

**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 DE LAS  
CONDICIONES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE DEL TRAMO  
SELLA CERCADO – MONTE CERCADO”**

**Por:**

**SERGIO ZAMORA NEGRETTE**

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

**SEMESTRE – II- 2020**

**TARIJA-BOLIVIA**

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

### **DEDICATORIA:**

Dedico este trabajo a mis padres, por guiar mi camino e impulsarme a alcanzar todas y cada una de las metas que trazo en mi camino.

A mi abuelito José quien fue la figura que escogí como ejemplo a seguir y me motivo a culminar con éxitos esta etapa de mi vida.

A mis hermanos por acompañarme a lo largo de este camino y ser parte fundamental de mi vida.

A todas aquellas personas que de alguna manera hicieron posible que llegar hasta aquí sea una realidad.

### **AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco de todo corazón a mis padres por el sacrificio que significo para ellos darme la oportunidad de alcanzar esta meta, por el amor y apoyo incondicional que recibo de ellos cada día de mi vida y por ser los guías que hacen de mí una mejor persona.

A mi abuelita Blanca por todo su apoyo y cada consejo que me brinda cuando más lo necesito.

A mis tíos, primos, amigos y a mi novia que siempre están ahí para darme un voto de aliento.

A todos los docentes y personas que aportaron conocimientos para mi formación profesional.

Una por todas te digo que te estoy  
idolatrando...

“Jose Zamora Zelaya”

## ÍNDICE

Página

### CAPITULO I

INTRODUCCION .....	1
1.1. Antecedentes. ....	1
1.2. Justificación. ....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.3.1. Situación problemática.....	5
1.3.2. Problema. ....	5
1.4. Objetivos del proyecto. ....	5
1.4.1. Objetivo general. ....	5
1.4.2. Objetivos específicos. ....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Identificación de variables. ....	6
1.5.2. Operacionalización de la variable dependiente.....	8
1.6. Diseño metodológico .....	9
1.6.1. Componentes.....	9
1.6.1.1. Unidad de estudio.....	9
1.6.1.2. Población.....	9
1.6.1.3. Muestra.....	9
1.6.1.4. Muestreo.....	9
1.6.2. Tipo de investigación .....	9
1.7. Alcance.....	10
1.8. Esquema de la perspectiva usada .....	12
1.9. Métodos y procedimientos lógicos .....	13

## CAPITULO II

GENERALIDADES Y METODOLOGIAS APLICADAS EN LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO FLEXIBLE .....	15
2.1. Pavimentos flexibles .....	16
2.1.1. Comportamiento estructural de los pavimentos .....	18
2.1.2. Fallas en los pavimentos .....	19
2.3.1. Descripción de las fallas superficiales .....	20
2.2. Evaluación de pavimentos .....	53
2.2.1. Evaluación superficial de pavimentos flexibles.....	53
2.2.1.1. Evaluación mediante el Índice de Condición de un Pavimento (PCI).....	54
2.2.1.1.1. Procedimiento para la evaluación del PCI .....	55
2.2.1.1.2. División del pavimento en unidades de muestra.....	57
2.2.1.1.3. Cálculo del PCI en una capa de rodadura .....	60
2.2.1.2. Metodología para la determinación de la rugosidad (IRI) .....	62
2.2.1.2.1. El rugosímetro Merlín.....	64
2.2.1.2.2. Ejecución de ensayos .....	67
2.2.1.2.3. Método para el cálculo de la rugosidad.....	69
2.2.1.3. Evaluación mediante el índice de fricción internacional, IFI .....	72
2.2.1.3.1. Medición de la textura por medio de la prueba del círculo de arena .....	74
2.2.1.3.2. Medición de la fricción por medio del péndulo inglés.....	78
2.2.2. Evaluación estructural de pavimentos flexibles.....	82
2.2.2.1. Medición de deflexiones usando viga Benkelman.....	83
2.2.2.1.1. Procedimiento de medición aplicando la viga Benkelman .....	85
2.2.2.1.2. Cálculo de las deflexiones.....	89
2.2.2.1.3. Cálculo del radio de curvatura .....	90

