

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ESTUDIO DE LOS MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR
LA CONDICIÓN DEL TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR”**

por:

VERÓNICA AYARDE VALDEZ

Trabajo 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 II - 2024

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ESTUDIO DE LOS MÉTODOS NO DESTRUCTIVOS PARA DETERMINAR
LA CONDICIÓN DEL TRAMO CAMPO PAJOSO - EL PALMAR”**

por:

VERÓNICA AYARDE VALDEZ

Semestre II - 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mi familia.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2. PROBLEMA	2
1.2.1 Relevancia y factibilidad del problema	2
1.2.2 Delimitación temporal y espacial del problema	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 HIPÓTESIS	3
1.6 CONCEPTUALIZACIÓN Y OPERACIONALIDAD DE VARIABLES	4
1.6.1 Variables independientes.....	4
1.6.2 Variables dependientes	4
1.7 IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN	7
1.8 UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL	7
1.8.1 Unidad de estudio o muestreo	7
1.8.2 Población	7
1.8.3 Muestra.....	7
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo	8
1.8.5 Métodos y técnicas empleadas	8
1.9 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	10
1.10 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	10

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 PAVIMENTOS	12
2.1.1 Pavimento flexible.....	13
2.1.2 Pavimento rígido	15
2.1.3 Pavimento mixto.....	15
2.1.4 Pavimento articulado	16
2.1.4.1 Condiciones técnicas	17
2.2 COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS PAVIMENTOS	19
2.3 EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS.....	20
2.3.1 Evaluación Superficial.....	20
2.3.2 Evaluación Estructural.....	21
2.4 MÉTODOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL	21
2.4.1 Método de evaluación IRI Índice de Regularidad Internacional	22
2.4.2 Índice de Regularidad Internacional.....	22
2.4.3 Equipos para evaluar la rugosidad.....	24
2.4.4 Medición del IRI por métodos perfilométricos	25
2.4.5 Medición del IRI por el método Rugosímetro de merlín	26
2.4.5.1 Material	29
2.4.5.2 Procedimiento	29
2.4.5.3 Metodología.....	31
2.4.6 Método de evaluación PSI Índice de Serviciabilidad Presente	33
2.4.7 Serviciabilidad	33
2.4.8 Índice de Serviciabilidad Presente.....	33
2.4.9 Método de evaluación PCI (Índice de Condición del Pavimento)	34
2.4.10 Índice de Condición del Pavimento.....	35
2.4.11 Fallas en los pavimentos flexibles	36
2.4.12 Fallas superficiales	36
2.4.12.1 Descripción de las fallas superficiales	37

2.4.13 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.....	65
2.4.14 Procedimiento de medición del PCI.....	66
2.4.14.1 División del pavimento en unidades de muestra	68
2.4.14.2 Muestreo y unidades de muestra	69
2.4.14.3 Selección de las unidades de muestreo para inspección.....	70
2.4.15 Evaluación de la condición.....	71
2.4.15.1 Equipo	71
2.4.15.2 Procedimiento.....	71
2.4.15.3 Seguridad.....	72
2.4.16 Metodología para el cálculo del PCI	72
2.4.16.1 Metodología para el cálculo del PCI de una sección de pavimento	74
2.4.17 Criterios a considerar en la inspección de fallas	74
2.4.18 Textura.....	75
2.4.19 Presencia de agua en el Pavimento.....	80
2.4.20 Presencia de contaminantes	81
2.4.21 Tránsito.....	81
2.4.21.1 Velocidad del vehículo	81
2.4.21.2 Clasificación de la vía y peso del vehículo.....	82
2.4.21.3 Neumáticos	82
2.4.22 Clima	84
2.4.23 Ensayos para evaluar la microtextura y macrotextura de un pavimento	84
2.4.24 Método de índice de fricción internacional (IFI).....	84
2.4.25 Ensayos para evaluar la Macrotextura del Pavimento.....	86
2.4.25.1 Método Volumétrico	86
2.4.25.2 Macrotextura: Círculo de Arena (I.N.V.E- 791)	86
2.4.25.3 Material para el ensayo.....	87
2.4.25.4 Procedimiento.....	87
2.4.26 Ensayos para evaluar el Coeficiente de Fricción la microtextura del pavimento .	88
2.4.26.1 Microtextura: Péndulo de Fricción TRRL.....	88
2.4.26.2 Material	89
2.4.26.3 Procedimiento.....	90

