

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



**“ANÁLISIS DE COSTOS DE CICLO DE VIDA CON LA UTILIZACIÓN DEL
SOFTWARE HDM-4 EN EL TRAMO PUENTE JARCAS – PIEDRA LARGA”**

Por:

CALLA BATALLANOS MELANI ESMERALDA

Semestre I - 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Rosmery Batallanos Mamani, que estuvo siempre a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por ser el pilar más importante en mi vida y por demostrarme siempre su cariño.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1 Introducción	1
1.2 Justificación	2
1.3 Planteamiento del problema.....	3
1.3.1 Situación problemática.....	3
1.3.2 Problema	3
1.4 Objetivo de proyecto de aplicación.....	4
1.4.1 Objetivo general.....	4
1.4.2 Objetivos específicos	4
1.5 Hipótesis.....	4
1.6 Definición de variable independiente y variable dependiente	4
1.6.1 Variable independiente.....	4
1.6.2 Variable dependiente.....	5
1.7 Alcance del Estudio.....	5

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS Y CONSIDERACIONES GENERALES DEL HDM-4

	Pág.
2.1 Definición de pavimento.....	8
2.2 Tipos de pavimentos	8

2.3 Vida útil de los pavimentos.....	15
2.4 Ciclo de vida de los pavimentos.....	16
2.5 Comportamiento de los pavimentos flexibles	18
2.5.1 Diseño mediante método AASHTO 93.....	18
2.5.2 El ciclo de deterioro de los pavimentos	19
2.5.2.1 Etapa A. Construcción	19
2.5.2.2 Etapa B. Deterioro lento y poco visible	20
2.5.2.3 Etapa C. Deterioro acelerado y quiebre	21
2.5.2.4 Etapa D. Pérdida total	22
2.5.3 Causas del deterioro de los pavimentos	22
2.6 Gestión de conservación	23
2.6.1 Cuando intervenir.....	24
2.6.2 Tipo de intervención	24
2.7 Índice de rugosidad internacional (IRI)	24
2.7.1 Definición de IRI.....	25
2.7.2 Equipos para evaluar la rugosidad	26
2.7.3 Metodología para la determinación de la rugosidad “Merlín”	27
2.7.3.1 Método de medición.....	28
2.7.3.1.1 El rugosímetro merlín	28
2.7.3.1.2 Ejecución de ensayos	31
2.8 Índice de serviciabilidad	32
2.8.1 Correlación entre el IRI y el índice de serviciabilidad.....	33
2.9 Índice de condición de pavimentos (PCI)	34

2.9.1 Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	36
2.10 Tipos de fallas en pavimentos flexibles	38
2.10.1 Piel de cocodrilo.....	38
2.10.1.1 Niveles de severidad	39
2.10.1.2 Opciones de reparación	39
2.10.2 Fisura de borde.....	39
2.10.2.1 Niveles de severidad “FB”	40
2.10.2.2 Opciones de reparación	40
2.10.3 Fisuras longitudinales y transversales.....	40
2.10.3.1 Niveles de severidad “FTL”	41
2.10.3.2 Opciones de reparación	41
2.10.4 Baches	42
2.10.4.1 Niveles de severidad	42
2.10.4.2 Opciones de reparación	43
2.11 HDM-4 en la gestión de carreteras.....	43
2.11.1 Gestión de carreteras	43
2.11.1.1 Planificación.....	43
2.11.1.2 Programación	44
2.11.1.3 Preparación.....	45
2.11.1.4 Operaciones.....	45
2.12 El ciclo de gestión.....	46
2.12.1 Ciclos de las funciones de gestión	46
2.13 Marco analítico de HDM-4.....	47

2.14 Aplicaciones HDM-4	50
2.14.1 Análisis de estrategias	50
2.14.2 Análisis de programa	50
2.14.3 Análisis de proyecto.....	50
2.15 Módulos de HDM-4	51
2.15.1 Necesidades de datos	55
2.15.1.1 Visión general	55
2.15.1.2 Configuración de HDM-4	55
2.15.1.3 Redes de carreteras.....	55
2.15.1.4 Parques de vehículos	56
2.15.1.5 Obras	56
2.15.1.6 Importación y exportación de datos	57
2.16 Análisis económico	57

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

	Pág.
3.1 Ubicación	59
3.2 Características del tramo en estudio.....	59
3.2.1 Características geométricas del tramo.....	60
3.2.2 Características estructurales del tramo.....	60
3.3 Parámetros de entrada en el tramo	63
3.3.1 Evaluación del estado de la carretera	63
3.3.2 Evaluación del índice de condición del pavimento flexible-PCI.....	63

