

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL EN
PAVIMENTOS EN EL TRAMO YACUIBA-POCITOS”**

Por:

BRIAN VLADIMIR OCAMPO HILARIÓN

Proyecto de Grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE - I / 2019

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL EN
PAVIMENTOS EN EL TRAMO YACUIBA-POCITOS”**

Por:

BRIAN VLADIMIR OCAMPO HILARIÓN

Proyecto elaborado en la asignatura CIV-502

SEMESTRE - I / 2019

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

**DECANO FACULTAD
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANO FACULTAD
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Ada Gladys López Rueda

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

.....
M. Sc. Ing. Oscar M. Chávez Calla

DEDICATORIA:

A mi madre, pilar fundamental en toda motivación en mi vida, que jamás perdió la fe, la cual pudo enseñármela.

A mis hermanas por su paciencia y apoyo

AGRADECIMIENTO:

A mi poder superior que me permitió conocer el infierno, del cual me sacó y ahora me ayuda a escribir estas líneas.

PENSAMIENTO:

El mayor descubrimiento de mi generación es que un ser humano puede cambiar su vida al cambiar sus actitudes.

William James

Índice

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

	Pág.
1.1. Introducción	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.3. Hipótesis	2
1.4. Objetivos	2
1.4.1. Objetivo general.....	2
1.4.2. Objetivos específicos	3
1.5. Alcance	3
1.5.1. Ubicación	4
1.5.2. Clima.....	5

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

	Pág.
2.1. Definición de comportamiento del pavimento.....	6
2.2. Indicadores de comportamiento.....	6
2.3. Fallas en pavimentos.....	7
2.3.1. Calidad de tránsito (ride quality)	8
2.3.2. Fallas más comunes de pavimentos asfálticos	8
2.3.3. Fallas más comunes de pavimentos de hormigones	9
2.3.4. Clasificación de fallas en pavimentos.....	10

Fallas más comunes de pavimentos asfálticos	12
2.3.4.1. Piel de cocodrilo.	12
2.3.4.2. Exudación.	14
2.3.4.3. Agrietamiento en bloque.....	15
2.3.4.4. Abultamientos (bumps) y hundimientos (sags).	17
2.3.4.5. Corrugación.....	19
2.3.4.6. Depresión.	20
2.3.4.7. Grieta de borde.....	21
2.3.4.8. Grieta de reflexión de junta (de losas de concreto de cemento pórtland).	23
2.3.4.9. Desnivel carril / berma.....	25
2.3.4.10. Grietas longitudinales y transversales (no son de reflexión de losas de concreto de cemento pórtland).....	26
2.3.4.11. Parcheo y acometidas de servicios públicos.	28
2.3.4.12. Pulimento de agregados.	29
2.3.4.13. Huecos	30
2.3.4.14. Cruce de vía férrea.	32
2.3.4.15. Ahuellamiento.....	34
2.3.4.16. Desplazamiento.....	35
2.3.4.17. Grietas parabólicas (slippage).....	37
2.3.4.18. Hinchamiento.....	38
2.3.4.19. Meteorización /	39
2.3.4.20. Desprendimiento de agregados.	39
Fallas más comunes de pavimentos de hormigones.....	41
2.3.4.21. Blowup - buckling.....	41

2.3.4.22. Grieta de esquina.....	42
2.3.4.23. Losa dividida.....	44
2.3.4.24. Grieta de durabilidad “D”.....	45
2.3.4.25. Escala	47
2.3.4.26. Daño del sello de la junta.....	48
2.3.4.27. Desnivel carril / berma.....	50
2.3.4.28. Grietas lineales (Grietas longitudinales, transversales y diagonales).	51
2.3.4.29. Parche grande (mayor de 0.45 m ²) y acometidas de servicios públicos.	53
2.3.4.30. Parche pequeño (menor de 0.45 m ²).	55
2.3.4.31. Pulimento de agregados.	56
2.3.4.32. Popouts.....	57
2.3.4.33. Bombeo.	58
2.3.4.34. Punzonamiento.....	59
2.3.4.35. Cruce de vía férrea.	60
2.3.4.36. Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado.	62
2.3.4.37. Grietas de retracción.	63
2.3.4.38. Descascaramiento de esquina.	64
2.3.4.39. Descascaramiento de junta.....	66
2.4. Fricción superficial	68
2.5. Capacidad estructural.....	68
2.6. Evaluación de pavimentos	70
2.6.1. Evaluación superficial del pavimento.....	70
2.6.2. Evaluación estructural de pavimentos existentes.....	70
2.7. Definición de pavimentos	71

