

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**“APLICACIÓN DEL HDM-4 PARA EL ANÁLISIS DE  
PAVIMENTOS DE CONCRETO URBANOS DE LA CIUDAD DE  
YACUIBA”**

**Por:**

**PAUCARI OJEDA YOVANA**

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

**Gestión 2019**

**TARIJA- BOLIVIA**

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

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Ing. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Jhonny Mario Orgaz Fernández**

.....  
**Ing. Ada Gladys López Rueda**

.....  
**Ing. Moisés Eduardo Díaz Ayarde**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por siempre estar conmigo y por nunca desampararme.

A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional.

A Paola Ríos que siempre estuvo conmigo en todo momento y a Edwin Gira por el cariño que tuvo hacia mí.

Siempre agradecida con todos....

DEDICATORIA:

A mis padres Bonifacio Paucari Maturano y Ana María Ojeda Núñez por todo el apoyo incondicional, esperanza, confianza y sacrificio puesto en mí.

A mis hermanos Johnny, Nelson, Gustavo, Michael y Jaime que siempre estuvieron alentándome en todo momento.

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I GENERALIDADES

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO .....	2
1.3.1. Situación de la problemática.....	2
1.3.2. Problema.....	3
1.4. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. COMPONENTES .....	3
1.5.1. Métodos y técnicas empleadas.....	3
1.5.1.1. Método inductivo .....	4
1.5.2. Procedimiento de Aplicación.....	5
1.6. ALCANCE .....	6

### CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO DE CONCRETO	Pág.
2.1. PAVIMENTOS.....	7
2.2. ANÁLISIS DE PAVIMENTOS .....	9
2.2.1. Tipos de pavimentos.....	10
2.2.1.1. Pavimento con tratamiento superficial .....	14

2.2.1.2. Pavimentos flexibles.....	14
2.2.1.3. Pavimentos rígidos .....	15
2.2.1.4. Pavimentos semirígidos .....	16
2.3. PAVIMENTO DE CONCRETO .....	16
2.4. TIPOS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	18
2.5. ELEMENTOS DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	21
2.5.1. Suelo subrasante.....	22
2.5.2. Sub base .....	23
2.5.3. Base .....	25
2.5.4. Capa de rodamiento.....	25
2.5.5. Las juntas .....	26
2.5.5.1. Juntas longitudinales .....	27
2.5.5.2. Juntas transversales .....	27
2.5.5.3. Juntas de expansión .....	28
2.5.6. Mecanismo de transferencia de carga y confinamiento .....	29
2.5.7. Texturizado (micro y macro) .....	30
2.5.8. Materiales necesarios para la elaboración de una estructura de pavimento de concreto. ....	32
2.5.8.1. Cemento.....	32
2.5.8.2. Agua .....	32
2.5.8.3. Materiales pétreos .....	33
2.5.8.4. Aditivos.....	37
2.5.8.5. Concreto.....	37
2.5.8.6. Membrana de curado.....	40
2.5.8.7. Acero de refuerzo .....	40

2.5.8.8. Sellador para juntas. ....	42
2.6. SOSTENIBILIDAD DE PAVIMENTOS DE CONCRETO URBANOS .....	44
2.7. PAVIMENTOS URBANOS ILUMINACIÓN, SEGURIDAD, Y AHORRO DE ENERGÍA .....	46
2.7.1. Las ciudades, los pavimentos, y el efecto “Isla Calor” .....	47
2.8. COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	49
2.8.1. Deterioro de pavimentos.....	49
2.8.2. Etapa de construcción.....	49
2.8.3. Etapa de deterioro lento y poco visible .....	50
2.8.4. Etapa de deterioro acelerado y de quiebre .....	50
2.8.5. Etapa de descomposición total.....	51
2.9. COSTOS DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL PAVIMENTO .....	52
2.10. DETERIOROS DE PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	52
2.10.1. Tipos de daños en estructuras de pavimentos de concreto .....	52
2.10.1.1. Fisura transversal o diagonal .....	53
2.10.1.2. Fisura longitudinal.....	54
2.10.1.3. Fisura de esquina .....	56
2.10.1.4. Losas subdivididas. ....	58
2.10.1.5. Fisuras en bloque.....	59
2.10.1.6. Fisuras inducidas .....	60
2.10.2. Deformaciones en estructuras de pavimento de concreto .....	62
2.10.2.1. Levantamiento de losas.....	62
2.10.2.2. Dislocamiento .....	63
2.10.2.3. Hundimiento.....	64
2.10.3. Desintegraciones en estructuras de pavimento de concreto .....	66

2.10.3.1. Descascaramiento y fisuras capilares .....	66
2.10.3.2. Pulimento de la superficie.....	67
2.10.3.3. Peladuras .....	68
2.10.3.4. Bache .....	69
2.10.4. Deficiencias de juntas en estructuras de pavimento de concreto .....	71
2.10.4.1. Deficiencias en material de sello.....	71
2.10.4.2. Despostillamiento.....	72
2.10.4.3. Fisuras por mal funcionamiento de juntas .....	73
2.10.5. Otros deterioros en estructuras de pavimento de concreto. ....	75
2.10.5.1. Parchados y reparaciones para servicios públicos.....	75
2.11. ALTERNATIVAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA PAVIMENTOS DE CONCRETO. ....	77
2.12. EL RECICLADO .....	78
2.13. VENTAJAS DE UTILIZAR EL PAVIMENTO DE CONCRETO .....	79
2.14. TRÁFICO VEHICULAR.....	80
2.14.1. Volumen de tráfico.....	82

