

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



TOMO 1

**“EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
EN EL TRAMO SAN LORENZO – SELLA MÉNDEZ”**

Por:

ROJAS PERALES ESMERALDA

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

SEMESTRE I – 2024

TARIJA – BOLIVIA

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

TOMO 1

**“EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE
EN EL TRAMO SAN LORENZO – SELLA MÉNDEZ”**

Por: **ROJAS PERALES ESMERALDA**

SEMESTRE I – 2024

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A mis padres Amado Rojas y Margarita Perales por apoyarme, siempre, en todo momento. Por los valores inculcados A pesar de las adversidades me acompañaron, para alcanzar esta meta. Y, también a mis hermanas Marvel, Gloria y Gladys por brindarme su apoyo.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO

	Página
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.2.1 Justificación académica	2
1.2.2 Justificación sobre la aplicación técnica – práctica	3
1.2.3 Justificación e importancia social	3
1.3 Planteamiento del problema	3
1.3.1 Situación problemática	3
1.3.2 Delimitación del tiempo.....	4
1.3.3 Delimitación del espacio.....	4
1.3.4 Formulación del problema	5
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Identificación de variables	6
1.6.1 Variables independientes	6
1.6.2 Variables dependientes	6
1.6.3 Operacionalización de la variable dependiente.....	6
1.7 Alcance	7
1.8 Esquema de la perspectiva usada.....	9

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1 Marco conceptual.....	10
2.1.1 Pavimento	10
2.1.2 Características de un pavimento	10
2.1.3 Componentes del pavimento.....	10
2.1.3.1 Capa de rodadura	11
2.1.3.2 Base	11
2.1.3.3 Subbase	11
2.1.3.4 Subrasante.....	11
2.1.4 Clasificación de los pavimentos.....	11
2.1.4.1 Pavimentos flexibles.....	12
2.1.5 Pavimentos semi-rígido	12
2.1.6 Pavimentos rígidos.....	13
2.1.7 Pavimentos articulados	13
2.1.8 Importancia de la evaluación de pavimentos	14
2.1.9 Evaluación de pavimentos	14
2.1.9.1 Evaluación superficial	14
2.1.10 Evaluación estructural	15
2.1.11 Fallas en los pavimentos	15
2.1.11.1 Fallas superficiales.....	16
2.1.11.2 Fallas estructurales.....	16
2.1.12 Serviciabilidad	17
2.1.12.1 Rango de serviciabilidad presente (IRI).....	18

2.1.12.2 Índice de serviciabilidad presente (IRI).....	18
2.1.12.3 Condición superficial del pavimento.....	18
2.1.13 Evaluación superficial de un pavimento flexible.....	18
2.1.13.1 Método PCI (Índice de Condición del Pavimento).....	18
2.1.13.1.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.....	20
2.1.13.1.2 División de pavimento en unidades de muestra	22
2.1.13.1.3 Evaluación de un pavimento.....	22
2.1.13.1.4 Selección de las unidades de muestras para la inspección	24
2.1.13.2 Selección de las unidades de muestreo adicionales	24
2.1.13.3 Materiales e instrumento para determinar el PCI	24
2.1.13.4 Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento	25
2.1.14 Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional).....	52
2.1.15 Factores que afectan la rugosidad de los pavimentos.....	53
2.1.16 Método IRI con el rugosímetro de Merlín.....	53
2.1.17 Método IFI (Índice de Fricción Internacional)	59
2.1.18 Resistencia al deslizamiento	62
2.1.18.1 Microtextura	64
2.1.18.2 Macrotextura.....	64
2.1.18.3 Macrotextura con ensayo del círculo de arena	64
2.1.18.4 Microtextura con ensayo del péndulo británico TRRL.	68
2.1.19 Evaluación estructural	74
2.1.19.1 Uso y significado de la Viga Belkeman	75
2.1.19.2 Temperatura.....	75
2.1.19.3 Humedad.....	75

2.1.19.4 Medición de deflexiones.....	75
2.1.19.5 Partes de la Viga Benkelman.....	75
2.1.19.6 Ensayo Viga Benkelman.....	77
2.2 Marco referencial.....	83
2.3 Marco normativo	84
2.4 Análisis y Posición del Investigador.....	85