2.7.1.	Tipos de pavimentos	71
2.7.1.1.	Pavimentos flexibles	72
2.7.1.2.	Pavimentos rígidos.....	72
2.7.2.	Descripción funcional de las capas de pavimento	73
2.7.2.1.	Subrasante	73
2.7.2.2.	Subbase	73
2.7.2.3.	Base	74
2.7.3.	Capa de rodadura	74
2.8.	Tránsito	74
2.8.1.	Caracterización del tránsito.....	74
2.8.2.	Eje patrón y daño unitario.....	76
2.8.3.	Conversión de tránsito en ESALS	76
2.8.4.	Tipos de vehículos	76
2.9.	Métodos de diseño basados en ensayos de carreteras.....	78
2.9.1.	Road Test de la AASHTO	78
2.9.1.1.	Condiciones específicas para el Road Test de AASHTO.....	78
2.9.2.	Pavimentos flexibles	79
2.9.2.1.	Variables de entrada.....	80
2.9.3.	Pavimentos rígidos.....	83
2.9.3.1.	Variables de entrada.....	84
2.10.	Marco normativo.....	87

CAPÍTULO III

METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS

	Pág.
3.1. Metodología para los tipos de evaluación.....	88
3.2. Evaluación de deterioro en pavimentos	88
3.2.1. Índice de condición del pavimento (PCI – pavement condition index).....	88
3.2.2. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento.....	89
3.2.2.1. Unidades de muestreo	92
3.2.2.2. Determinación de las unidades de muestreo para evaluación.....	92
3.2.2.3. Selección de las unidades de muestreo para inspección	93
3.2.2.4. Selección de unidades de muestreo adicionales.....	94
3.2.2.5. Evaluación de la condición	95
3.2.3. Cálculo del PCI de las unidades de muestreo	95
3.2.3.1. Pavimentos con capa de rodadura asfáltica	96
3.2.3.2. Pavimentos con capa de rodadura en concreto de cemento pórtland.....	97
3.2.3.3. Cálculo del PCI de una sección de pavimento.....	98
3.3. Evaluación superficial de pavimentos	99
3.3.1. Resistencia al deslizamiento (fricción)	99
3.3.2. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL).....	99
3.3.2.1. Equipo y materiales.....	100
3.3.2.2. Selección espaciamiento de medición	101
3.3.2.3. Procedimiento de ensayo	101
3.3.2.4. Cálculos.....	103

3.3.2.5. Rangos de fricción	103
3.4. Evaluación estructural de pavimentos	105
3.4.1. Capacidad estructural basada en observación visual y ensayo de materiales..	105
3.4.1.1. Observación del estado del pavimento existente	105
3.4.1.2. Muestreo y ensayo de materiales	106
3.4.1.3. Determinación del número estructural efectivo S _{Nef} – Def.....	107
3.5. Años previstos de serviciavilidad final	111
3.5.1. Conversión de tránsito en ESALS - Procedimiento simplificado.....	112
3.5.1.1. Factor de equivalencia	113
3.5.1.2. Proyección de Tránsito (PDT _n)	114

CAPÍTULO IV

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Pág.
4.1. Definición de la red de pavimentos	116
4.1.1. Definición de tramo	116
4.1.2. Definición de sección.....	117
4.2. Definición de red de estudio tramos - secciones.....	117
4.3. Unidades de muestreo	119
4.4. Antecedentes del paquete estructural.....	122
4.5. Inventario de fallas.....	124
4.6. Índice de condición del pavimento	135
4.6.1. Resumen del PCI.....	139
4.7. Resistencia al desplazamiento.....	140

4.8.	Capacidad estructural.....	141
4.9.	Volumen de tráfico TPDA	148
4.10.	Operaciones de reparación para tipos de fallas existentes	152

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

		Pág.
5.1.	Conclusiones.....	159
5.2.	Recomendaciones	168

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I	Ábacos para el cálculo de los valores deducidos curvas para pavimentos asfálticos
ANEXO II	Método de evaluación PCI
ANEXO III	Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL)
ANEXO IV	Capacidad estructural basada en observación visual y ensayo de materiales
ANEXO V	Ensayos de laboratorios
ANEXO VI	Tráfico
ANEXO VII	Planos

