRIETO CABELLO

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

SEMESTRE I - 2025
TARIJA - BOLIVIA

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

“EVALUACION SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL TRAMO
CANALETAS – ENTRE RIOS”

Por:

SIRLEN MERI PRIETO CABELLO

SEMESTRE I - 2025

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA:

Con profundo cariño y amor le dedico:

A mis padres **Crispín** y **Luci**, por su inmenso cariño e invaluable amor, sacrificio y apoyo incondicional en mis estudios y en cada paso de mi vida, a ustedes les debo todo lo que soy, gracias por ese ing. Por delante de mi nombre.
¡Los amo!

A mi bebe Alessia Nicol por impulsarme a seguir luchando por mis sueños.

A mis hermanos: Neida, Ivar, Miguel, Lili y Daniela, por sus nobles deseos y apoyo incondicional.

A mis abuelos por regalarme a tan maravillosos padres.
¡Muchas gracias!

ÍNDICE

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

	Página
1.1	Introducción..... 1
1.2	Justificación..... 3
1.2.1	Justificación académica..... 3
1.2.2	Justificación técnica – práctica..... 3
1.2.3	Justificación social 3
1.3	Planteamiento del problema 4
1.3.1	Situación problemática..... 4
1.3.2	Problema..... 5
1.3.3	Delimitación 5
1.4	Objetivos 5
1.4.1	General 5
1.4.2	Específico 5
1.5	Hipótesis..... 6
1.6	Variable 6
1.7	Alcance de la investigación 6

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES SOBRE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO

	Página
2.1	Pavimento flexible..... 8
2.2	Componentes de un pavimento 8

2.2.1	Sub rasante	8
2.2.2	Sub-base	9
2.2.3	Base granular.....	9
2.2.4	Carpeta asfáltica	9
2.3	Comportamiento estructural de los pavimentos	9
2.4	Evaluación de pavimentos.....	10
2.4.1	Tipos de evaluación.....	11
2.4.2	Evaluación superficial	11
2.4.2.1	PCI (Índice de Condición del Pavimento).....	12
2.4.2.1.1	Materiales e instrumentos.....	13
2.4.2.1.2	Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.....	15
2.4.2.1.3	Determinar PCI por unidad de muestra	15
2.4.2.1.4	Determinar PCI de la sección.....	17
2.4.2.1.5	Tipos de fallas	18
2.4.2.2	PSI (Índice de Serviciabilidad Presente)	40
2.4.2.3	IRI (Índice de rugosidad internacional).....	44
2.4.2.3.1	Método IRI con el rugosímetro de Merlín.....	45
2.4.2.3.2	Metodología para determinación del IRI con rugosímetro de Merlín.	46
2.4.2.3.3	Histograma de la distribución de frecuencias.....	47
2.4.2.3.4	Correlaciones D versus IRI.	48
2.4.2.3.5	Esquema y representación de las partes de un equipo Merlín.	48
2.4.3	Evaluación estructural	50
2.4.3.1	Viga benkelman.....	51
2.4.3.1.1	Equipo requerido.	52
2.4.3.1.2	Procedimiento de la medición.	52

2.4.3.1.3	Cálculo de deflexiones	56
2.4.3.1.4	Cálculo del radio de curvatura.....	57
2.5	Alternativas de Solución.....	58
2.5.1	Bacheo superficial con mezcla en caliente.....	58
2.5.2	Bacheo profundo	60
2.5.3	Sellado de fisuras y grietas.....	62
2.5.4	Reconstrucción de bases y subbases.....	64
2.5.5	Capa asfáltica de refuerzo	66
2.5.6	Fresado superficial de pavimento asfáltico	68
2.5.7	Refuerzo de concreto asfáltico	70
2.6	Marco normativo	79
2.7	Marco referencial.....	79
2.8	Posición del autor respecto de los marcos seleccionados	80

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRACTICA DE LA EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL EN EL TRAMO CANALETAS – ENTRE RIOS

		Página
3.1	Ubicación.....	81
3.1.1	Características del tramo en estudio	84
3.2	Evaluación superficial del tramo	86
3.2.1	Procedimiento de aplicación del método PCI.....	86
3.2.1.1	Unidades de muestreo:	86
3.2.1.2	Procedimiento de cálculo	89
3.2.2	Procedimiento de aplicación del método IRI.	96
3.2.2.1	Procedimiento de cálculo	98
3.2.3	Procedimiento de aplicación del método PSI.....	102