2.4.27 Metodología de calculo	90
2.4.27.1 Determinación del IFI.....	90
2.4.27.2 Cálculo del Índice de Fricción Internacional Propuesto.....	94
2.5 MÉTODOS DE EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	94
2.5.1. Evaluación estructural deflectométrica.....	95
2.5.2 Viga de Benkelman	95
2.5.3 Factores que influyen en las deflexiones	96
2.5.3.1 Cargas.....	96
2.5.3.2 Clima	96
2.5.3.3 Condición del pavimento.....	96
2.5.4 Equipo y metodología para la medición de deflexiones	97
2.5.4.1 Equipo requerido	99
2.5.4.2 Procedimiento de la medición	99
2.5.4.3 Metodología de cálculo	101
2.6 REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLE.....	104
2.6.1. Clasificación de actividades de mantenimiento vial.....	104
2.6.1.1. Mantenimiento rutinario	104
2.6.1.2. Mantenimiento periódico.....	105
2.6.1.3. Mantenimiento Preventivo.	105
2.6.1.4. Mantenimiento correctivo.....	106
2.6.1.5. Mantenimiento de emergencia	106
2.6.2. Rehabilitación de pavimentos.....	106
2.6.3. Relación entre el PCI, el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos	107

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 INFORMACIÓN PRELIMINAR DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	108
3.2 UBICACIÓN.....	108
3.3 ANTECEDENTES	110
3.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	110
3.5 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL TRAMO.....	110
3.6 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DEL PROYECTO.....	111
3.7 EVALUACIÓN SUPERFICIAL DEL TRAMO	115
3.7.1 Aplicación del método Rugosímetro de Merlín (IRI).....	115
3.7.1.1 Procedimiento de medición del IRI.....	115
3.7.2 Aplicación del método PCI (Índice de condición de Pavimento).....	117
3.7.2.1 Procedimiento de Evaluación de Condición de Pavimento.....	117
3.7.2.2 Muestreo y Unidades de Muestra.....	119
3.7.2.3 Determinación de las unidades de muestreo para el estudio	119
3.7.3 Aplicación del método IFI.....	120
3.7.3.1 Procedimiento de medición	120
3.7.4 Ensayo del péndulo británico	120
3.7.5 Círculo de la arena.....	122
3.3. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL TRAMO	124
3.3.1. Procedimiento de medición Viga Benkelman	124

CAPÍTULO IV

CÁLCULO Y ANÁLISIS

4.1 PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO SUPERFICIAL	127
4.1.1 Procedimiento de Estudio Superficial Por el método IRI.....	127
4.1.1.1 Resultados del método IRI	132
4.1.1.2 Análisis de los resultados del método IRI	132
4.1.2 Estudio Superficial Por el método PCI.....	135
4.1.2.1. Resultados parciales del método PCI	141
4.1.2.2 Cantidad de sección afectada según su severidad del tramo	145
4.1.2.3 Análisis de resultados del PCI Índice de condición del pavimento	145
4.1.3 Procedimiento de Estudio Superficial Por el método IFI	150
4.1.3.1 Procedimiento del cálculo IFI	150
4.1.3.1.1 Cálculo de la media aritmética	151
4.1.3.1.2 Cálculo del valor de Tx	152
4.1.3.1.3 Determinación de la constante de velocidad Sp	152
4.1.3.1.4 Determinación del parámetro F60	154
4.1.3.2 Resultados del método IFI.....	165
4.1.3.3 análisis de los resultados.....	168
4.2 ESTUDIO ESTRUCTURAL DEL TRAMO	173
4.2.1 Procedimiento de cálculo del método de la viga Benkelman.....	173
4.2.3 Análisis de los resultados de la viga Benkelman.....	180
4.3: CORELACIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL CON EL ESTRUCTURAL	182
4.3.1 Cálculo de numero de ejes equivalentes EDTP	184
4.3.2 Cálculo de la deflexión admisible estación 1 carril izquierdo	188
4.3.3 Cálculo de la deflexión admisible estación 2 carril derecho	189
4.4 PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	189
4.4.1 Plan de Rehabilitación y Mantenimiento de Pavimentos Flexibles.....	189

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES.....	197
5.2 RECOMENDACIONES	198

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO1: Cálculos del índice de rugosidad internacional IRI (carril ida)
- ANEXO 2: Cálculos del índice de rugosidad internacional IRI (carril vuelta)
- ANEXO 3: Gráficos de valor deducido y valor deducido corregido PCI
- ANEXO 4: Cálculos del índice de condición de pavimento PCI
- ANEXO 5: Cálculos del índice de fricción internacional IFI
- ANEXO 6: Datos de caracterización de suelos EDTP Villamontes-Yacuiba
- ANEXO 7: Datos de Aforación vehicular EDTP Villamontes -Yacuiba
- ANEXO 8: Cálculos viga Benkelman
- ANEXO 9: Cómputos métricos
- ANEXO 10: Precios unitarios de la propuesta de mejoramiento
- ANEXO 11: Registro fotográfico
- ANEXO 12: Permisos para la realización de ensayos y solicitud de información

