

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 LA VÍA
TARIJA – SAN ANDRÉS”**

Por:

ALEX DAVID PUMA BENAVIDEZ

Proyecto 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

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 LA VÍA
TARIJA – SAN ANDRÉS”**

Por:

ALEX DAVID PUMA BENAVIDEZ

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

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV – 502

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II

SEMESTRE I, GESTIÓN 2021

TARIJA – BOLIVIA

V° B°

M.Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda
DECANO a. i.
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

M.Sc. Lic. Deysi Arancibia Marquez
VICEDECANA a. i.
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

Ing. Ada Gladys López Rueda

Ing. José Ricardo Arce Avendaño

Ing. Laura Karina Soto Salgado

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

DEDICATORIA:

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios por darme la bendición de una hermosa familia y permitirme alcanzar mis metas. A mi padre Luis Puma, por levantarme y apoyarme en los momentos difíciles, a mi madre Basilia Benavidez, por la tolerancia, sacrificio y amor incondicional durante mi formación académica, a mis hermanos Edwin, Jhonny, Rodolfo y sobrinos que son una motivación para seguir adelante en mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS:

A mis docentes, que fueron los guías principales para mi formación y que me trazaron el camino para la realización y culminación de este trabajo.

PENSAMIENTO:

“La vida te pondrá obstáculos, unas más difíciles que otras, superarlas no es opción, esas son las cosas que nos fortalecen y nos definen hasta donde podemos llegar”.

Alex P.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1. Estado del pavimento	2
1.1.2. Antecedentes	3
1.2. Justificación del proyecto de aplicación	3
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.3.1. Situación problemática.....	4
1.3.2. Problema	4
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Definición de variables	6
1.6.1. Variable independiente	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.7. Diseño metodológico	7
1.7.1. Componentes.....	7
1.7.1.1. Unidades de estudio	7
1.7.1.2. Población.....	7
1.7.1.3. Muestra.....	7
1.7.1.4. Muestreo.....	7
1.7.1.5. Medios.....	8
1.8. Esquema estructural	11
1.9. Alcance del estudio de aplicación	12

CAPÍTULO II
EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

	Página
2.1. Definición de pavimentos	13
2.2. Características de un pavimento.....	14
2.3. Componentes de un pavimento flexible.....	14
2.3.1. Capa subrasante.....	14
2.3.2. Capa subbase.....	15
2.3.3. Capa base	17
2.3.4. Carpeta asfáltica.....	18
2.4. Fallas en pavimentos flexibles	19
2.4.1. Fallas estructurales	19
2.4.2. Fallas de superficie.....	19
2.5. Evaluación de pavimentos.....	20
2.5.1. Importancia de la evaluación de pavimentos	21
2.5.2. Componentes de la evaluación de pavimentos	21
2.6. Evaluación superficial de un pavimento flexible.....	22
2.6.1. PCI (índice de condición del pavimento).....	22
2.6.2. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	24
2.6.3. Materiales e instrumentos para determinar el PCI	29
2.6.4. Metodología de cálculo PCI en vías con capa de rodadura asfáltica	30
2.6.5. Metodología de cálculo del PCI de una sección de pavimento.....	32
2.6.6. Descripción de las fallas, niveles de severidad y unidad de medida.....	33
2.6.7. IRI (índice de regularidad superficial)	56
2.6.8. Procedimiento de medición de la regularidad superficial	58
2.6.9. Índice de serviciabilidad de un pavimento (PSI)	61
2.6.10. Metodología de cálculo del PSI	63
2.6.11. Textura del pavimento IFI (índice de fricción internacional)	64
2.6.12. Micro textura.....	65

2.6.13. Macro textura	66
2.6.14. Medición de la fricción del pavimento.....	67
2.7. Evaluación estructural del pavimento	70
2.7.1. Solicitaciones principales de un pavimento	72
2.7.2. Métodos de evaluación estructural.....	74
2.7.3. Calicatas o pozos a cielo abierto	74
2.7.4. Extracción de núcleos	76
2.7.5. Métodos indirectos de evaluación estructural.....	80
2.7.6. Viga Benkelman.....	82
2.7.7. Metodología para el cálculo con la viga Benkelman	87

