

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL DEL ESTADO
DEL PAVIMENTO FLEXIBLE EN EL TRAMO SAN MATEO -
SELLA”**

Por:

LOIDA HEIDY SUBIA GALLARDO

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 - 2021

TARIJA – BOLIVIA

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

DEDICATORIA:

A mis padres Milton y Faustina por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Noelia, Diego, Lorena, Rocio, Daniel por ser mis compañeros de vida.

A mis profesores y docentes por forjar en mí deseos de contribuir en esta sociedad con mi trabajo y conocimiento.

AGRADECIMIENTO:

A Dios por darme la fuerza, voluntad y capacidad para culminar esta etapa académica.

A mis padres por el apoyo incondicional y el impulso para culminar esta etapa de mi vida.

A mis amigos, familiares que estuvieron presentes en esta etapa importante para mí.

A todos mis docentes que con su sabiduría, conocimiento y apoyo, me ayudaron como persona y profesional.

ÍNDICE

ADVERTENCIA.

DEDICATORIA.

AGRADECIMIENTO.

RESUMEN.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes.	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema.	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	2
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.	4
1.6.1. Variables independientes.	4
1.6.2. Variables dependientes.....	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.....	6
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo.....	6
1.9. Métodos y técnicas empleadas.	6
1.9.1. Métodos.....	6

1.9.2. Técnicas.....	6
1.10. Procesamiento de la información.....	9
1.11. Alcance de la investigación.....	9

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

	Página
2.1. Pavimento.....	10
2.2. Componentes del pavimento.....	10
2.2.1. Capa de rodadura.....	10
2.2.2. Base.....	10
2.2.3. Subbase.....	11
2.2.4. Subrasante.....	11
2.3. Clasificación de los pavimentos.....	11
2.3.1. Pavimentos flexibles.....	11
2.3.2. Pavimentos semi-rígido.....	12
2.3.3. Pavimentos rígidos.....	13
2.3.4. Pavimentos articulados.....	13
2.4. Evaluación de pavimentos.....	14
2.4.1. Evaluación superficial.....	14
2.4.1.1. Método IRI (Índice de Rugosidad Internacional).....	15
2.4.1.1.1. Método IRI con el rugosímetro de Merlín.....	18
2.4.1.1.2. Método PCI (Índice de Condición del Pavimento).....	23
2.4.1.1.3. Método IFI (Índice de Fricción Internacional).....	68
2.4.1.1.3.1. Resistencia al deslizamiento.....	73
2.4.1.1.3.2. Microtextura.....	76
2.4.1.1.3.3. Macrotextura.....	78
2.4.1.1.3.4. Megatextura.....	79
2.4.1.1.3.5. Hidroplaneo.....	80
2.4.1.1.3.6. Macrotextura con ensayo del círculo de arena.....	81
2.4.1.1.3.7. Microtextura con ensayo del péndulo Británico TRRL.....	88
2.4.2. Evaluación estructural.....	97
2.4.2.1. Método de la viga Benkelman.....	97

I. Marco referencial.....	105
II. Marco normativo.	108

CAPÍTULO III

RELEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
3.1. Descripción y ubicación del tramo San Mateo - Sella.	109
3.2. Coordenadas del lugar en estudio.	112
3.3. Relevamiento de información.	113
3.4. Evaluación superficial del tramo.....	115
3.4.1. Procedimiento de la aplicación del método PCI.	115
3.4.1.1. Unidades de muestreo.	115
3.4.1.2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.	116
3.4.1.3. Selección de las unidades de muestreo para la inspección.	116
3.4.2. Procedimiento de la aplicación del método IFI.....	120
3.4.3. Procedimiento de la aplicación del método IRI.	124
3.5. Evaluación estructural del tramo.....	125
3.5.1. Procedimiento de cálculo de deflexiones con la viga Benkelman.	125

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y ANÁLISIS

	Página
4.1. Evaluación superficial del tramo.....	129
4.1.1. Procedimiento de cálculo del método PCI.	129
4.1.1.1. Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro.	133
4.1.1.2. Análisis de los resultados según la clasificación del PCI.	141
4.1.2. Procedimiento de cálculo del método IFI.	142
4.1.2.1. Resultados del método IFI.	151
4.1.2.2. Análisis de los resultados del método IFI.	155
4.1.3. Procedimiento de cálculo del método IRI.....	157
4.1.3.1. Resultados del método IRI.	163
4.1.3.2. Análisis de los resultados del método IRI.....	165
4.2. Evaluación Estructural del tramo.	166