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1-1 País Bolivia	4
Figura 1-2 Departamento Tarija.....	4
Figura 1-3 Provincia Gran Chaco	5
Figura 1-4 Ciudad Yacuiba	5
Figura 2-1 Piel de cocodrilo - baja.....	13
Figura 2-2 Piel de cocodrilo - media.....	13
Figura 2-3 Piel de cocodrilo – alta	13
Figura 2-4 Exudación - baja.....	15
Figura 2-5 Exudación - media.....	15
Figura 2-6 Exudación – alta	15
Figura 2-7 Agrietamiento en bloque - baja	16
Figura 2-8 Agrietamiento en bloque - media	16
Figura 2-9 Agrietamiento en bloque – alta	17
Figura 2-10 Abultamientos y hundimientos - baja.....	18
Figura 2-11 Abultamientos y hundimientos - media.....	18
Figura 2-12 Abultamientos y hundimientos – alta.....	18
Figura 2-13 Corrugación - baja.....	19
Figura 2-14 Corrugación - media.....	19
Figura 2-15 Corrugación – alta	20
Figura 2-16 Depresión - baja	21
Figura 2-17 Depresión - media	21
Figura 2-18 Depresión – alta.....	21

Figura 2-19 Grieta de borde - baja	22
Figura 2-20 Grieta de borde - media	22
Figura 2-21 Grieta de borde – alta	22
Figura 2-22 Grieta de reflexión de junta - baja.....	24
Figura 2-23 Grieta de reflexión de junta - media.....	24
Figura 2-24 Grieta de reflexión de junta – alta	24
Figura 2-25 Desnivel carril / berma - baja	25
Figura 2-26 Desnivel carril / berma - media	25
Figura 2-27 Desnivel carril / berma – alta	25
Figura 2-28 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) - baja.....	27
Figura 2-29 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) - media.....	27
Figura 2-30 Grietas longitudinales y transversales (No PCC) – alta	27
Figura 2-31 Parcheo y acometidas de servicios públicos – baja.....	29
Figura 2-32 Parcheo y acometidas de servicios públicos - media	29
Figura 2-33 Parcheo y acometidas de servicios públicos – alta.....	29
Figura 2-34 Pulimento de agregados	30
Figura 2-35 Huecos - baja.....	32
Figura 2-36 Huecos - media.....	32
Figura 2-37 Huecos – alta	32
Figura 2-38 Cruce de vía férrea - baja	33
Figura 2-39 Cruce de vía férrea - media	33
Figura 2-40 Cruce de vía férrea – alta.....	33
Figura 2-41 Ahuellamiento – baja.....	35
Figura 2-42 Ahuellamiento - media	35

Figura 2-43 Ahuellamiento – alta	35
Figura 2-44 Desplazamiento – baja.....	36
Figura 2-45 Desplazamiento - media	36
Figura 2-46 Desplazamiento – alta	36
Figura 2-47 Grietas parabólicas (slippage) – baja.....	38
Figura 2-48 Grietas parabólicas (slippage) - media	38
Figura 2-49 Grietas parabólicas (slippage) – alta	38
Figura 2-50 Hinchamiento	39
Figura 2-51 Meteorización / desprendimiento de agregados – baja	40
Figura 2-52 Meteorización / desprendimiento de agregados - media.....	40
Figura 2-53 Meteorización / desprendimiento de agregados – alta	41
Figura 2-54 Blowup - buckling – baja	42
Figura 2-55 Blowup - buckling - media.....	42
Figura 2-56 Blowup - buckling – alta	42
Figura 2-57 Grieta de esquina - baja.....	43
Figura 2-58 Grieta de esquina - media.....	43
Figura 2-59 Grieta de esquina – alta	44
Figura 2-60 Losa dividida - baja	45
Figura 2-61 Losa dividida - media.....	45
Figura 2-62 Losa dividida – alta	45
Figura 2-63 Grieta de durabilidad “D” - baja.....	46
Figura 2-64 Grieta de durabilidad “D” - media	46
Figura 2-65 Grieta de durabilidad “D” – alta.....	46
Figura 2-66 Escala - baja.....	48