3.3.3 Evaluación del índice de rugosidad internacional del pavimento flexible-IRI	64
3.3.4 Evaluación del índice de serviciabilidad presente del pavimento flexible-PSI	67
3.4 Características del tráfico vehicular del pavimento flexible	67
3.5 Alternativas y estándares de conservación.....	71
3.5.1 Mantenimiento rutinario.....	71
3.5.2 Mantenimiento periódico	71
3.6 Aplicación del HDM-4 en el tramo de estudio	72
3.6.1 Proceso de análisis de proyecto.....	72
3.6.1.1 Instalación de HDM-4.....	72
3.6.1.2 Ejecución de HDM-4	73
3.6.1.3 Configuración de HDM-4	74
3.6.1.3.1 Modelo de tráfico	74
3.6.1.3.2 Tipo de velocidad/capacidad.....	75
3.6.1.3.3 Zona climática.....	76
3.6.1.4 Redes de carreteras.....	76
3.6.1.5 Parque de vehículos	81
3.6.1.6 Estándares de mantenimiento.....	88
3.6.1.7 Análisis de proyecto.....	105
3.7 Evaluación de los costos de ciclo de vida en el tramo en estudio.....	139

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
4.1 Conclusiones	148

4.2 Recomendaciones.....	150
--------------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1. Índice de condición del pavimento (PCI)

Anexo 2. Índice de rugosidad internacional (IRI)

Anexo 3. Índice de serviciabilidad presente (PSI)

Anexo 4. Factor índice de crecimiento

Anexo 5. Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Anexo 6. Análisis de precios unitarios

Anexo 7. Reporte fotográfico

Anexo 8. Cartas oficiales

Anexo 9. Manual de procedimiento HDM-4

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Pavimento flexible	9
Figura 2.2: Pavimento rígido	12
Figura 2.3: Pavimento articulado	14
Figura 2.4: Ciclo de los pavimentos.....	17
Figura 2.5: Condición de los pavimentos.....	18
Figura 2.6: Curva de deterioro típica para una carretera pavimentada	20
Figura 2.7: Medición de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto de la cuerda promedio	27
Figura 2.8: Histograma de la distribución de frecuencias de una muestra de 200 desviaciones medidas en forma consecutiva.....	28
Figura 2.9: Esquema del rugosímetro merlín	29
Figura 2.10: Escala para determinar la dispersión de las desviaciones de la superficie del pavimento respecto del nivel de referencia o cuerda promedio	30
Figura 2.11: Índice de serviciabilidad.....	32
Figura 2.12: Calificación del índice de serviciabilidad presente según AASHTO.....	33
Figura 2.14: Ciclo de las funciones de gestión	46
Figura 2.15: Concepto del análisis del ciclo de vida en HDM-4	48
Figura 2.16: Efecto del estado de la carretera sobre los costos de operación de vehículos para terreno ondulado	49
Figura 2.17: Análisis de ciclo de vida usando HDM-4.....	53

Figura 2.18: Arquitectura del sistema HDM-4	54
Figura 3.1: Ubicación específica del tramo en estudio	59
Figura 3.2: Pantalla de bienvenida HDM-4	73
Figura 3.3: Espacio de trabajo.....	73
Figura 3.4: Modelo de tráfico.....	74
Figura 3.5: Tipo de velocidad/capacidad	75
Figura 3.6: Zona climática	76
Figura 3.7: Red de carreteras	77
Figura 3.8: Datos globales del nuevo tramo.....	77
Figura 3.9: Red de carreteras “descripción”	78
Figura 3.10: Definición del tramo	79
Figura 3.11: Geometría del tramo	79
Figura 3.12: Firme del tramo	80
Figura 3.13: Estado del tramo	80
Figura 3.14: Parque de vehículos	81
Figura 3.15: Características básicas vagoneta.....	82
Figura 3.16: Características básicas camioneta.....	83
Figura 3.17: Características básicas minibús	83
Figura 3.18: Características básicas microbús	84
Figura 3.19: Características básicas bus mediano.....	84
Figura 3.20: Características básicas bus grande.....	85
Figura 3.21: Características básicas camión mediano.....	85
Figura 3.22: Características básicas camión grande dos ejes.....	86

Figura 3.23: Características básicas camión grande tres ejes	86
Figura 3.24: Características básicas camión semirremolque	87
Figura 3.25: Características básicas camión con remolque	87
Figura 3.26: Características básicas motocicleta	88
Figura 3.27: Estándares de conservación	89
Figura 3.28: Estándares de conservación (general).....	89
Figura 3.29: Nueva tarea de estándar de conservación	90
Figura 3.30: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (correctiva).....	90
Figura 3.31: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (general).....	91
Figura 3.32: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (intervención).....	91
Figura 3.33: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (costos).....	92
Figura 3.34: Mantenimiento de rutina “sellado de grietas” (efectos)	92
Figura 3.35: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (correctiva).....	93
Figura 3.36: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (general).....	93
Figura 3.37: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (intervención).....	94
Figura 3.38: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (costos).....	94
Figura 3.39: Mantenimiento de rutina “sellado de fisuras” (efectos)	95
Figura 3.40: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (correctiva).....	95
Figura 3.41: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (general).....	96
Figura 3.42: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (intervención).....	96
Figura 3.43: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (costos).....	97
Figura 3.44: Mantenimiento periódico “sellado de grietas” (efectos)	97
Figura 3.45: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (correctiva).....	98