2.3. Manteniendo y rehabilitación de pavimentos .....	90
2.3.1. Técnicas de mantenimiento de pavimentos.....	91
2.4. Marco Normativo.....	107
2.5. Análisis y Tendencias .....	108
2.6. Posición del investigador .....	108

### CAPITULO III

CARACTERISTICAS DEL TRAMO SELLA CERCADO - MONTE CERCADO Y CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE INFORMACION.....	109
--	-----

3.1. Zona de estudio.....	109
3.2. Relevamiento de información.....	111
3.3. Evaluación superficial.....	116
3.3.1. Procedimiento de la aplicación del método del PCI .....	117
3.3.1.1. Unidades de muestreo .....	117
3.3.1.2. Determinación de las unidades de muestreo para la evaluación.....	117
3.3.1.3. Selección de las unidades de muestreo para la inspección .....	118
3.3.1.4. Cálculo del Índice de Condición del Pavimento.....	119
3.3.2. Procedimiento para el método de aplicación del IRI .....	121
3.3.2.1. Ejecución de ensayos .....	121
3.3.3 Procedimiento de aplicación para el método IFI.....	124
3.3.3.1. Ejecución de ensayos mediante el círculo de arena .....	124
3.3.3.2. Ejecución de ensayos mediante el Péndulo Británico.....	125
3.4. Evaluación estructural.....	127
3.4.1. Procedimiento de medición con la viga Benkelman.....	127

### CAPITULO IV

DETERMINACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	129
--	-----



4.1. Evaluación superficial por el método del IRI .....	129
4.1.1. Procedimiento de calculo .....	129
4.1.2. Resultados de la evaluación superficial mediante el método IRI .....	132
4.1.3. Tratamiento Estadístico.....	134
4.1.4. Análisis de Resultados .....	136
4.2. Evaluación superficial por el método IFI.....	136
4.2.1. Procedimiento para el cálculo. ....	136
4.2.2. Resultados de la evaluación superficial mediante el método IFI.....	138
4.2.3. Tratamiento estadístico. ....	141
4.2.4. Análisis de resultados.....	143
4.3. Evaluación superficial por el método del PCI .....	143
4.3.1. Procedimiento de cálculo .....	143
4.3.2. Resultados de la evaluación superficial .....	149
4.3.2.1. Resultados de la clasificación del PCI para cada kilómetro .....	150
4.3.2.2. Cantidad de metros de cada falla según su severidad en cada km. ....	156
4.3.2.3. Resultados del porcentaje de cada tipo de falla en cada kilómetro.....	158
4.3.3. Tratamiento estadístico .....	161
4.3.4. Análisis de los resultados .....	162
4.3.4.1. Análisis de resultados según el porcentaje de cada tipo de falla.....	162
4.3.4.2. Análisis de resultados según la clasificación del PCI en todo el tramo .....	166
4.3.4.3. Cantidad de metros de cada falla según su severidad en todo el tramo .....	167
4.3.4.4. Alternativas de solución.....	169
4.3.4.5. Descripción de material, personal, herramientas y equipo por ítem. ....	170
4.4. Evaluación estructural por el método de la viga Benkelman.....	175
4.4.1. Procedimiento de cálculo de deflexiones.....	175

4.4.2. Resultados de la evaluación estructural .....	178
4.4.3. Tratamiento estadístico .....	185
4.4.4. Análisis de resultados de la evaluación estructural.....	191

## CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	193
5.1. Conclusiones .....	193
5.2. Recomendaciones.....	195

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

ANEXO 1: Caracterización capa base y capa sub base

ANEXO 2: Evaluación superficial método PCI

ANEXO 3: Evaluación superficial método IRI

ANEXO 4: Evaluación superficial método IFI

ANEXO 5: Evaluación estructural

ANEXO 6: Documentación complementaria

ANEXO 7: Imágenes

## INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. 1 Identificación de variables. ....	7
Tabla 1. 2 Operacionalización de la variable dependiente.....	8
Tabla 2. 1 Niveles de severidad para huecos.....	42
Tabla 2. 2 Rangos de clasificación del PCI.....	55
Tabla 2. 3 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas .....	57
Tabla 2. 4 Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad .....	72
Tabla 2. 5 Ecuaciones para determinar S según el tipo de equipo.....	73
Tabla 2. 6 Criterio para evaluar los valores de fricción .....	81
Tabla 2. 7 Correlación de categoría de acción con el rango de PCI .....	91
Tabla 3. 1 Descripción paquete estructural del tramo.....	111
Tabla 3. 2 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas. ....	117
Tabla 3. 3 Hoja de registro de fallas por el método del PCI. ....	119
Tabla 3. 4 Ejemplo de relevamiento de fallas.....	120
Tabla 3. 5 Formato de recolección de datos de campo .....	122
Tabla 3. 6 Ejemplo de levantamiento de datos con el equipo de Merlin .....	123
Tabla 3. 7 Ejemplo de levantamiento de datos con el equipo Circulo de Arena .....	125
Tabla 3. 8 Ejemplo de levantamiento de datos con el equipo Circulo de Arena .....	126
Tabla 3. 9 Hoja de relevamiento de fallas para la viga Benkelman.....	128
Tabla 3. 10 Ejemplo de relevamiento de datos de la viga Benkelman .....	128
Tabla 4. 1 Resultados de la unidad de muestra 14 carril derecho.....	131
Tabla 4. 2 Clasificación del rango de rugosidad.....	132
Tabla 4. 3 Resultados IRI carril derecho.....	132
Tabla 4. 4 Resultados IRI carril derecho.....	133
Tabla 4. 5 Tratamiento estadístico del IRI carril derecho.....	134
Tabla 4. 6 Tratamiento estadístico del IRI carril derecho.....	135
Tabla 4. 7 Valores promedios de datos tomados en campo .....	136
Tabla 4. 8 Datos de BPN corregidos por temperatura .....	137
Tabla 4. 9 Tabla de resultados para el carril derecho.....	138
Tabla 4. 10 Tabla de resultados para el carril izquierdo mediante el método IFI.....	139

Tabla 4. 11	Tabla de tratamiento estadístico para el carril derecho.....	141
Tabla 4. 12	Tabla de tratamiento estadístico para el carril izquierdo .....	142
Tabla 4. 13	Fallas existentes en la unidad de muestra. ....	143
Tabla 4. 14	Valores deducidos para fisuras en bloque.....	145
Tabla 4. 15	Obtención de los valores deducidos.....	146
Tabla 4. 16	Valores deducidos corregidos. ....	147
Tabla 4. 17	Obtención de los valores deducidos corregidos.....	148
Tabla 4. 18	Resultados de la unidad de muestra N°9.....	148
Tabla 4. 19	Rangos de clasificación del PCI. ....	149
Tabla 4. 20	Resultados del PCI para el km 1. ....	150
Tabla 4. 21	Resultados del PCI para el km 2. ....	151
Tabla 4. 22	Resultados del PCI para el km 3. ....	152
Tabla 4. 23	Resultados del PCI para el km 4. ....	153
Tabla 4. 24	Resultados del PCI para el km 5. ....	154
Tabla 4. 25	Resultados del PCI para el km 6. ....	155
Tabla 4. 26	Metrado de fallas según severidad en el km 1. ....	156
Tabla 4. 27	Metrado de fallas según severidad en el km 2. ....	156
Tabla 4. 28	Metrado de fallas según severidad en el km 3. ....	157
Tabla 4. 29	Metrado de fallas según severidad en el km 4. ....	157
Tabla 4. 30	Metrado de fallas según severidad en el km 5. ....	158
Tabla 4. 31	Metrado de fallas según severidad en el km 6. ....	158
Tabla 4. 32	Porcentaje de fallas en el km 1.....	158
Tabla 4. 33	Porcentaje de fallas en el km 2.....	159
Tabla 4. 34	Porcentaje de fallas en el km 3.....	159
Tabla 4. 35	Porcentaje de fallas en el km 4.....	160
Tabla 4. 36	Porcentaje de fallas en el km 5.....	160
Tabla 4. 37	Porcentaje de fallas en el km 6.....	160
Tabla 4. 38	Tratamiento estadístico del PCI. ....	161
Tabla 4. 39	Porcentaje de fallas en cada km. ....	163
Tabla 4. 40	Porcentaje de cada falla en todo el tramo. ....	163
Tabla 4. 41	Calificación del PCI por kilómetro en todo el tramo. ....	166