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Página
3.1. Ubicación del tramo en estudio.....	97
3.2. Características del tramo en estudio.....	98
3.3. Evaluación superficial del tramo en estudio	99
3.3.1. Aplicación del método PCI (índice de condición de pavimento)	99
3.3.2. Procedimiento del índice de condición de pavimento (PCI).....	104
3.3.3. Resultados y análisis de los resultados del PCI	109
3.3.3.1. Análisis de los resultados parciales.....	109
3.3.3.2. Análisis de los resultados por kilómetro de vía	114
3.3.3.3. Análisis de los resultados por sección de vía.....	115
3.3.3.4. Análisis del resultado del proyecto	116
3.3.4. Aplicación del índice de regularidad internacional (IRI).....	116
3.3.5. Procedimiento de medición.....	116
3.3.6. Procedimiento de cálculo	117
3.3.7. Resultados y análisis de resultados del IRI.....	118
3.3.7.1. Análisis de resultados parciales	118
3.3.7.2. Análisis de resultados por kilómetro de vía	121

3.3.7.3. Análisis de resultado del proyecto	122
3.3.8. Aplicación del índice de serviciabilidad presente (PSI)	123
3.3.9. Metodología de cálculo del PSI	123
3.3.10. Resultados y análisis de los resultados del PSI.....	124
3.3.10.1. Análisis de los resultados por kilometro	124
3.3.10.2. Análisis de resultado del PSI del proyecto.....	125
3.3.11. Aplicación del índice de fricción internacional (IFI).....	125
3.3.12. Procedimiento de medición del IFI.....	125
3.3.13. Procedimiento de cálculo del IFI	125
3.3.14. Resultados y análisis de resultados del IFI	130
3.3.14.1. Análisis de resultados parciales	130
3.3.14.2. Análisis de resultados por kilometro.....	132
3.3.14.3. Análisis de resultados del proyecto.....	133
3.3.15. Análisis general de resultados de la evaluación superficial	133
3.3.15.1. Índice de condición del pavimento (PCI).....	133
3.3.15.2. Índice de rugosidad internacional (IRI)	134
3.3.15.3. Índice de serviciabilidad presente (PSI).....	135
3.3.15.4. Índice de fricción internacional (IFI).....	135
3.4. Evaluación estructural del tramo en estudio	136
3.4.1. Viga Benkelman.....	136
3.4.2. Procedimiento de medición.....	136
3.4.3. Procedimiento de cálculo con la viga Benkelman	137
3.4.4. Resultados y análisis de resultados de la viga Benkelman	140
3.4.4.1. Análisis de resultados parciales	140
3.4.4.2. Análisis de resultados por kilometro.....	143
3.4.4.3. Análisis de resultados del proyecto.....	144
3.4.5. Calicata o pozo a cielo abierto	144
3.4.5.1. Ensayos realizados	145
3.4.5.2. Resultados y análisis de resultados de la muestra de suelo.....	147

3.4.6. Extracción de núcleos	147
3.4.6.1. Ensayos realizados	148
3.4.6.2. Resultados y análisis de resultados	150
3.4.7. Análisis general de resultados de la evaluación estructural	154
3.4.7.1. Viga Benkelman.....	154
3.4.7.2. Calicatas o pozo a cielo abierto.....	155
3.4.7.3. Extracción de núcleos	155
3.4.8. Análisis de los resultados de la evaluación superficial y estructural	156

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones	158
4.2. Recomendaciones.....	160