4.2.1. Procedimiento de cálculo del método de la viga Benkelman.	166
4.2.2. Análisis de los resultados del método de la viga Benkelman.	173

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones.	174
5.2. Recomendaciones.	175

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO I Cálculos PCI
- ANEXO II Cálculos IFI
- ANEXO III Cálculos IRI
- ANEXO IV Cálculos viga Benkelman
- ANEXO V Especificaciones técnicas
- ANEXO VI Precios unitarios
- ANEXO VII Presupuesto general
- ANEXO VIII Cronograma de actividades
- ANEXO IX Verificación de la arena
- ANEXO X Información oficial del proyecto
- ANEXO XI Fotos

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA N° 1 Sección de un pavimento flexible.....	12
FIGURA N° 2 Sección de un pavimento semi-rígido	12
FIGURA N° 3 Sección de un pavimento rígido	13
FIGURA N° 4 Sección de un pavimento articulado	14
FIGURA N° 5 Equipo para la medición de la rugosidad superficial con Merlín	18
FIGURA N° 6 Desviación del pavimento respecto a la cuerda promedio	19
FIGURA N° 7 Histograma de la distribución de frecuencias.....	20
FIGURA N° 8 Esquema del rugosímetro de Merlín.....	22
FIGURA N° 9 Curvas de corrección del valor deducido para pavimentos flexibles ...	28
FIGURA N°10 Piel de cocodrilo de baja severidad	30
FIGURA N°11 Piel de cocodrilo de severidad media	30
FIGURA N°12 Piel de cocodrilo de alta severidad	31
FIGURA N°13 Exudación de baja severidad	32
FIGURA N°14 Exudación de severidad media	32
FIGURA N°15 Exudación de alta severidad	33
FIGURA N°16 Grietas en bloque de baja severidad	34
FIGURA N°17 Grietas en bloque de severidad media	35
FIGURA N°18 Grietas en bloque de alta severidad	35
FIGURA N°19 Abultamientos y hundimientos de baja severidad	37
FIGURA N°20 Abultamientos y hundimientos de severidad media	37
FIGURA N°21 Abultamientos y hundimientos de alta severidad	37
FIGURA N°22 Corrugación de baja severidad	38

FIGURA N°23	Corrugación de severidad media	39
FIGURA N°24	Corrugación de alta severidad	39
FIGURA N°25	Depresión de baja severidad	40
FIGURA N°26	Depresión de severidad media	41
FIGURA N°27	Depresión de alta severidad	41
FIGURA N°28	Grieta de borde de baja severidad.....	42
FIGURA N°29	Grieta de borde de severidad media	43
FIGURA N°30	Grieta de borde de alta severidad	43
FIGURA N°31	Grieta de reflexión de junta de baja severidad.....	45
FIGURA N°32	Grieta de reflexión de junta de severidad media	45
FIGURA N°33	Grieta de reflexión de junta de alta severidad	46
FIGURA N°34	Desnivel carril/berma de baja severidad.....	47
FIGURA N°35	Desnivel carril/berma de severidad media.....	47
FIGURA N°36	Desnivel carril/berma de alta severidad.....	47
FIGURA N°37	Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de baja severidad	49
FIGURA N°38	Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de severidad media .	50
FIGURA N°39	Grietas longitudinales y transversales (No PCC) de alta severidad	50
FIGURA N°40	Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad	52
FIGURA N°41	Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media	52
FIGURA N°42	Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad	52
FIGURA N°43	Pulimento de agregados.....	53
FIGURA N°44	Hueco de baja severidad	55
FIGURA N°45	Hueco de severidad media.....	55
FIGURA N°46	Hueco de severidad alta	56