3.2.3.1	Procedimiento de cálculo del método PSI.....	102
3.3	Evaluación Estructural del tramo Canaletas – Entre Ríos.....	106
3.3.1	Procedimiento de aplicación del método Viga Benkelman.....	106
3.3.1.1	Procedimiento de cálculo de deflexiones con la Viga Benkelman.....	107
3.4	Propuesta de solución al tramo Canaletas - Entre Ríos.....	116
3.4.1	Refuerzo con concreto asfáltico.	116

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DE LOS DATOS OBSERVADOS TRAMO CANALETAS – ENTRE RIOS

	Página
4.1	Resultados evaluación superficial 127
4.1.1	Resultados método PCI. 127
4.1.1.1	Análisis de los resultados del método PCI. 128
4.1.2	Resultados del método IRI 132
4.1.2.1	Análisis de los resultados del método IRI. 134
4.1.3	Resultados del método PSI..... 135
4.1.3.1	Análisis de los resultados del método PSI..... 136
4.2	Prueba de hipótesis evaluación superficial 137
4.3	Resultados evaluación estructural 140
4.3.1	Resultados del método Viga Benkelman..... 140
4.3.2	Análisis de los resultados del método Viga Benkelman..... 148
4.4	Prueba de hipótesis evaluación estructural 149
4.5	Alternativa de solución, refuerzo de concreto asfáltico 151
4.5.1	Cómputos métricos..... 151
4.5.2	Presupuesto total..... 151
4.5.3	Análisis de alternativa de solución 151

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones.....	152
5.2 Recomendaciones	154

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO I Cálculos PCI.

ANEXO II Cálculos IRI.

ANEXO III Cálculos PSI.

ANEXO IV Cálculos VIGA BENKELMAN.

ANEXO V Prueba de hipótesis

ANEXO VI Refuerzo de concreto asfáltico

ANEXO VII Fotos

PLANO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Fallas existentes en el tramo Canaletas – Entre Ríos.....	4
Figura 2 Esquema típico del paquete estructural de un pavimento flexible	8
Figura 3 Comportamiento estructural de los pavimentos	10
Figura 4 Curvas de corrección del valor deducido (CDV) para pavimentos flexibles....	17
Figura 5 Resumen de fallas en pavimentos flexibles	19
Figura 6 Piel de cocodrilo de severidad media.....	21
Figura 7 Grietas en bloque de alta severidad.....	23
Figura 8 Grieta de borde de severidad media.....	25
Figura 9 Grietas longitudinales y transversales de baja severidad.	27
Figura 10 Abultamientos y hundimientos de severidad media	29
Figura 11 Depresión de baja severidad.	31
Figura 12 Ejemplo de hinchamiento.....	32
Figura 13 Ejemplo de huecos	34
Figura 14 Exudación de baja severidad.....	36
Figura 15 Pulimento de agregados	37
Figura 16 Desnivel carril/berma de baja severidad.	38
Figura 17 Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad.....	40
Figura 18 Índice de Serviciabilidad.....	41
Figura 19 Pérdida de la capacidad estructural después de tiempo y tránsito.....	43
Figura 20 Esquema del rugosímetro de merlín.	46
Figura 21 Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio.	47
Figura 22 Histograma de la distribución de frecuencias	47
Figura 23 Esquema del rugosímetro Merlín.....	49
Figura 24 Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.	52
Figura 25 Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.	53
Figura 26 Geometría de colocación de la viga Benkelman.	54
Figura 27 Procedimiento de medición de deflexión.....	55
figura 28 Abaco diseño de número estructural	73
figura 29 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a ₁ ”.	75

