

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



**“CALIBRACION DEL SOFTWARE HDM-4 PARA LA
EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE VIAS URBANAS DE
PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

YESICA MIRANDA JANCO

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

**“CALIBRACION DEL SOFTWARE HDM-4 PARA LA
EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE VIAS URBANAS DE
PAVIMENTO FLEXIBLE EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

Por:

YESICA MIRANDA JANCO

Proyecto elaborado en la asignatura CIV 502, presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE - I - 2021

TARIJA - BOLIVIA

.....

M.Sc. Ing. Aurelio José Navia Ojeda

DECANO a.i.

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

.....

M.Sc. Lic Deysi Arancibia Márquez

VICEDECANA a.i.

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

.....

Ing. Marcelo H. Pacheco N.

.....

Ing. Laura K. Soto S.

.....

Ing. José R. Arce A.

ADVERTENCIA

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS

Quiero dedicar este trabajo a mis padres; a mi madre Simona Janco Choque por su apoyo incondicional, sus consejos y enseñanza de persistencia, a mi padre Eladio Miranda Rodríguez por en caminar me en la vida de la construcciones y dedicación, a mi hermanito Juan Alfredo que siempre me alentó para no desistir y a mis amigos con quienes compartí grandes experiencias a lo largo de nuestra formación académica.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por la bendición de mi familia y la oportunidad de ampliar mis conocimientos para enorgullecer a mis seres queridos y aportar a mi sociedad.

Agradezco especialmente a mi madre Simona Janco por ser un ejemplo de persistencia y dedicación en su labor, espero amar mi oficio tanto como ella ama el suyo.

PENSAMIENTO:

“Todos fallamos una y otra vez a lo largo de la vida, pero si no aprendemos de nuestras caídas no sabremos como llegar a la cima”

Warney

INDICE

CAPITULO I

INTRODUCCION

	Página
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación.....	2
1.2.1. Teórica	2
1.2.2. Metodológica	2
1.2.3. Aplicativa.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación Problemática	3
1.3.2. Problema	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
1.5. Diseño metodológico	5
1.5.1. Componentes.....	5
1.5.2. Métodos y técnicas empleadas.....	5
1.5.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información	8
1.6. Alcance	8

CAPITULO II
ASPECTOS GENERALES SOBRE MÉTODO HDM 4 EN LA
EVALUACION DE DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS
URBANOS

	Página
2.1. Conceptos generales de los pavimentos.....	9
2.2. Pavimentos flexibles	9
2.2.1. Conformación de capas.....	10
2.2.2. Subrasante	10
2.2.3. Sub base	11
2.2.4. Base.....	12
2.2.5. Capa de rodadura	12
2.2.6. Vías urbanas.....	13
2.2.7. Carreteras	13
2.3. Comportamiento de los pavimentos flexible	13
2.3.1. Diseño mediante método AASHTO 93	13
2.3.2. Etapa constructiva.....	14
2.3.3. Etapa deterioro	14
2.3.4. Conservación de pavimentos	15
2.4. Tipos de damnificación en los asfaltos flexibles	16
2.4.1. Fisuras longitudinales y transversales.....	16
2.4.2. Fisuras en juntas de construcción	19
2.4.3. Fisura por reflexión de juntas o grietas en placas de concreto.....	20
2.4.4. Fisuras en medialuna.....	21
2.4.5. Fisuras de borde	22

2.4.6. Fisuras en bloque	23
2.4.7. Piel de cocodrilo	24
2.4.8. Hundimiento	26
2.4.9. Ahuellamiento.....	27
2.4.11. Bache.....	30
2.4.12. Pérdida de Agregado.....	31
2.5. Evaluación estructural de pavimentos flexibles.....	33
2.5.1. Procedimiento de evaluación de la condición del pavimento	34
2.6. Sistemas de gestión de pavimentos.....	35
2.6.1. Pavement Condition Index-PCI	35
2.6.2. Influencia de la edad del pavimento	38
2.6.3. Influencia de la capacidad estructural.....	39
2.6.4. Índice de rugosidad internacional – IRI.....	40
2.6.5. Índice de servicialidad presente - PSI.....	43
2.6.6. El HDM-4 en la gestión de pavimentos	44
2.7. Modelos de pavimentos HDM-4.....	46
2.7.1. Antecedentes	46
2.7.2. Descripción general del software.....	47
2.8. Modelo de deterioro en HDM-4 para pavimentos flexibles	50
2.8.1. Origen y desarrollo del software HDM-4	50
2.8.2. Factores de análisis del software HDM-4.....	53
2.8.3. Aplicaciones.....	54
2.9. Base de datos para la realización de la aplicación del programa HDM-4	55
2.9.1. Datos de la carretera/camino.....	55