Figura 3.46: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (general).....	98
Figura 3.47: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (intervención).....	99
Figura 3.48: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (costos).....	99
Figura 3.49: Mantenimiento periódico “sellado de fisuras” (efectos)	100
Figura 3.50: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (correctiva)	100
Figura 3.51: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (general)	101
Figura 3.52: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (intervención)	101
Figura 3.53: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (costos)	102
Figura 3.54: Mantenimiento periódico “bacheo superficial” (efectos).....	102
Figura 3.55: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (correctiva)	103
Figura 3.56: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (general).....	103
Figura 3.57: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (intervención)	104
Figura 3.58: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (costos)	104
Figura 3.59: Mantenimiento periódico “bacheo profundo” (efectos)	105
Figura 3.60: Análisis de proyecto	105
Figura 3.61: Nueva tarea para crear proyecto	106
Figura 3.62: Nuevo proyecto	106
Figura 3.63: Proyecto Puente Jarcas-Piedra Larga	106
Figura 3.64: Definir proyecto en detalle (general).....	107
Figura 3.65 Definir proyecto en detalle (selección de tramos)	108
Figura 3.66: Definir proyecto en detalle (selección de vehículos).....	108
Figura 3.67: Definir proyecto en detalle (definir tráfico normal)	109
Figura 3.68: Definir proyecto en detalle (detalles del tráfico normal).....	110

Figura 3.69: Especificar alternativas.....	111
Figura 3.70: Nueva alternativa.....	111
Figura 3.71: Especificar alternativas (Alternativa 1).....	112
Figura 3.72: Alternativa 1 (asignar conservación).....	112
Figura 3.73: Alternativa 1 (mantenimiento de rutina).....	113
Figura 3.74: Especificar alternativas (Alternativa 2).....	113
Figura 3.75: Alternativa 2 (asignar conservación).....	114
Figura 3.76: Alternativa 2 (mantenimiento periódico).....	114
Figura 3.77: Analizar proyectos (configuración ejecución).....	115
Figura 3.78: Analizar proyectos (ejecutar análisis).....	116
Figura 3.79: Generar informes (seleccionar informe).....	116

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Rangos de calificación del PCI.....	35
Tabla 2.2: Niveles de severidad para baches	42
Tabla 3.1: Características geométricas Puente Jarcas-Piedra Larga	60
Tabla 3.2: Características estructurales “espesores” Puente Jarcas-Piedra Larga	60
Tabla 3.3: Características estructurales “CBR” Puente Jarcas-Piedra Larga.....	61
Tabla 3.4: Características estructurales “dimensiones” Puente Jarcas-Piedra Larga.....	61
Tabla 3.5: Características estructurales Puente Jarcas-Piedra Larga	61
Tabla 3.6: Resumen de datos del tramo	62
Tabla 3.7: Longitudes de unidades de muestreo asfálticas	63
Tabla 3.8: Índice de condición del pavimento (PCI)	64
Tabla 3.9: Índice de rugosidad internacional (IRI).....	66
Tabla 3.10: Clasificación del índice de servicialidad presente	67
Tabla 3.11: Índice de servicialidad presente (PSI)	67
Tabla 3.12: Resumen tráfico promedio diario anual (TPDA) año 2022	68
Tabla 3.13: Tráfico promedio diario anual (TPDA)	68
Tabla 3.14: Composición del parque vehicular en el tramo.....	69
Tabla 3.15: Tasa de crecimiento vehicular y composición del tráfico.....	70
Tabla 3.16: Alternativa 1 mantenimiento rutinario.....	71
Tabla 3.17: Alternativa 2 mantenimiento periódico	72
Tabla 3.18: Clasificación de vehículos	81
Tabla 3.19: Informe IMD de tráfico motorizado (vehículos/día)	118

Tabla 3.20: TM Intensidad de tráfico y carga.....	121
Tabla 3.21: Calendario de actuaciones (por año).....	127
Tabla 3.22: Estado anual de la carretera (rodadura bituminosa).....	130
Tabla 3.23: TM costo medio anual por veh-km.....	134
Tabla 3.24: Actividades de mantenimiento de rutina.....	139
Tabla 3.25: Actividades de mantenimiento periódico.....	139
Tabla 3.26: Tabla de calendario de actuaciones costos dólares \$us alternativa 1.....	140
Tabla 3.27: Tabla de calendario de actuaciones costos bolivianos Bs alternativa 1.....	141
Tabla 3.28: Tabla de calendario de actuaciones costos dólares \$us alternativa 2.....	142
Tabla 3.29: Tabla de calendario de actuaciones costos bolivianos Bs alternativa 2.....	143
Tabla 3.30: Tabla de resumen de costos dólares \$us	145
Tabla 3.31: Tabla de resumen de costos bolivianos Bs	146

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 3.1 Intensidad media diaria (vehículos/día)	120
Gráfica 3.2 Regularidad media por alternativa de proyecto	133
Gráfica 3.3 Calendario de actuaciones alternativa 1	146
Gráfica 3.4 Calendario de actuaciones alternativa 2	147