Tabla 4. 42 Calificación del PCI de todo el tramo.....	166
Tabla 4. 43 Metrado de fallas según severidad en todo el tramo.....	167
Tabla 4. 44 Operaciones de mantenimiento y rehabilitación para cada falla.....	169
Tabla 4. 45 Presupuesto general de mantenimiento de la vía.....	170
Tabla 4. 46 Datos de deflexiones en el carril derecho del tramo.....	175
Tabla 4. 47 Resultados de la viga Benkelman en el carril derecho.....	179
Tabla 4. 48 Resultados de la viga Benkelman en el carril izquierdo.....	182
Tabla 4. 49. Tabla de frecuencias viga Benkelman carril derecho.....	185
Tabla 4. 50. Tabla de frecuencias viga Benkelman carril izquierdo.....	188
Tabla 4. 51 Valores promedio de deflexiones en todo el tramo.....	192
Tabla 4. 52 Porcentaje de resultados en todo el tramo.....	192

## INDICE DE IMÁGENES

	Página
Imagen 2. 1 Sección típica transversal pavimento flexible.....	17
Imagen 2. 2 Comportamiento estructural de los pavimentos.....	18
Imagen 2. 3 Piel de cocodrilo de baja severidad.....	22
Imagen 2. 4 Piel de cocodrilo de severidad media.....	22
Imagen 2. 5 Piel de cocodrilo de alta severidad.....	22
Imagen 2. 6 Exudación de baja severidad.....	23
Imagen 2. 7 Exudación de severidad media.....	24
Imagen 2. 8 Exudación de alta severidad.....	24
Imagen 2. 9 Grietas en bloque de baja severidad.....	25
Imagen 2. 10 Grietas en bloque de baja severidad.....	26
Imagen 2. 11 Grietas en bloque de alta severidad.....	26
Imagen 2. 12 Grietas en bloque de alta severidad.....	27
Imagen 2. 13 Abultamientos y hundimientos de severidad media.....	27
Imagen 2. 14 Abultamientos y hundimientos de alta severidad.....	28
Imagen 2. 15 Corrugación de baja severidad.....	29
Imagen 2. 16 Corrugación de severidad media.....	29
Imagen 2. 17 Corrugación de alta severidad.....	29
Imagen 2. 18 Depresión de baja severidad.....	30
Imagen 2. 19 Depresión de severidad media.....	30
Imagen 2. 20 Depresión de alta severidad.....	31
Imagen 2. 21 Grieta de borde de baja severidad.....	32
Imagen 2. 22 Grieta de borde de severidad media.....	32
Imagen 2. 23 Grieta de borde de alta severidad.....	32
Imagen 2. 24. Grieta de reflexión de junta de baja severidad.....	34
Imagen 2. 25 Grieta de reflexión de junta de severidad media.....	34
Imagen 2. 26 Grieta de reflexión de junta de alta severidad.....	34
Imagen 2. 27 Desnivel carril / berma de baja severidad.....	35
Imagen 2. 28 Desnivel carril / berma de severidad media.....	35
Imagen 2. 29 Desnivel carril / berma de alta severidad.....	36