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

Figura 2.22: Desplazamiento.....	59
Figura 2.23: Grietas parabolicas.....	61
Figura 2.24: Cruce de rieles	62
Figura 2.25: Hinchamiento.....	63
Figura 2.26: Disgregación	65
Figura 2.27: Tipos de textura de un pavimento (AIPCR,1995).....	77
Figura 2.28: Definición de macrotextura y microtextura	77
Figura 2.29: Diagrama vectorial de fuerza de fricción (Adpt. OCDE,1984)	79
Figura 2.30: Contacto entre el neumático y el pavimento mojado	80
Figura 2.31: Inscripciones y características de los tipos de neumáticos.....	83
Figura 2.32: Ensayo círculo de la arena	87
Figura 2.33: Equipo de medicion, pèndulo de friccion	89
Figura 2.34: Curva fricción-deslizamiento para el IFI.....	94
Figura 2.35: Esquema y principio de operación de la viga benkelman	98
Figura 2.36: Configuración geométrica del Sistema de carga.....	98
Figura 2.37: Esquema de aplicación de la viga de Benkelman	100
Figura 3.1: Ubicación geografica de la zona de estudio.....	108
Figura 3.2: Imagen satelital de la zona de estudio.....	109
Figura 3.3: Espesor de la capa de rodadura.....	112
Figura 3.4: Espesor del paquete estructural.....	114
Figura 3.5: Calibración del equipo Merlin	116
Figura 3.6: Manejo del Rugosìmetro Merlin.....	116
Figura 3.7: Procedimiento del PCI.....	118
Figura 3.8: Medición del área de falla (PCI).....	118

Figura 3.9: Procedimiento de medición del péndulo	121
Figura 3.10: Materiales circulo de arena	123
Figura 3.11: Procedimiento de ensayo círculo de arena.....	123
Figura 3.12: Lecturamientos de datos	123
Figura 3.13: Medicion de la temperatura	125
Figura 3.14: Ensayo de la viga Benkelman	125
Figura 3.15: Pesaje de la volqueta.....	125
Figura 3.16: Comprobante de pesado de la volqueta	126
Figura N° 4: Fase de deterioro de un pavimento	190

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1.1: Operacionalidad de variables independientes	5
Cuadro 1.2: Operacionalidad de variables dependientes.....	6
Cuadro 2.1: Escala de clasificación del IRI.....	23
Cuadro 2.2: Rangos de clasificación del PCI.....	35
Cuadro 2.3: Niveles de severidad para huecos.....	56
Cuadro 2.4: Longitudes de unidades de muestreo.....	69
Cuadro 2.5: Clasificación de textura superficial según AIPCR	76
Cuadro 2.6: Valores para constante a y b.....	91
Cuadro 2.7: Valores de fricción con péndulo británico.....	93
Cuadro 2.8: Textura en pavimento para círculo de arena.....	93
Cuadro 2.9: Coeficientes de estacionalidad.....	102
Cuadro 2.10: Correlación de categoría de acción con un rango de PCI.....	107
Cuadro 3.1: Parámetros de diseño	110
Cuadro 3.2: Estudios de suelos de los estratos	113
Cuadro 3.3: Longitud de unidades de muestreo asfálticas	119
Cuadro 4.1: Clasificación del rango de rugosidad.....	133
Cuadro 4.2: Escala clasificación PCI	139
Cuadro 4.3: Textura en pavimento para el círculo de la arena	169
Cuadro 4.4: valores de fricción con péndulo británico.....	169
Cuadro 4.5: Requisitos para materiales de base granular.....	182
Cuadro 4.6: Características técnicas de la sub rasante y del diseño geométrico	183
Cuadro 4.7: Características del pavimento de acuerdo al cuenco de deflexiones	183

para afirmados, pavimentos flexibles y semirrígidos	185
Cuadro 4.9: cálculo del número de ejes equivalentes E1	188
Cuadro 4.8: cálculo del número de ejes equivalentes E2	188