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Variable independiente	6
Tabla 2 Variable dependiente	6
Tabla 3 Requisitos para subbase granular	16
Tabla 4 Requisito para base granular	17
Tabla 5 Rangos de calificación del PCI	23
Tabla 6 Hoja de registro para el PCI.....	25
Tabla 7 Longitudes de unidades de muestreo	25
Tabla 8 Formato para la obtención del máximo valor deducido corregido	32
Tabla 9 Niveles de severidad para huecos	49
Tabla 10 Clasificación según valores del IRI	61
Tabla 11 Clasificación del PSR.....	61
Tabla 12 Rangos de aceptabilidad del PSR.....	62
Tabla 13 Niveles de aceptabilidad para las diferentes correlaciones	63
Tabla 14 Valores de fricción con péndulo británico	69
Tabla 15 Puntuación de acuerdo a las características de deterioro	70
Tabla 16 Valores referenciales de CBR, usos y suelos.....	76
Tabla 17 Porcentaje mínimo y máximo que pasa del total (ASTM D-3515)	79
Tabla 18 Porcentaje mínimo de contenido asfáltico	80
Tabla 19 Espesores de los distintos tratamientos superficiales.....	80
Tabla 20 Recomendaciones del punto de ensayo sobre el pavimento	83
Tabla 21 Factor de corrección por estacionalidad.....	88
Tabla 22 Significado ecuaciones de deflexión característica.....	92
Tabla 23 Longitudes de unidades de muestreo asfáltico.....	100
Tabla 24 Muestras seleccionadas para el PCI prog. 0+000 – 8+000	102
Tabla 25 Muestras seleccionadas para el PCI prog. 8+000 - 9+220.....	104
Tabla 26 Planilla de recolección de datos para el PCI.....	105
Tabla 27 Ejemplo de hoja de registro de una vía de pavimento flexible	107

Tabla 28	Calculo del PCI en un pavimento flexible	107
Tabla 29	Índice de condición del pavimento (PCI) y escala de graduación	109
Tabla 30	Calificación PCI progresivas 0+000 a 2+000	109
Tabla 31	Calificación PCI progresivas 2+000 a 4+000	110
Tabla 32	Calificación PCI progresivas 4+000 a 6+000	111
Tabla 33	Calificación PCI progresivas 6+000 a 8+000	112
Tabla 34	Calificación PCI progresivas 8+000 a 9+220	113
Tabla 35	Calificación PCI por kilómetro de vía	114
Tabla 36	Calificación PCI por secciones de vía.....	115
Tabla 37	Calificación PCI del proyecto	116
Tabla 38	Cálculo del IRI.....	117
Tabla 39	Calificación IRI por kilometro.....	121
Tabla 40	Calificación IRI de proyecto	122
Tabla 41	Calificación PSI por kilometro	124
Tabla 42	Calificación PSI de proyecto	125
Tabla 43	Mediciones del círculo de arena y péndulo británico	126
Tabla 44	Valores corregidos de péndulo británico	127
Tabla 45	Tratamiento estadístico mediante error porcentual de los ensayos.....	128
Tabla 46	Resultados de los valores en progresivas.....	129
Tabla 47	Análisis de resultados parciales del IFI.....	130
Tabla 48	Análisis de resultados del IFI por kilometro.....	132
Tabla 49	Análisis de resultado del IFI de proyecto.....	133
Tabla 50	Resultados de deflexión y radio de curvatura prog. 0+000 – 1+000	140
Tabla 51	Resultados de deflexión y radio de curvatura por kilometro	143
Tabla 52	Resultados de deflexión y radio de curvatura de proyecto	144
Tabla 53	Calificación según el CBR y uso de suelo	147
Tabla 54	Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 1+550.....	150
Tabla 55	Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 5+785.....	150
Tabla 56	Análisis de resultados de contenido de asfalto en progresiva 8+050.....	150