Imagen 2. 30 Grietas longitudinales y transversales de baja severidad. ....	37
Imagen 2. 31 Grietas longitudinales y transversales de severidad media. ....	38
Imagen 2. 32 Grietas longitudinales y transversales de alta severidad. ....	38
Imagen 2. 33 Parcheo y acometidas de servicios públicos de baja severidad. ....	39
Imagen 2. 34 Parcheo y acometidas de servicios públicos de severidad media. ....	40
Imagen 2. 35 Parcheo y acometidas de servicios públicos de alta severidad. ....	40
Imagen 2. 36 Pulimento de agregados. ....	41
Imagen 2. 37 Hueco de baja severidad. ....	42
Imagen 2. 38 Hueco de severidad media. ....	43
Imagen 2. 39 Hueco de severidad alta. ....	43
Imagen 2. 40 Cruce de vía férrea de baja severidad. ....	44
Imagen 2. 41 Cruce de vía férrea de severidad media. ....	44
Imagen 2. 42 Cruce de vía férrea de severidad alta. ....	44
Imagen 2. 43 Ahuellamiento de baja severidad. ....	46
Imagen 2. 44 Ahuellamiento de severidad media. ....	46
Imagen 2. 45 Ahuellamiento de alta severidad. ....	46
Imagen 2. 46 Desplazamiento de baja severidad. ....	47
Imagen 2. 47 Desplazamiento de severidad media. ....	48
Imagen 2. 48 Desplazamiento de severidad alta. ....	48
Imagen 2. 49 Grieta parabólica de baja severidad. ....	49
Imagen 2. 50 Grieta parabólica de severidad media. ....	49
Imagen 2. 51 Grieta parabólica de alta severidad. ....	50
Imagen 2. 52 Ejemplo de hinchamiento. ....	51
Imagen 2. 53 Meteorización / desprendimiento de agregados de baja severidad. ....	52
Imagen 2. 54 Meteorización / desprendimiento de agregados de severidad media. ..	52
Imagen 2. 55 Meteorización / desprendimiento de agregados de alta severidad .....	53
Imagen 2. 56 Formato de exploración de condición. ....	56
Imagen 2. 57 Formato para las iteraciones del cálculo del CDV. ....	61
Imagen 2. 58 Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio .....	62

Imagen 2. 59 Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva. ....	63
Imagen 2. 60 Esquema del rugosímetro del Merlín. ....	66
Imagen 2. 61 Escala grafica del rugosímetro de Merlín.....	67
Imagen 2. 62 Planilla de recolección de datos .....	68
Imagen 2. 63 Modelo del Índice de Fricción Internacional según el PIARC .....	74
Imagen 2. 64 Círculo de arena (ASTM E 965) .....	75
Imagen 2. 65 Péndulo de fricción británico (ASTM E 274) .....	78
Imagen 2. 66 Factor de corrección por temperatura.....	80
Imagen 2. 67 Comparación de dos tramos con IFI (F60, Sp) .....	82
Imagen 2. 68Esquema y principio de operación de la viga Benkelman.....	84
Imagen 2. 69 Posiciones de la viga Benkelman .....	85
Imagen 2. 70 Punto de ubicación del extremo de la viga Benkelman.....	86
Imagen 2. 71 Geometría de colocación de la viga Benkelman. ....	87
Imagen 2. 72 Procedimiento de medición de deflexión. ....	88
Imagen 2. 73 Máquina fresadora de pavimentos CAT PR-450 .....	92
Imagen 2. 74 Máquina fresadora de patín .....	93
Imagen 2. 75 Máquina fresadora con barredora incorporados.....	93
Imagen 2. 76 Métodos de fresado y reciclado en frío .....	93
Imagen 2. 77 Pavimento después de aplicar fresado.....	94
Imagen 2. 78 Mantenimiento de fresado en carretera .....	94
Imagen 2. 79 Métodos de fresado y reciclado en frío .....	94
Imagen 2. 80 Reciclado “in situ” en frío con cemento.....	95
Imagen 2. 81 Reciclado “in situ” en frío con cal y cemento .....	96
Imagen 2. 82 Reciclado “in situ” en frío con emulsiones asfálticas .....	96
Imagen 2. 83 Reciclado “in Situ”.....	97
Imagen 2. 84 Reciclado en planta .....	97
Imagen 2. 85 Parcheo en carretera .....	99
Imagen 2. 86 Aserrado de los bordes del área por reparar .....	99
Imagen 2. 87 Riego de liga a las paredes de la caja .....	100
Imagen 2. 88 Extensión y distribución de la mezcla asfáltica.....	100