FIGURA N°47	Cruce de vía férrea de baja severidad	57
FIGURA N°48	Cruce de vía férrea de severidad media.....	57
FIGURA N°49	Cruce de vía férrea de severidad alta.....	57
FIGURA N°50	Ahuellamiento de baja severidad.....	59
FIGURA N°51	Ahuellamiento de severidad media.....	59
FIGURA N°52	Ahuellamiento de alta severidad.....	59
FIGURA N°53	Desplazamiento de baja severidad.....	61
FIGURA N°54	Desplazamiento de severidad media.....	61
FIGURA N°55	Desplazamiento de severidad alta.....	61
FIGURA N°56	Grieta parabólica (slippage) de baja severidad.....	63
FIGURA N°57	Grieta parabólica (slippage) de severidad media.....	63
FIGURA N°58	Grieta parabólica (slippage) de alta severidad.....	63
FIGURA N°59	Ejemplo de hinchamiento	65
FIGURA N°60	Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad.....	66
FIGURA N°61	Meteorización / desprendimiento de agregados de severidad media ...	67
FIGURA N°62	Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad	67
FIGURA N°63	Modelo del índice de fricción internacional según documento Piarc...	72
FIGURA N°64	Representación gráfica del coeficiente de fricción.....	74
FIGURA N°65	Componentes de la fricción	74
FIGURA N°66	Representación gráfica del cálculo del coeficiente de fricción	75
FIGURA N°67	Clasificación de la textura del pavimento.....	79
FIGURA N°68	Representación gráfica de la microtextura y macrotextura	80
FIGURA N°69	Tipos de textura de un pavimento.....	80
FIGURA N°70	Representación gráfica del fenómeno de hidropilano.....	81

FIGURA N°71	Curva granulométrica micro esferas de vidrio	82
FIGURA N°72	Microesferas de vidrio aumento 800x (ASTM E-303).....	82
FIGURA N°73	Medidas de distintos cilindros del ensayo círculo de arena.....	83
FIGURA N°74	Paso 2. Se llena la muestra en el cilindro de volumen conocido.....	84
FIGURA N°75	Paso 3. Se esparce todo el material en forma circular con el disco	85
FIGURA N°76	Paso 4. Se mide y se registran 5 diámetros en diferentes posiciones ...	85
FIGURA N°77	Esquema del ensayo de la macrotextura superficial.....	87
FIGURA N°78	Medición de la macrotextura superficial con técnica volumétrica	88
FIGURA N°79	Medición de la dureza del caucho de la zapata del péndulo TRRL	89
FIGURA N°80	Área de contacto del patín del péndulo Británico.....	91
FIGURA N°81	Evaluación de la fricción con el péndulo Británico.....	92
FIGURA N°82	Péndulo Británico TRRL	93
FIGURA N°83	Ilustración del ensamblaje del patín de caucho	93
FIGURA N°84	Detalle del brazo del péndulo	94
FIGURA N°85	Detalle de la disposición de la zapata del caucho.....	95
FIGURA N°86	Detalle de dispositivo del desplaz. vertical y suspensión de péndulo ..	95
FIGURA N°87	Corrección por temperatura del péndulo Británico	96
FIGURA N°88	Esquema y principio de operación, posiciones de viga Benkelman.....	98
FIGURA N°89	Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.....	100
FIGURA N°90	Geometría de colocación de la viga Benkelman	101
FIGURA N°91	Procedimiento de medición de deflexión	102
FIGURA N°92	Mapa político del departamento de Tarija.....	109
FIGURA N°93	Inicio del tramo del proyecto.....	110
FIGURA N°94	Fin del tramo del proyecto.....	111

FIGURA N°95 Foto satelital tramo San Mateo – Sella.....	111
FIGURA N°96 Espesores del paquete estructural	113
FIGURA N°97 Sección transversal tramo San Mateo – Sella.....	114
FIGURA N°98 Espesores paquete estructural tramo San Mateo – Sella	114
FIGURA N°99 Unidades de muestreo para el método PCI.....	115
FIGURA N°100 Curva de valor deducido de fisura longitudinal y transversal	131
FIGURA N°101 Curva para valor deducido corregido	132