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 Criterios del diseño metodológico	86
3.1.1 Unidad de estudio o muestra.....	86
3.1.2 Tamaño de muestra	86
3.2 Localización.....	88
3.3 Relevamiento de información.....	89
3.3.1 Capa de rodadura	89
3.3.2 Paquete estructural	90
3.4 Evaluación Superficial del Tramo	95
3.4.1 Aplicación de Método PCI (Índice de Condición del Pavimento)	95
3.4.1.1 Unidades de muestra.....	95
3.4.2 Procedimiento de cálculo del método PCI.....	100
3.4.2.1 Cálculo de la densidad	103
3.4.2.2 Obtención del Valor Deducido (Vd).....	103
3.4.2.3 Valor Deducido Corregido	106
3.4.2.4 Resultado de la condición del pavimento	107
3.4.3 Aplicación del método del IRI con el equipo Merlín	110

3.4.3.1 Procedimiento de cálculo IRI	114
3.4.4 Procedimiento de aplicación para el método IFI	117
3.4.4.1 Aplicación del método Péndulo Británico.....	117
3.4.4.2 Aplicación del método círculo de arena	120
3.4.4.3 Procedimiento para el cálculo.....	125
3.4.4.4 Resultados de la evaluación superficial mediante el método IFI	128
3.4.5 Evaluación estructural del tramo	130
3.4.5.1 Procedimiento de medición con la Viga Benkelman.....	130
3.4.5.2 Procedimiento de cálculo de deflexiones	134

CAPÍTULO IV

DISEÑO Y ANÁLISIS

4.1 Evaluación superficial del tramo	138
4.1.1 Resultados parciales del método PCI	138
4.1.2 Tabla de resultados del todo el tramo	145
4.1.3 Tratamiento estadístico	145
4.1.3.1 Análisis de los resultados PCI	148
4.1.3.1.1 Análisis de resultados según el porcentaje de cada tipo de falla	148
4.1.3.2 Cantidad de metros de cada falla según su severidad en todo el tramo.....	151
4.1.3.3 Análisis de resultados según la clasificación del PCI en todo el tramo	153
4.1.3.4 Valoración de la degradación del pavimento (PCI) respecto al tiempo	171
4.1.4 Evaluación superficial por el método del IRI	171
4.1.4.1 Resultados de la evaluación superficial mediante el método IRI.....	171
4.1.4.2 Análisis de Resultados.....	173
4.1.5 Evaluación superficial por el método IFI.....	174

4.1.5.1 Análisis de resultados	183
4.1.6 Evaluación estructural por el método de la viga Benkelman.....	184
4.1.6.1 Resultados de la evaluación estructural.....	184
4.1.6.2 Análisis de resultados de la evaluación estructural	191

CAPÍTULO I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	192
5.2 Recomendaciones.....	193

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1: REPOTE FOTOGRÁFICO

ANEXO 2: DATOS PCI

ANEXO 3: DATOS IRI

ANEXO 4: DATOS IFI

ANEXO 5: DATOS VIGA BENKELMAN

ANEXO 6: CÁLCULOS PCI

ANEXO 7: CÁLCULOS IRI

ANEXO 8: CÁLCULOS IFI

ANEXO 9: CÁLCULOS VIGA BENKELMAN

ANEXO 10: CÁLCULO NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES

ANEXO 11: CARACTERIZACIÓN DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

ANEXO 12: ÁBACOS Y TABLAS PARA EL CÁLCULO DE PCI

ANEXO 13: PRESUPUESTO

ANEXO 14: RESPALDOS

ANEXO 15: PLANOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1	Capas del pavimento flexible 10
Figura N° 2	Sección de un pavimento flexible 12
Figura N° 3	Sección de un pavimento semi-rígido 12
Figura N° 4	Sección de un pavimento rígido..... 13
Figura N° 5	Sección de un pavimento articulado. 13
Figura N° 6	Principales factores que causan las fallas en los pavimentos flexibles.. 17
Figura N° 7	Curvas de corrección del valor deducido (CDV)..... 27
Figura N° 8	Piel de cocodrilo..... 29
Figura N° 9	Exudación..... 30
Figura N° 10	Agrietamiento en bloque 32
Figura N° 11	Abultamientos y hundimientos 33
Figura N° 12	Corrugación..... 34
Figura N° 13	Depresión 35
Figura N° 14	Grieta de borde..... 36
Figura N° 15	Grieta de reflexión de junta..... 38
Figura N° 16	Desnivel carril - berma..... 39
Figura N° 17	Grietas longitudinales y transversales 41
Figura N° 18	Parches 42
Figura N° 19	Agregado pulido..... 43
Figura N° 20	Huecos..... 44
Figura N° 21	Cruce de vía férrea de baja severidad 46
Figura N° 22	Ahuellamiento 47