2.9.2. Datos de vehículos	56
2.9.3. Datos de costos	57
2.10. Modelo de deterioro en pavimentos flexibles del software HDM-4.....	57
2.10.1. Resistencia del pavimento.....	58
2.10.2. Agrietamiento	59
2.10.3. Perdida de áridos.....	60
2.10.4. Baches	61
2.10.5. Rotura de borde.....	62
2.10.6. Ahuellamiento.....	62
2.11. Calibración del software HDM-4.....	63

CAPITULO III

APLICACIÓN PRACTICA

	Página
3.1. Antecedentes	64
3.2. Ubicación	64
3.3. Descripción de las áreas en estudio.....	65
3.3.1. Avenida Colon	65
3.3.2. Avenida Panamericana.....	67
3.3.3. Avenida Integración.....	69
3.4. Evaluación del estado de la vía.....	70
3.4.1. Evaluación del pavimento flexible – PCI	71
3.4.2. Evaluación del pavimento flexible – IRI	72
3.5. Recopilación de datos de trafico	72
3.5.1. Trafico avenida colon.....	73
3.5.1. Trafico avenida Panamericana	74

3.5.3. Trafico avenida la integración.....	76
3.5.4. Características del parque automovilístico	77
3.5.5. Otros datos	78
3.6. Análisis del proyecto.....	79
3.7. Datos requeridos	79
3.7.1. Configuración general.....	80
3.7.2. Configuración particular para cada tramo.....	80
3.9 Procedimiento en el software HDM-4	80
3.9.1. Configuración	80
3.9.2. Parque de vehículos	84
3.9.3. Redes de carreteras.....	87
3.10. Calibración del software HDM-4.....	98
3.10.1. Calibración de la avenida Colon	99
3.10.2. Calibración de la avenida Panamericana	103
3.10.3. Calibración de la avenida Integración.....	111
3.10.4. Informe de resultados del software HDM-4	119
3.11. Software HDM-4 aplicado en una proyección de los siguientes 5 años.....	124
3.11.1. Avenida Colon	124
3.11.2. Avenida Panamericana.....	126
3.11.3. Avenida Integración.....	128
3.12. Análisis de resultados de la calibración	130
3.12.1. Análisis de la base de datos de entrada	130
3.12.2. Análisis del procedimiento	133
3.12.3. Análisis de resultados	137

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones	169
4.2. Recomendaciones.....	171

Bibliografía

Anexos

INDICE DE GRAFICAS

	Página
Gráfica N°2. Capas de un pavimento flexible.....	10
Gráfica N°3. Comportamiento del pavimento flexible frente a cargas de transito	11
Gráfica N°4. Deterioro de un pavimento a través del tiempo (CEPAL)	16
Gráfica N°5. Fotografía de Fisura longitudinal.....	17
Gráfica N°6. Fotografía de Fisura Transversal	17
Gráfica N°7. Fotografía Fisura longitudinal en junta de construcción	19
Gráfica N°8. Fisuras por reflexión de juntas en placas de concreto	20
Gráfica N°9. Fisura en medialuna.....	21
Gráfica N°10. Fisuras de borde.....	22
Gráfica N°11. Fisuras en bloque.....	23
Gráfica N°12. Piel de cocodrilo.....	25
Gráfica N°13. Hundimiento.....	26
Gráfica N°14. Ahuellamiento.....	28
Gráfica N°15. Descascaramiento.....	29
Gráfica N°16. Bache.....	30
Gráfica N°17. Perdida de agregado....	32
Gráfica N°18. Influencia de la edad del pavimento	38
Gráfica N°19. Influencia de la capacidad estructural.	39
Gráfica N°20. Equipo Merlín.....	42
Gráfica N°21. Desviación de la superficie de pavimentos respecto al promedio	43
Gráfica N°22. Histograma de frecuencia, desviación y eliminación de datos	43
Gráfica N°23. Utilización internacional del software HDM4.....	47