Tabla 57 Análisis de resultados de contenido de asfalto por eje de vía.....	151
Tabla 58 Análisis de resultados de contenido de asfalto de la vía.....	151
Tabla 59 Análisis de resultados de granulometría del carril derecho	151
Tabla 60 Análisis de resultados de granulometría del eje central.....	152
Tabla 61 Análisis de resultados de granulometría del carril izquierdo.....	153
Tabla 62 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 2+250.....	153
Tabla 63 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 3+660.....	154
Tabla 64 Resultados de espesor de carpeta asfáltica en progresiva 6+030.....	154
Tabla 65 Resultados de espesor de carpeta asfáltica promedio de la vía.....	154
Tabla 66 Comparación de la calificación de la evaluación superficial.....	156
Tabla 67 Resumen de calificación de la evaluación estructural	157

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1 Cinta métrica de 50 m y flexómetro	8
Gráfico 2 Estación total.....	8
Gráfico 3 Péndulo británico y equipo de círculo de arena	9
Gráfico 4 Deflectómetro Benkelman	9
Gráfico 5 Extractor de núcleos.....	10
Gráfico 6 Equipo de CBR	10
Gráfico 7 Capas de un pavimento flexible.....	13
Gráfico 8 Resumen de fallas en pavimentos flexibles	20
Gráfico 9 Piel de cocodrilo	35
Gráfico 10 Exudación	36
Gráfico 11 Fisuras en bloque	37
Gráfico 12 Abultamientos y hundimientos	39
Gráfico 13 Corrugación.....	40
Gráfico 14 Depresión.....	41
Gráfico 15 Fisura de borde.....	42
Gráfico 16 Fisura de reflexión de junta	44
Gráfico 17 Desnivel carril - berma.....	45
Gráfico 18 Fisuras longitudinales y transversales.....	46
Gráfico 19 Parches	47
Gráfico 20 Agregado pulido	48
Gráfico 21 Huecos y baches.....	50
Gráfico 22 Ahuellamiento.....	51
Gráfico 23 Desplazamiento.....	52
Gráfico 24 Fisura parabólica o por deslizamiento	53
Gráfico 25 Hinchamiento.....	54
Gráfico 26 Peladura por intemperismo o desprendimiento de agregados.....	56
Gráfico 27 Nivel y mira	58

Gráfico 28 Escala de valores del índice de rugosidad internacional.....	59
Gráfico 29 Péndulo ingles.....	65
Gráfico 30 Material para el círculo de arena.....	66
Gráfico 31 Procedimiento con el equipo de péndulo ingles	67
Gráfico 32 Comparación de la distribución de cargas en pavimentos	72
Gráfico 33 Elaboración de una calicata	75
Gráfico 34 Muestra de núcleo de pavimento	77
Gráfico 35 Equipo portátil para extracción de núcleos.....	77
Gráfico 36 Medición con la viga Benkelman	82
Gráfico 37 Viga coincidente con el centro de las llantas	84
Gráfico 38 Configuración geométrica del sistema de carga	85
Gráfico 39 Posiciones adoptadas por el vehículo de carga.....	86
Gráfico 40 Significado cualitativo de las diferentes curvas de deflexiones.....	90
Gráfico 41 Mapa político del departamento de Tarija	97
Gráfico 42 Tramo "Tarija - San Andrés"	97
Gráfico 43 Progresivas de muestras.....	104
Gráfico 44 Medición de fallas superficiales.....	106
Gráfico 45 Curvas de corrección del valor deducido para pavimentos asfálticos	108
Gráfico 46 Frecuencia de calificación de la sección 1	110
Gráfico 47 Frecuencia de calificación de la sección 2.....	111
Gráfico 48 Frecuencia de calificación de la sección 3.....	112
Gráfico 49 Frecuencia de calificación de la sección 4.....	113
Gráfico 50 Frecuencia de calificación de la sección 5.....	114
Gráfico 51 Frecuencia de calificación por kilómetro de vía.....	115
Gráfico 52 Frecuencia de calificación por sección de vía.....	115
Gráfico 53 Medición con el equipo "estación total"	116
Gráfico 54 Perfil ideal y real para el cálculo del IRI	117
Gráfico 55 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 0+000 a 1+000.....	118
Gráfico 56 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 1+000 a 2+000.....	119