Figura N° 23	Desplazamiento	48
Figura N° 24	Grietas parabólicas	49
Figura N° 25	Hinchamiento	50
Figura N° 26	Meteorización / desprendimiento de agregados	52
Figura N° 27	Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio	54
Figura N° 28	Histograma de la distribución de frecuencias	55
Figura N° 29	Esquema del rugosímetro Merlín	58
Figura N° 30	Escala grafica del rugosímetro de Merlín	59
Figura N° 31	Modelo del índice de fricción internacional.....	61
Figura N° 32	Representación gráfica del coeficiente de fricción	62
Figura N° 33	Componentes de la fricción.....	63
Figura N° 34	Representación gráfica del cálculo del coeficiente de fricción.....	63
Figura N° 35	Curva granulométrica micro esferas de vidrio	65
Figura N° 36	Medidas de distintos cilindros del ensayo círculo de arena	66
Figura N° 37	Esquema del ensayo de la macrotextura superficial	67
Figura N° 38	Medición de la macrotextura superficial con técnica volumétrica.....	68
Figura N° 39	Medición de la dureza del caucho de la zapata del péndulo TRRL.	69
Figura N° 40	Péndulo Británico TRRL.	71
Figura N° 41	Ilustración del ensamblaje del patín de caucho.....	71
Figura N° 42	Detalle del brazo del péndulo.....	72
Figura N° 43	Detalle de la disposición de la zapata del caucho	72
Figura N° 44	Detalle del dispositivo del desplazamiento vertical	73
Figura N° 45	Mecanismo de suspensión del péndulo (2)	73
Figura N° 46	Corrección por temperatura del péndulo británico.....	74

Figura N° 47	Esquema y principio de operación, Viga Benkelman	76
Figura N° 48	Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman	78
Figura N° 49	Geometría de colocación de la viga Benkelman.	79
Figura N° 50	Procedimiento de medición de deflexión.	80
Figura N° 51	Mapa Político de Tarija	88
Figura N° 52	Foto satelital tramo San Lorenzo- Sella	89
Figura N° 53	Espesores del paquete estructural.....	90
Figura N° 54	Ensayo de granulometría.....	91
Figura N° 55	Ensayo de límites de atterberg	91
Figura N° 56	Ensayo de Proctor T - 180.....	92
Figura N° 57	Ensayo de CBR	93
Figura N° 58	Progresivas para el PCI	100
Figura N° 59	Identificación de fallas	101
Figura N° 60	Medición de las fallas.....	102
Figura N° 61	Equipo de merlín	112
Figura N° 62	Equipo de merlín en campo.....	112
Figura N° 63	Lectura con el equipo merlín.....	113
Figura N° 64	Histograma de frecuencias	115
Figura N° 65	Péndulo Británico.....	118
Figura N° 66	Instalación del Péndulo Británico	119
Figura N° 67	Ensayo con equipo del Péndulo Británico	120
Figura N° 68	Materiales para el ensayo círculo de arena	121
Figura N° 69	Pesaje de la arena	122
Figura N° 70	Medición de la arena	122

Figura N° 71	Medición del diámetro	122
Figura N° 72	Corrección por temperatura para las medidas de BPN	126
Figura N° 73	Representación gráfica del IFI para el carril derecho	130
Figura N° 74	Viga Benkelman.....	131
Figura N° 75	Pasaje de la volqueta en la balanza electrónica.....	132
Figura N° 76	Ensayo de la Viga Benkelman	132
Figura N° 77	PCI vs progresiva del tramo 1	139
Figura N° 78	PCI vs progresiva del tramo 2.....	140
Figura N° 79	PCI vs progresiva del tramo 3.....	141
Figura N° 80	PCI vs progresiva del tramo 4.....	142
Figura N° 81	PCI vs progresiva del tramo 5.....	143
Figura N° 82	PCI vs progresiva del tramo 6.....	144
Figura N° 83	Diagrama de frecuencias PCI.....	146
Figura N° 84	Porcentaje de cada tipo de falla en todo el tramo.....	151
Figura N° 85	Valoración de degradación del pavimento (PCI) respecto al tiempo...	171
Figura N° 86	Valores del IRI para el carril derecho	172
Figura N° 87	Valores del IRI para el carril izquierdo.....	173
Figura N° 88	Representación gráfica del IFI para el carril derecho	175
Figura N° 89	Representación gráfica del IFI para el carril izquierdo.....	177
Figura N° 90	Deflexiones máximas y radios de curvatura carril derecho	187
Figura N° 91	Deflexiones máximas y radios de curvatura carril izquierdo.....	190