Gráfica N°24. Modelo absoluto.....	57
Gráfica N°25. Modelo incremental.....	58
Gráfica N°26. Grafica referencial del comportamiento del agrietamiento	60
Gráfica N°27. Grafica referencial de la evolución de grietas	61
Gráfica N°28. Avenidas Consideradas	64
Gráfica N°29. Avenida Colon.....	65
Gráfica N°30. Avenida Panamericana	67
Gráfica N°31. Avenida Integración....	69
Gráfica N°32. Modelo de tráfico, en software HDM-4	81
Gráfica N°33. Tipo de capacidad-velocidad, dos carriles.....	82
Gráfica N°34. Zona climática en la ciudad de Tarija.....	83
Gráfica N°35. Tipos de vehículos definidos para la aplicación del software HMD-4.....	84
Gráfica N°36. Características básicas de motocicletas	85
Gráfica N°37. Características básicas de vehículos livianos	85
Gráfica N°38. Características básicas de vehículos medianos.....	86
Gráfica N°39. Características básicas de vehículos pesados	86
Gráfica N°40. Red de carretera de la avenida Colon	87
Gráfica N°41. Generalidades del tramo en la avenida Colon	88
Gráfica N°42. Datos de la ejecución de la avenida Colon	88
Gráfica N°43. Datos del estado inicial de la avenida colon.....	89
Gráfica N°44. Red de carretera de la avenida Panamericana (ida).....	90
Gráfica N°45. Generalidades del tramo en la avenida Panamericana (ida)	90
Gráfica N°46. Datos de la ejecución de la avenida Panamericana (ida).....	91
Gráfica N°47. Datos del estado inicial de la avenida colon.....	91

Gráfica N°48. Red de carretera de la avenida Panamericana (vuelta)	92
Gráfica N°49. Generalidades del tramo en la avenida Panamericana (vuelta)	92
Gráfica N°50. Datos de la ejecución de la avenida Panamericana (vuelta).....	93
Gráfica N°51. Datos del estado inicial de la avenida Panamericana (vuelta).....	93
Gráfica N°52. Red de carretera de la avenida Integración (ida)	94
Gráfica N°53. Generalidades del tramo en la avenida Integración (ida)	95
Gráfica N°54. Datos de la ejecución de la avenida Integración (ida)	95
Gráfica N°55. Datos del estado inicial de la avenida integración (ida)	96
Gráfica N°56. Red de carretera de la avenida Integración (vuelta)	96
Gráfica N°57. Generalidades del tramo en la avenida Integración (vuelta)	97
Gráfica N°58. Datos de la ejecución de la avenida Integración (vuelta)	97
Gráfica N°59. Datos del estado inicial de la avenida integración (vuelta)	98
Gráfica N°60. Calibración avenida colon – Espacio de trabajo.....	100
Gráfica N°61. Selección del tramo de avenida colon	100
Gráfica N°62. Selección de vehículos en avenida colon para su calibración	101
Gráfica N°63. Definición de tráfico en avenida colon para su calibración.....	101
Gráfica N°64. Calibración superficial del tramo avenida Colon	102
Gráfica N°65. Calibración estructural del tramo avenida Colon	102
Gráfica N°66. Calibración avenida Panamericana – Espacio de trabajo (ida)	103
Gráfica N°67. Selección del tramo de avenida Panamericana (ida)	104
Gráfica N°68. Selección de vehículos en avenida Panamericana para su calibración (ida).....	104
Gráfica N°69. Definición de tráfico en avenida Panamericana para su calibración (ida).....	105
Gráfica N°70. Calibración superficial del tramo avenida Panamericana (ida)	106