Imagen 2. 89 Compactación de la mezcla.....	101
Imagen 2. 90 Parcheo terminado.....	101
Imagen 2. 91 Excavación de los materiales inadecuados.....	101
Imagen 2. 92 Riego de emulsión.....	102
Imagen 2. 93 Extensión de arena.....	103
Imagen 2. 94 Pavimento que presenta SAM.....	103
Imagen 2. 95 Pavimento antes y después del tratamiento superficial.....	103
Imagen 2. 96 Pavimento antes y después de la capa drenante.....	104
Imagen 2. 97 Aplicación de la lechada asfáltica.....	104
Imagen 2. 98 Resultado de microglomerado en caliente.....	105
Imagen 2. 99 Colocación de Sobrecapa asfáltica.....	105
Imagen 2. 100 Colocación de Geosintéticos.....	106
Imagen 2. 101 Acabado con el geotextil.....	106
Imagen 3. 1 Ubicación geográfica del tramo.....	109
Imagen 3. 2 Ubicación del tramo.....	110
Imagen 3. 3 Características de la estructura del tramo.....	112
Imagen 3. 4 Ensayo de granulometría.....	113
Imagen 3. 5 Ensayo de límites de atterberg.....	114
Imagen 3. 6 Ensayo de proctor T - 180.....	115
Imagen 3. 7 Ensayo de CBR.....	116
Imagen 4. 1 Curva de Valor deducido de Fisuras en bloque.....	144
Imagen 4. 2 Curva de los valores deducidos corregidos.....	146

## ÍNDICE DE GRAFICAS

	Página
Gráfica 4. 1 Histograma de frecuencias .....	129
Gráfica 4. 2 Histograma de frecuencias reduciendo el 10% .....	129
Gráfica 4. 3 Valores del IRI para el carril derecho .....	133
Gráfica 4. 4 Valores del IRI para el carril izquierdo .....	133
Gráfica 4. 5 Diagrama de frecuencias del PCI. ....	134
Gráfica 4. 6 Diagrama de frecuencias del PCI. ....	135
Gráfica 4.7 Corrección por temperatura para las medidas de BPN con el péndulo de fricción.....	137
Gráfica 4. 8 Representación gráfica del IFI para el carril derecho.....	139
Gráfica 4. 9 Representación gráfica del IFI para el carril derecho.....	140
Gráfica 4. 10 PCI vs progresiva del km 1. ....	150
Gráfica 4. 11 PCI vs progresiva del km 2. ....	151
Gráfica 4. 12 PCI vs progresiva del km 3. ....	152
Gráfica 4. 13 PCI vs progresiva del km 4. ....	153
Gráfica 4. 14 PCI vs progresiva del km 5. ....	154
Gráfica 4. 15 PCI vs progresiva del km 6. ....	155
Gráfica 4. 16 Diagrama de frecuencias del PCI. ....	161
Gráfica 4. 17 Porcentaje de cada tipo de falla en todo el tramo.....	164
Gráfica 4. 18 Deflexiones máximas y radios de curvatura carril derecho. ....	181
Gráfica 4. 19 Deflexiones máximas y radios de curvatura carril izquierdo. ....	184
Gráfica 4. 20 Diagrama de frecuencias de la viga Benkelman carril derecho .....	185
Gráfica 4. 21 Diagrama de frecuencias de la viga Benkelman carril izquierdo .....	188