Gráfico 57 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 2+000 a 3+000.....	119
Gráfico 58 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 3+000 a 4+000.....	119
Gráfico 59 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 4+000 a 5+000.....	120
Gráfico 60 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 5+000 a 6+000.....	120
Gráfico 61 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 6+000 a 7+000.....	120
Gráfico 62 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 7+000 a 8+000.....	121
Gráfico 63 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 8+000 a 9+220.....	121
Gráfico 64 Frecuencia de calificación del IRI progresivas 0+000 a 9+220.....	122
Gráfico 65 Escala estándar de calificación del IRI para diferentes tipos de vías	122
Gráfico 66 Frecuencia de calificación del PSI progresivas 0+000 a 9+220	124
Gráfico 67 Medición con el péndulo británico	125
Gráfico 68 Procedimiento con el círculo de arena	126
Gráfico 69 Corrección por temperatura para el péndulo británico	127
Gráfico 70 Frecuencia de calificación de textura progresivas 0+000 a 9+220.....	131
Gráfico 71 Frecuencia de calificación de fricción progresivas 0+000 a 9+220.....	131
Gráfico 72 Frecuencia de calificación de textura por kilómetro.....	132
Gráfico 73 Frecuencia de calificación de fricción por kilómetro	133
Gráfico 74 Lectura de la viga Benkelman.....	137
Gráfico 75 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 0+000 – 1+000	140
Gráfico 76 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 1+000 - 2+000.....	141
Gráfico 77 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 2+000 - 3+000.....	141
Gráfico 78 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 3+000 - 4+000.....	141
Gráfico 79 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 4+000 - 5+000.....	142
Gráfico 80 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 5+000 - 6+000.....	142
Gráfico 81 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 6+000 - 7+000.....	142
Gráfico 82 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 7+000 - 8+000.....	143
Gráfico 83 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura prog. 8+000 - 9+220.....	143
Gráfico 84 Porcentajes de deflexión y radio de curvatura por kilómetro	144
Gráfico 85 Capas estructurales de la vía.....	145

Gráfico 86 Tamizado de suelo	145
Gráfico 87 Compactación de suelo	146
Gráfico 88 Lectura de la prensa de CBR	146
Gráfico 89 Extracción de núcleo del pavimento	147
Gráfico 90 Separación del ligante y el agregado con el equipo de centrifugo.....	148
Gráfico 91 Agregado del núcleo extraído	149
Gráfico 92 Espesor de la muestra obtenida.....	149
Gráfico 93 Comparación con los límites de curvas del carril derecho	152
Gráfico 94 Comparación con los límites de curvas del eje de la vía	152
Gráfico 95 Comparación con los límites de curvas del carril izquierdo	153

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.- PCI

Anexo 1a. Curvas de Valor deducido

Anexo 1b. Lecturas adicionales

Anexo 1c. Registro de fallas y calificación

Anexo 1d. Resultados

ANEXO 2.- IRI y PSI

Anexo 2a. Cálculo y resultados

Anexo 2b. PSI

ANEXO 3.- IFI

Anexo 3a. Cálculo del IFI

Anexo 3b. Resultados

ANEXO 4.- Viga Benkelman

Anexo 4a. Cálculo con viga Benkelman

Anexo 4b. Resultados

Anexo 4c. Aforo

Anexo 4d. Esal`s

ANEXO 5.- Calicatas

ANEXO 6.- Extracción de núcleos

Anexo 6a. Contenido de asfalto

Anexo 6b. Granulometría ASTM

Anexo 6c. Dimensión de muestras

ANEXO 7.- Análisis de costos

Anexo 7a. Análisis de precios unitarios

Anexo 7b. Opciones de reparación

Anexo 7c. Cómputos métricos

Anexo 7d. Presupuesto parcial y total