Gráfica N°71.	Calibración estructural del tramo avenida Panamericana (ida).....	106
Gráfica N°72.	Calibración avenida Panamericana – Espacio de trabajo (vuelta).....	107
Gráfica N°73.	Selección del tramo de avenida Panamericana (vuelta)	107
Gráfica N°74.	Selección de vehículos en av. Panamericana para calibración (vuelta) .	108
Gráfica N°75.	Definición de tráfico en av. Panamericana para calibración (vuelta).....	109
Gráfica N°76.	Calibración superficial del tramo avenida Panamericana (vuelta)	110
Gráfica N°77.	Calibración estructural del tramo avenida Panamericana (vuelta)	110
Gráfica N°78.	Calibración avenida Integración – Espacio de trabajo (ida).....	111
Gráfica N°79.	Selección del tramo de avenida Integración (ida)	112
Gráfica N°80.	Selección de vehículos en av. Integración para calibración (ida).....	112
Gráfica N°81.	Definición de tráfico en av. Integración para calibración (ida).....	113
Gráfica N°82.	Calibración superficial del tramo avenida Integración (ida)	114
Gráfica N°83.	Calibración estructural del tramo avenida Integración (ida)	115
Gráfica N°84.	Calibración avenida Integración – Espacio de trabajo (vuelta).....	115
Gráfica N°85.	Selección del tramo de avenida Integración (vuelta).....	116
Gráfica N°86.	Selección de vehículos en av. Integración para calibración (vuelta).....	116
Gráfica N°87.	Definición de tráfico en av. Integración para calibración (vuelta).....	117
Gráfica N°88.	Calibración superficial del tramo avenida Integración (vuelta)	118
Gráfica N°89.	Calibración estructural del tramo avenida Integración (vuelta)	118
Gráfica N°90.	Vista general de la configuración en software HDM-4.....	134
Gráfica N°91.	Vista general de “Redes de carreteras” en software HDM-4	135
Gráfica N°92.	Vista general de “Proyectos” en software HDM-4.....	136
Gráfica N°93.	Grafica de comparación del IRI en la avenida Colon.....	143
Gráfica N°94.	Grafica de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	144

Gráfica N°95. Grafica de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	145
Gráfica N°96. Grafica de comparación del IRI en la avenida integración camino al centro.....	146
Gráfica N°97. Grafica de comparación del IRI en la avenida integración camino al campesino.....	147
Gráfica N°98. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Colon	148
Gráfica N°99. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	149
Gráfica N°100. Grafica de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	150
Gráfica N°101. Grafica de comparación De fisuras en la avenida integración camino al campesino	151
Gráfica N°102. Grafica de comparación de fisuras en la avenida integración camino al centro.....	152
Gráfica N°103. Grafica de comparación del desprendimiento en la avenida Colon	153
Gráfica N°104. Grafica de comparación de desprendimiento en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	154
Gráfica N°105. Grafica de comparación del desprendiendo en la avenida Panamericana camino a Torrecillas	155
Gráfica N°106. Grafica de comparación de desprendimiento en la avenida integración camino al campesino	156
Gráfica N°107. Grafica de comparación del desprendimiento en la avenida integración camino al centro	157
Gráfica N°108. Grafica de comparación de bordes en la avenida Colon	158
Gráfica N°109. Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Colon	159

Gráfica N°110.	Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	160
Gráfica N°111.	Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas	161
Gráfica N°112.	Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida integración camino al campesino	162
Gráfica N°113.	Grafica de comparación de ahuellamiento en la avenida integración camino al centro.....	163
Gráfica N°114.	Grafica de comparación de baches en la avenida Colon	164
Gráfica N°115.	Grafica de comparación de baches en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	165
Gráfica N°116.	Grafica de comparación de baches en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	166
Gráfica N°117.	Grafica de comparación de baches en la avenida integración camino al campesino	167
Gráfica N°118.	Grafica de comparación de baches en la avenida integración camino al centro.....	168

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N°1. Niveles cualitativos de PCI.....	36
Tabla N°2. Escala PSI del método AASHTO	44
Tabla N°3. Datos necesarios para vehículos en el programa HDM-4	56
Tabla N°4. Tabla de valores por default (<i>ai</i>)	59
Tabla N°5. Áreas de estudio.....	64
Tabla N°6. Características geometrías avenida Colon	66
Tabla N°7. Características estructurales avenida Colon	66
Tabla N°8. Características geometrías avenida Panamericana	68
Tabla N°9. Características estructurales avenida Panamericana.....	68
Tabla N°10. Características geometrías avenida Integración.....	70
Tabla N°11. Características estructurales avenida Integración.....	70
Tabla N°12. Evaluación de los tramos en metodología PCI	71
Tabla N°13. Índice de rugosidad internacional IRI.....	72
Tabla N°1. Proyección de tráfico en la venida colon.....	73
Tabla N°2. Porcentaje de tráfico en la venida colon	73
Tabla N°3. Proyección de tráfico en la venida Panamericana, Portillo-Torrecillas.....	74
Tabla N°1. Porcentaje de tráfico en la venida Panamericana, Portillo-Torrecillas.....	74
Tabla N°2. Proyección de tráfico en la venida Panamericana, Torrecillas-Portillo.....	75
Tabla N°3. Porcentaje de tráfico en la venida Panamericana, Torrecillas-Portillo.....	75
Tabla N°4. Proyección de tráfico en la venida La Integración, centro-campesino.....	76
Tabla N°5. Porcentaje de tráfico en la venida La Integración, centro-campesino.....	76
Tabla N°6. Proyección de tráfico en la venida La Integración, centro-campesino.....	77