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1: Hoja de registro método PCI.....	67
Tabla 3.1: Hoja de registro de datos.....	117
Tabla 3.2: Hoja de registro de datos péndulo británico	122
Tabla 3.3: Hoja de registro de datos círculo de arena	124
Tabla 3.4: Hoja de registro de datos viga Benkelman	126
Tabla 4.1: Sección con 200 datos (carril ida) obtenidos con el rugosímetro de.....	128
Merlin (prog. 0+000-0+400)	128
Tabla 4.2: Sección (carril vuelta) obtenidos con el rugosímetro de Merlin	130
(5+200-4+800)	130
Tabla 4.3: Resultados del IRI de todo el tramo (ida)	132
Tabla 4.4: Resultados del IRI de todo el tramo (vuelta).....	132
Tabla 4.5: Fallas existentes	136
Tabla 4.6: Resultado de valor deducido	137
Tabla 4.7: Valores deducidos reordenados.....	138
Tabla 4.8: Resultado del valor deducidos corregidos.....	139
Tabla 4.9: Resultado PCI de unidad de muestra 1	139
Tabla 4.10: Resultado del PCI de la muestra N°1	140
Tabla 4.11: Resultados del km 1	141
Tabla 4.12: Resultados del km 2	141
Tabla 4.13: Resultados PCI km 3.....	142
Tabla 4.14: Resultados PCI km 4.....	142
Tabla 4.15: Resultados PCI km 5.....	143

Tabla 4.16: Resultados PCI de todo el tramo	143
Tabla 4.17: Cuantificación de fallas según su severidad.....	145
Tabla 4.18: Porcentaje de fallas	145
Tabla 4.19: Resultados del índice de condición del pavimento	150
Tabla 4.20: Datos obtenidos del ensayo círculo de arena por carril.....	151
Tabla 4.21: Datos obtenidos del ensayo péndulo británico por carril	153
Tabla 4.22: Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de	155
círculo de arena con el respectivo volumen (carril ida).....	155
Tabla 4.23: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo círculo	156
Tabla 4.24: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo péndulo	157
Tabla 4.25: Tabla de cálculos IFI (ida).....	158
Tabla 4.26: Fricción encontrada a partir de la velocidad S	159
Tabla 4.27: Corrección por temperatura del péndulo de fricción y promedios de	160
Tabla 4.28: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo círculo de ...	161
Tabla 4.29: Tratamiento estadístico mediante error porcentual de ensayo péndulo.....	162
Tabla 4.30: Tabla de los cálculos (IFI) vuelta	163
Tabla 4.31: Fricción encontrada a partir de la velocidad S	164
Tabla 4.32: Resultados según PT para carril ida	165
Tabla 4.33: Resultados según el CRD para carril de ida.....	166
Tabla 4.34: Resultados según PT para carril Vuelta	167
Tabla 4.35: Resultados según el CRD para carril de Vuelta	168
Tabla 4.36: Planilla de cálculo de la viga Benkelman carril derecho (ida).....	174
Tabla 4.37: Planilla de cálculo de la viga Benkelman carril izquierdo (vuelta).....	177
Tabla 4.38: Resultados en general por km de todo el tramo en estudio	181

Tabla 4.39: Resultados EDTP	182
Tabla 4.40: Resultados Subrasante EDTP.....	183
Tabla 4.41 Aforo de vehículos por tipo y sentido de circulación.....	184
Tabla 4.42: Calculo del factor de carga E1	186
Tabla 4.43: cálculo del factor de carga Estación 2.....	187
Tabla 4.44 Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.....	191
Tabla 4.45 Presupuesto de mantenimiento y rehabilitación	195

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfica 4.1: Distribución de frecuencias (carril ida)	129
Gráfica 4.2: Distribución de frecuencias (carril vuelta)	131
Gráfica 4.3: Representación gráfica del comportamiento del IRI (Carril derecho)	134
Gráfica 4.4: Representación gráfica del comportamiento del IRI (carril izquierdo).....	135
Gráfica 4.5: Obtención del valor deducido	137
Gráfica 4.6: Curva de deducción del valor deducido corregido (VDC).....	138
Gráfica 4.7: Representación gráfica del comportamiento del PCI del tramo	144
Gráfica 4.8: Representación gráfica porcentual de fallas 0+000-5+200.....	146
Gráfica 4.9: Curva fricción vs velocidad de deslizamiento (carril ida).....	159
Gráfica 4.10: Curva fricción vs velocidad de deslizamiento (carril vuelta).....	164
Gráfica 4.11: Porcentaje de calificación de textura (carril ida).....	169
Gráfica 4.12: Porcentaje de calificación de la fricción (carril ida).....	170
Gráfica 4.13: Porcentaje de calificación de Textura (carril vuelta).....	170
Gráfica 4.14: Porcentaje de calificación de la fricción (carril vuelta).....	171
Gráfica 4.15: Deflexiones máximas (carril ida)	176
Gráfica 4.16: Radios de curvatura (carril ida)	176
Gráfica 4.17: Deflexiones máximas (carril vuelta)	180
Gráfica 4.18: Radios de curvatura (carril vuelta)	180