figura 30 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a ₂ ”.....	76
figura 31 Ábaco para estimar el número estructural de la sub-base granular “a ₃ ”.....	77
Figura 32 Mapa político del departamento de Tarija	81
Figura 33 Inicio del tramo del proyecto.	82
Figura 34 Fin del tramo del proyecto.	83
Figura 35 Espesor del paquete estructural.....	85
Figura 36 Sección en estudio.....	87
Figura 37 Curva de valor deducido de fisura Piel de cocodrilo.	91
Figura 38 Curva de valor deducido de fisura Exudación.	91
Figura 39 Curva de valor deducido de fisura Abultamientos y Hundimientos	92
Figura 40 Curva de valor deducido de fisura longitudinales y transversales	92
Figura 41 Curva de valor deducido de fisura Parches.....	93
Figura 42 Curva de valor deducido de fisura Huecos	93
Figura 43 Curva para valor deducido corregido.....	94
Figura 44 Planilla para levantamiento de datos con Merlín.	97
figura 45 Abaco diseño de número estructural (Canaletas – Entre Ríos).....	121
figura 46 Ábaco para estimar el número estructural de la carpeta asfáltica “a ₁ ”.	122
figura 47 Ábaco para estimar el número estructural de la capa base granular “a ₂ ”.....	123
figura 48 Ábaco para estimar el coeficiente estructural de la sub-base granular “a ₃ ”...	124

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Rangos de clasificación del PCI.....	12
Tabla 2 Planilla de registro de datos.....	14
Tabla 3 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	15
Tabla 4 Niveles de severidad para huecos.....	33
Tabla 5 Calificación del índice de serviciabilidad presente según Aashto.	44
Tabla 6 Distancias recomendadas a emplear.	53
Tabla 7 Índice de serviciabilidad final.....	71
Tabla 8 Nivel de confiabilidad	71
Tabla 9 Error normal combinado.....	72
Tabla 10 Tiempos de drenaje	78
Tabla 11 Coeficientes de drenaje	78
Tabla 12 Paquete estructural del tramo.	84
Tabla 13 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	86
Tabla 14 Hoja de registro de fallas por el método PCI.....	89
Tabla 15 Rangos de calificación del PCI.....	94
Tabla 16 Datos de campo obtenidos con el rugosímetro de Merlín.	98
Tabla 17 Datos de campo obtenidos con el rugosímetro de Merlín.	100
Tabla 18 Calificación del índice de serviciabilidad presente	103
Tabla 19 Datos de deflexiones en el carril Derecho del tramo.....	107
Tabla 20 Datos de deflexiones en el carril Izquierdo del tramo.	108
Tabla 21 Planilla de cálculos de la viga Benkelman carril derecho (Ida).....	110
Tabla 22 Planilla de cálculos de la viga Benkelman carril izquierdo (Vuelta).....	113
Tabla 23 Datos de diseño tramo Canaletas - Entre ríos.....	117
Tabla 24 Índice de serviciabilidad final (Canaletas – Entre Ríos).	118
Tabla 25 Nivel de confiabilidad (Canaletas – Entre Ríos).	119
Tabla 26 Error normal combinado (Canaletas – Entre Ríos).	119
Tabla 27 Coeficientes de drenaje (Canaletas – Entre Ríos).	125
Tabla 28 Resultados de todo el tramo de PCI.....	127
Tabla 29 Resultados en función del tiempo futuro	130

Tabla 30 Resultados del carril derecho de ida del IRI.....	132
Tabla 31 Resultados del carril Izquierdo de vuelta del IRI.	133
Tabla 32 Calificación del rango de rugosidad.	134
Tabla 33 Resultados del tramo de Ida del PSI.	135
Tabla 34 Resultados del tramo de vuelta del PSI.	136
Tabla 35 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril derecho.....	140
Tabla 36 Comprobación de radio de curvatura carril derecho.	142
Tabla 37 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril izquierdo.	144
Tabla 38 Comprobación de radio de curvatura carril izquierdo.	146

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfica 1 Distribución de frecuencias	99
Gráfica 2 Distribución de frecuencias	101
Gráfica 3 Deflexiones máximas	112
Gráfica 4 Radios de curvatura	112
Gráfica 5 Deflexiones máximas	115
Gráfica 6 Radios de curvatura	115
Gráfica 7 Análisis de fallas	128
Gráfica 8 Deterioro del pavimento en %.....	131
Gráfica 9 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril derecho.....	141
Gráfica 10 Comprobación de radio de curvatura carril derecho.	143
Gráfica 11 Deflexión máxima vs Deflexión característica carril izquierdo.	145
Gráfica 12 Comprobación de radio de curvatura carril izquierdo.	147