Tabla N°7. Porcentaje de tráfico en la venida La Integración, centro-campesino	77
Tabla N°8. Características básicas del parque automovilístico	78
Tabla N°9. Otros datos requeridos.....	78
Tabla N°10. Formulas empleadas por el software HDM-4 para calibración	99
Tabla N°11. Informe de calibración – avenida Colon.....	119
Tabla N°12. Informe de calibración – avenida Panamericana (ida)	120
Tabla N°13. Informe de calibración – avenida Panamericana (vuelta).....	121
Tabla N°14. Informe de calibración – avenida Integración (ida).....	122
Tabla N°15. Informe de calibración – avenida Integración (vuelta).....	123
Tabla N°16. Proyección avenida Colon – Sin calibrar	124
Tabla N°17. Proyección avenida Colon – Calibrado	125
Tabla N°18. Proyección avenida Panamericana (al Portillo)– Sin calibrar	126
Tabla N°19. Proyección avenida Panamericana (al Portillo) –Calibrado	126
Tabla N°20. Proyección avenida Panamericana (al Torrecillas) – Sin Calibrar	127
Tabla N°21. Proyección avenida Panamericana (al Torrecillas) – Calibrado.....	127
Tabla N°22. Proyección avenida Integración (al Campesino) – Sin calibrar.....	128
Tabla N°23. Proyección avenida Integración (al Campesino) – Calibrado	128
Tabla N°24. Proyección avenida Integración (al Centro) – Sin calibrar.....	129
Tabla N°25. Proyección avenida Integración (al Centro) – Calibrado	129
Tabla N°26. Inventario general de base de datos	130
Tabla N°27. Inventario estructural de base de datos	131
Tabla N°28. Datos de transito.....	131
Tabla N°29. Datos PCI requeridos.....	132
Tabla N°30. Datos IRI Y PSI.....	133

Tabla N°31. Factores superficiales de calibración con espesores verificados	137
Tabla N°32. Factores estructurales de calibración con espesores verificados	138
Tabla N°34. Factores estructurales de calibración con espesores proporcionados	140
Tabla N°35. Tabla de comparación del IRI en la avenida Colon.....	143
Tabla N°36. Tabla de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	144
Tabla N°37. Tabla de comparación del IRI en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	145
Tabla N°38. Tabla de comparación del IRI en la avenida Integración camino al centro.....	146
Tabla N°39. Tabla de comparación del IRI en la avenida Integración camino al campesino.....	147
Tabla N°40. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Colon	148
Tabla N°41. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	149
Tabla N°42. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	150
Tabla N°43. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Integración camino al campesino.....	151
Tabla N°44. Tabla de comparación de fisuras en la avenida Integración camino al centro.....	152
Tabla N°45. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Colon	153
Tabla N°46. Tabla de comparación de desfrenamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	154
Tabla N°47. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	155

Tabla N°48. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Integración camino al campesino.....	156
Tabla N°49. Tabla de comparación del desprendimiento en la avenida Integración camino al centro.....	157
Tabla N°50. Tabla de comparación de bordes en la avenida Colon	158
Tabla N°51. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Colon	159
Tabla N°52. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	160
Tabla N°53. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	161
Tabla N°54. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Integración camino al centro.....	162
Tabla N°55. Tabla de comparación de ahuellamiento en la avenida Integración camino al centro.....	163
Tabla N°56. Tabla de comparación de baches en la avenida Colon	164
Tabla N°57. Tabla de comparación de baches en la avenida Panamericana camino al Portillo.....	165
Tabla N°58. Tabla de comparación de baches en la avenida Panamericana camino a Torrecillas.....	166
Tabla N°59. Tabla de comparación de baches en la avenida Integración camino al campesino.....	167
Tabla N°60. Tabla de comparación de baches en la avenida Integración camino al centro.....	168