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1	Operacionalización de la variable dependiente.....6
Tabla N° 2	Escala de clasificación de PCI 19
Tabla N° 3	Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo 60
Tabla N° 4	Características de la resiliencia y dureza del caucho 69
Tabla N° 5	Distancias recomendadas a emplear..... 77
Tabla N° 6	Ubicación Geográfica..... 89
Tabla N° 7	Paquete estructural del tramo 89
Tabla N° 8	Longitudes de Unidades de Muestreo Asfálticas 95
Tabla N° 9	Tipo de Fallas en los Pavimentos..... 98
Tabla N° 10	Tramos en estudio 98
Tabla N° 11	Hoja de registro de fallas por el método PCI 99
Tabla N° 12	Ejemplo de Levantamiento de fallas 99
Tabla N° 13	Fallas existentes en la unidad de muestra 102
Tabla N° 14	Obtención del valor deducido (VD) mediante tabla 103
Tabla N° 15	Resultados de Valor Deducido (VD) 105
Tabla N° 16	Obtención del valor deducido corregido (CDV)..... 106
Tabla N° 17	Resultados de valores deducidos corregidos (CDV)..... 107
Tabla N° 18	Rangos de calificación de PCI 108
Tabla N° 19	Condición del pavimento 108
Tabla N° 20	Formato de recolección de datos de campo 113
Tabla N° 21	Datos de campo con la Rueda de Merlín 114
Tabla N° 22	Clasificación del rango de rugosidad 117

Tabla N° 23	Datos del Ensayo Círculo de Arena (Ida)	123
Tabla N° 24	Datos del Ensayo Círculo de Arena (Vuelta).....	124
Tabla N° 25	Valores promedios de datos tomados en campo	125
Tabla N° 26	Resultados para el carril derecho IFI	128
Tabla N° 27	Hoja de levantamiento de datos para la Viga Benkelman.....	133
Tabla N° 28	Datos Viga Benkelman carril Derecho (Ida).....	134
Tabla N° 29	Rangos de clasificación del PCI.....	138
Tabla N° 30	Resultados del PCI para el tramo 1	139
Tabla N° 31	Resultados del PCI para el tramo 2	140
Tabla N° 32	Resultados del PCI para el tramo 3	141
Tabla N° 33	Resultados del PCI para el tramo 4	142
Tabla N° 34	Resultados del PCI para el tramo 5	143
Tabla N° 35	Resultados del PCI para el tramo 6	144
Tabla N° 36	Resultados del PCI	145
Tabla N° 37	Tabla de frecuencias PCI	146
Tabla N° 38	Metrado de fallas según severidad en el tramo	148
Tabla N° 39	Metrado de fallas según severidad en el tramo 2	149
Tabla N° 40	Metrado de fallas según severidad en el tramo 3	149
Tabla N° 41	Metrado de fallas según severidad en el tramo 4	150
Tabla N° 42	Metrado de fallas según severidad en el tramo	150
Tabla N° 43	Metrado de fallas según severidad en el tramo 6	150
Tabla N° 44	Metrado de fallas según severidad en todo el tramo	151
Tabla N° 45	Calificación del PCI por kilómetro en todo el tramo	153
Tabla N° 46	Calificación del PCI de todo el tramo	154

Tabla N° 47	Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.....	170
Tabla N° 48	Presupuesto general de mantenimiento de la vía	170
Tabla N° 49	Resultados IRI carril derecho.....	171
Tabla N° 50	Resultados IRI carril izquierdo	172
Tabla N° 51	Resultados para el carril derecho IFI	174
Tabla N° 52	Resultados para el carril izquierdo IFI	175
Tabla N° 53	Macrotextura (Círculo de arena)	177
Tabla N° 54	Rangos de textura.....	178
Tabla N° 55	Microtextura (Péndulo británico).....	179
Tabla N° 56	Rangos de Fricción.....	180
Tabla N° 57	Macrotextura (Círculo de arena)	180
Tabla N° 58	Rangos de textura.....	181
Tabla N° 59	Microtextura (Péndulo británico).....	182
Tabla N° 60	Rangos de Fricción.....	183
Tabla N° 61	Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho.....	185
Tabla N° 62	Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo.	188