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
TABLA N° 1	Escala de clasificación de PCI..... 23
TABLA N° 2	Niveles de severidad para huecos 54
TABLA N° 3	Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad 68
TABLA N° 4	Lista de equipo que fueron calibrados para predecir el F60 70
TABLA N° 5	Criterios para calificar la seguridad vial según valores de CRD 77
TABLA N° 6	Criterios para calificar la seguridad vial según PT 78
TABLA N° 7	Longitud de onda y amplitud de las texturas del pavimento 79
TABLA N° 8	Características de la resiliencia y dureza del caucho..... 89
TABLA N° 9	Distancias recomendadas a emplear 99
TABLA N°10	Coordenadas de progresivas del tramo San Mateo - Sella 112
TABLA N°11	Paquete estructural del tramo 113
TABLA N°12	Longitudes de unidades de muestreo asfálticas 115
TABLA N°13	Hoja de registro de fallas por el método PCI..... 118
TABLA N°14	Ejemplo de relevamiento de fallas..... 119
TABLA N°15	Datos del ensayo círculo de arena (ida)..... 120
TABLA N°16	Datos del ensayo péndulo de fricción (ida) 121
TABLA N°17	Datos del ensayo círculo de arena (ida)..... 122
TABLA N°18	Datos del ensayo péndulo de fricción (vuelta) 123
TABLA N°19	Ejemplo de obtención de datos del ensayo IRI con rueda de Merlín . 124
TABLA N°20	Datos de deflexiones en carril derecho del tramo..... 126
TABLA N°21	Fallas existentes en la unidad de muestra 130
TABLA N°22	Rangos de clasificación del PCI 132

TABLA N°23	Resultados del km 1.....	133
TABLA N°24	Resultados del km 2.....	134
TABLA N°25	Resultados del km 3.....	135
TABLA N°26	Resultados del km 4.....	136
TABLA N°27	Resultados del km 5.....	137
TABLA N°28	Resultados del km 6.....	138
TABLA N°29	Resultados de todo el tramo.....	139
TABLA N°30	Corrección por temperatura del péndulo y prom. círculo de arena	142
TABLA N°31	Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos	143
TABLA N°32	Tabla de los cálculos para carril ida	145
TABLA N°33	Fricción encontrada a partir de la velocidad S	146
TABLA N°34	Corrección por temperatura del péndulo y prom. círculo de arena	147
TABLA N°35	Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos	148
TABLA N°36	Tabla de los cálculos para carril de vuelta.....	149
TABLA N°37	Fricción encontrada a partir de la velocidad S	150
TABLA N°38	Resultados según la PT para carril de ida.....	151
TABLA N°39	Resultados según el CRD para carril de ida	152
TABLA N°40	Resultados según la PT para carril de vuelta.....	153
TABLA N°41	Resultados según el CRD para carril de vuelta	154
TABLA N°42	Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta PT	155
TABLA N°43	Criterios para calificar la seguridad vial tomando en cuenta CRD	156
TABLA N°44	Sección con datos obtenidos con el rugosímetro de Merlín	157
TABLA N°45	Segunda sección (ida) obtenidos con el rugosímetro de Merlín.....	159
TABLA N°46	Primera sección (vuelta) obtenidos con el rugosímetro de Merlín	161

TABLA N°47	Resultados del IRI de todo el tramo (ida).....	163
TABLA N°48	Resultados del IRI de todo el tramo (vuelta).....	164
TABLA N°49	Clasificación del rango de rugosidad.....	165
TABLA N°50	Planilla de cálculos de la viga Benkelman del carril derecho	166
TABLA N°51	Planilla de cálculos de la viga Benkelman del carril izquierdo	170
TABLA N°52	Rangos de evaluación estructural	173

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
GRÁFICA N° 1 PCI vs progresiva del km 1	133
GRÁFICA N° 2 PCI vs progresiva del km 2.....	134
GRÁFICA N° 3 PCI vs progresiva del km 3.....	135
GRÁFICA N° 4 PCI vs progresiva del km 4.....	136
GRÁFICA N° 5 PCI vs progresiva del km 5.....	137
GRÁFICA N° 6 PCI vs progresiva del km 6.....	138
GRÁFICA N° 7 Curva de fricción vs velocidad de deslizamiento (ida).....	146
GRÁFICA N° 8 Curva de fricción vs velocidad de deslizamiento (vuelta).....	150
GRÁFICA N° 9 Distribución de frecuencias.....	158
GRÁFICA N°10 Distribución de frecuencias.....	160
GRÁFICA N°11 Distribución de frecuencias.....	162
GRÁFICA N°12 Deflexiones máximas.....	169
GRÁFICA N°13 Radios de curvatura	169
GRÁFICA N°14 Deflexiones máximas.....	172
GRÁFICA N°15 Radios de curvatura	173

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO N° 1 Equipos para la medición del IRI	17
CUADRO N° 2 Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo.....	69