Figura 2-67 Escala - media	48
Figura 2-68 Escala – alta.....	48
Figura 2-69 Daño del sello de la junta - baja	49
Figura 2-70 Daño del sello de la junta - media	49
Figura 2-71 Daño del sello de la junta – alta	50
Figura 2-72 Desnivel carril / berma - baja	51
Figura 2-73 Desnivel carril / berma - media	51
Figura 2-74 Desnivel carril / berma – alta	51
Figura 2-75 Grietas lineales - baja	53
Figura 2-76 Grietas lineales - media	53
Figura 2-77 Grietas lineales – alta	53
Figura 2-78 Parche grande y acometidas de servicios públicos - baja.....	54
Figura 2-79 Parche grande y acometidas de servicios públicos - media.....	54
Figura 2-80 Parche grande y acometidas de servicios públicos – alta.....	55
Figura 2-81 Parche pequeño - baja.....	56
Figura 2-82 Parche pequeño - media	56
Figura 2-83 Parche pequeño – alta.....	56
Figura 2-84 Pulimento de agregados	57
Figura 2-85 Popouts	58
Figura 2-86 Bombeo	59
Figura 2-87 Punzonamiento - baja	60
Figura 2-88 Punzonamiento - media.....	60
Figura 2-89 Punzonamiento – alta	60
Figura 2-90 Cruce de vía férrea - baja	61

Figura 2-91 Cruce de vía férrea - media	61
Figura 2-92 Cruce de vía férrea – alta.....	61
Figura 2-93 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado - baja.....	63
Figura 2-94 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado - media.....	63
Figura 2-95 Desconchamiento, mapa de grietas, craquelado – alta	63
Figura 2-96 Grietas de retracción.....	64
Figura 2-97 Descascaramiento de esquina - baja.....	65
Figura 2-98 Descascaramiento de esquina - media.....	65
Figura 2-99 Descascaramiento de esquina – alta	65
Figura 2-100 Descascaramiento de junta - baja	67
Figura 2-101 Descascaramiento de junta - media	67
Figura 2-102 Descascaramiento de junta – alta	67
Figura 2-103 Pérdida de la capacidad estructural en función al tiempo y tráfico.....	69
Figura 2-104 Esquema del comportamiento de pavimentos	71
Figura 2-105 Capas del pavimento flexible	72
Figura 2-106 Capas del pavimento rígido.....	72
Figura 2-107 Transferencia de carga longitudinal	86
Figura 3-1 Clasificación de la condición del pavimento.....	88
Figura 3-2 Péndulo TRRL.....	100
Figura 3-3 Curva de corrección.....	104
Figura 3-4 Factor de ajuste Fjc.....	109
Figura 4-1 Red vial de estudio.	118
Figura 4-2 Puntos de extracción de muestra	121
Figura 4-3 Piel de cocodrilo - 1.....	131

Figura 4-4 Corrugación - 5.....	131
Figura 4-5 Grieta de borde - 7.....	131
Figura 4-6 Parcheo - 11.....	131
Figura 4-7 Hueco - 13.....	131
Figura 4-8 Desplazamiento - 16.....	131
Figura 4-9 Grieta de esquina - 22.....	132
Figura 4-10 Desnivel de carril - 27.....	132
Figura 4-11 Losa dividida – 23.....	132
Figura 4-12 Escala - 25.....	132
Figura 4-13 Grieta lineal - 28.....	132
Figura 4-14 Parcheo - 29.....	132
Figura 4-15 Descaramiento de esquina - 38.....	133
Figura 4-16 Descaramiento de junta - 39.....	133
Figura 4-17 Pulimento - 31.....	133
Figura 4-18 Popouts - 32.....	133
Figura 4-19 Cruce de vías - 35.....	133
Figura 4-20 Desconchamiento - 36.....	133
Figura 4-21 Registro y toma de datos en campo.....	134
Figura 4-22 Medición en campo BPN.....	140
Figura 4-23 Extracción de núcleo pavimento rígido.....	151
Figura 4-24 Toma de núcleo.....	151
Figura 4-25 Extracción de núcleo pavimento flexible.....	151
Figura 4-26 Reposición de núcleo.....	151
Figura 5-1 Daños por unidad de muestra S1.A.....	159

Figura 5-2 Daños por unidad de muestra S1.B	159
Figura 5-3 Daños por unidad de muestra S2.A	160
Figura 5-4 Daños por unidad de muestra S2.B	160
Figura 5-5 Daños por unidad de muestra S2.C	160
Figura 5-6 Daños por unidad de muestra S3.A	161
Figura 5-7 Daños por unidad de muestra S4.A	161
Figura 5-8 Resumen de PCI	162
Figura 5-9 Distribución PCI	162
Figura 5-10 Resumen CRD	163
Figura 5-11 Distribución CRD	163
Figura 5-12 Resumen SCef	164
Figura 5-13 Distribución SCef	164
Figura 5-14 Distribución ESAL con un $P_t=2.5$	165
Figura 5-15 Distribución años se servicio	165
Figura 5-16 Curva de deterioro	167
Figura 5-17 Distribución de tiempo de serviciabilidad	167

Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 2-1 Fallas en pavimentos asfálticos.....	10
Cuadro 2-2 Fallas en pavimentos rígidos.....	11
Cuadro 2-3 Niveles de severidad para huecos	31
Cuadro 2-4 Niveles de Severidad para Losa Dividida.	44
Cuadro 2-5 Niveles de Severidad para Escala	47
Cuadro 2-6 Niveles de Severidad para Puzonamiento.....	59
Cuadro 2-7 Niveles de Severidad para Descaramiento de Esquina	64
Cuadro 2-8 Niveles de Severidad Descascaramiento de Junta	66
Cuadro 3-1 Rangos de calificación del PCI.....	89
Cuadro 3-2 PCI – 01 Formato de exploración de condición para pavimentos flexibles.	90
Cuadro 3-3 PCI – 02 Formato de exploración de condición para pavimentos rígidos ...	91
Cuadro 3-4 Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	92
Cuadro 3-5 Formato para las iteraciones del cálculo de CDV.....	98
Cuadro 3-6 Registro de mediciones con péndulo británico	103
Cuadro 3-7 Criterio para evaluar los valores de fricción	104
Cuadro 3-8 Valores sugeridos del coeficiente estructural para capas de pavimentos deteriorados.....	108
Cuadro 3-9 Cargas patrón y exponenciales para pavimeto rigido.	113
Cuadro 3-10 Cargas patrón y exponenciales para el para pavimento flexible.....	114
Cuadro 3-11 Factor de distribución por carril.....	115
Cuadro 4-1 Número de muestras por sección para inventario de fallas y PCI	119
Cuadro 4-2 Muestras seleccionadas	120

Cuadro 4-3 Número de muestras para CRD	120
Cuadro 4-4 Antecedentes de las secciones en los tramos.	122
Cuadro 4-5 Detalles técnicos	123
Cuadro 4-6 Inventario S1.A	124
Cuadro 4-7 Inventario S1.B	125
Cuadro 4-8 Inventario S2.A	126
Cuadro 4-9 Inventario S2.B	127
Cuadro 4-10 Inventario S2.C	128
Cuadro 4-11 Inventario S3.A	129
Cuadro 4-12 Inventario S4.A	130
Cuadro 4-13 PCI S1.A	135
Cuadro 4-14 PCI S1.B	136
Cuadro 4-15 PCI S2.A	137
Cuadro 4-16 PCI S2.B	137
Cuadro 4-17 PCI S2.C	138
Cuadro 4-18 PCI S3.A	138
Cuadro 4-19 PCI S4.A	139
Cuadro 4-20 Resumen clasificación de PCI.....	139
Cuadro 4-21 Clasificación CRD	140
Cuadro 4-22 Capacidad estructural “SC” – S1.A	141
Cuadro 4-23 Capacidad estructural “SC” – S1.B.....	142
Cuadro 4-24 Capacidad estructural “SC” – S2.A	143
Cuadro 4-25 Capacidad estructural “SC” – S2.B.....	144
Cuadro 4-26 Capacidad estructural “SC” – S2.C.....	145

Cuadro 4-27 Capacidad estructural “SC” – S3.A	146
Cuadro 4-28 Capacidad estructural “SC” – S4.A	147
Cuadro 4-29 TPDA tramo 1	148
Cuadro 4-30 TPDA tramo 2.....	149
Cuadro 4-31 TPDA tramo 3.....	150
Cuadro 4-32 TPDA tramo 4.....	150
Cuadro 4-33 Muestras que necesitan reparación.	152
Cuadro 4-34 Muestras que necesitan reparación.	153
Cuadro 4-35 Muestras que necesitan reparación.	153
Cuadro 4-36 Muestras que necesitan reparación.	154
Cuadro 4-37 Muestras que necesitan reparación.	156
Cuadro 4-38 Muestras que necesitan reparación.	157
Cuadro 4-39 Muestras que necesitan reparación.	158
Cuadro 5-1 Resumen de resultados.....	166
Cuadro 5-2 Estado del pavimento.....	166