### CAPÍTULO III

#### PROGRAMA HDM-4

Pág

3.1. INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA HDM-4 .....	84
3.1.1. Alcance .....	84
3.1.2. Antecedentes .....	85
3.1.2.1. Desarrollos pasados.....	85
3.1.2.2. Consideraciones del presente desarrollo.....	87
3.1.3. Objetivos del modelo de desarrollo.....	88
3.2. MISIÓN.....	89



3.3. CONCEPTO DE ANÁLISIS DEL PROGRAMA HDM-4 .....	90
3.3.1. Módulos del programa HDM-4 .....	90
3.3.1.1. Configuración de HDM.....	92
3.3.1.2. Redes de carreteras.....	93
3.3.1.3. Parque de vehículos.....	93
3.3.1.4. Obras.....	93
3.3.2. HDM-4 en deterioro de pavimento .....	94
3.3.2.1. Variables clave que afectan al deterioro.....	95
3.4. HDM-4 EN DETERIORO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO .....	95
3.4.1. Marco y lógica de la modelización .....	98
3.4.2. Estructura firme del hormigón .....	99
3.4.2.1. Firmes de hormigón con juntas planas sin pasadores de transferencia de carga .....	99
3.4.2.2. Firme de hormigón con juntas planas con pasadores de transferencia de carga .....	100
3.4.2.3. Firmes de hormigón con juntas reforzadas .....	101
3.4.2.4. Firmes de hormigón continuamente reforzado .....	101
3.4.2.5. Formas de deterioro de los firmes de hormigón .....	102
3.4.2.5.1. Fisuración.....	102
3.4.2.5.2. Roturas de juntas transversales y fisuras .....	103
3.4.2.5.3. Resaltos de las juntas transversales .....	104
3.4.2.5.4. Roturas .....	105
3.4.2.5.5. Pérdida de utilidad.....	105
3.4.2.5.6. Regularidad .....	106
3.4.2.5.7. Otros defectos.....	107

3.5. PARÁMETROS PRINCIPALES DE LA MODELIZACIÓN QUE INCIDEN EN LA CONFIABILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO .....	108
3.5.1. Características estructurales del firme.....	108
3.5.1.1. Condición de la carretera .....	108
3.5.1.2. Historial del firme .....	109
3.5.1.3. Factores climatológicos .....	109
3.5.1.4. Índice de humedad: .....	109
3.5.1.5. Rango promedio de temperaturas:.....	110
3.5.1.6. Solicitaciones de tránsito .....	111
3.5.1.7. Diseño geométrico.....	112
3.5.1.8. Procedimiento del cálculo.....	112
3.6. FACTORES QUE INCIDEN EN LA CONFIABILIDAD DE LOS MODELOS DE DETERIORO.....	113
3.6.1. Configuración del hdm-4.....	118
3.6.2. Red de carreteras.....	118
3.7. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	128
3.7.1. Tipos de trabajo en pavimento de hormigón .....	129
3.7.2. Procedimiento del análisis de proyecto .....	129

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN DEL HDM-4 EN ALGUNAS CALLES URBANAS DE LA CIUDAD DE YACUIBA

	Pág.
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CIUDAD DE YACUIBA.....	134
4.1.1. Ubicación.....	134

4.1.2. Coordenadas geográficas Yacuiba .....	135
4.1.3. Extensión territorial.....	135
4.1.4. Población total .....	136
4.1.5. Rango altitudinal y fisiografía .....	137
4.1.6. Clima de Yacuiba.....	139
4.1.7. Índice de crecimiento vehicular en Yacuiba.....	139
4.2. DESCRIPCIÓN DE LAS CALLES DONDE SE APLICARÁ EL HDM 4 .....	140
4.3. PARÁMETRO DEL PARQUE VEHICULAR REQUERIDOS.....	147
4.4. DATOS DE DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETOS.....	148
4.4.1. Criterios para la elección de las calles en estudio .....	148
4.4.2. Datos de diseño av. San Martín av. San Gerónimo .....	149
4.4.2.1. Datos de diseño del pavimento de concreto av. San Martín.....	149
4.4.2.2. Datos del diseño del pavimento de concreto av. San Gerónimo.....	150
4.4.3. Datos de diseño proyecto a diseño final pavimento rígido Yacuiba fase III.....	151
4.4.4. Datos de diseño final pavimento rígido Yacuiba fase IV .....	152
4.5. MEDICIÓN EN CAMPO DE LOS DETERIOROS DEL PAVIMENTO .....	154
4.5.1. Procedimiento de medición de los deterioros .....	154
4.6. DATOS DEL AFORO DE VEHÍCULOS .....	156
4.7. INGRESO DE DATOS AL HDM-4.....	157
4.7.1. Configuración preliminar .....	158
4.7.1.1. Modelos de tráfico.....	158
4.7.1.2. Velocidad/capacidad .....	159
4.7.1.3. Zona climática.....	160
4.7.1.3.1. Monedas.....	161

4.7.1.3.2. Datos globales de tramo.....	162
4.7.2. Redes de carreteras.....	162
4.7.3. Parque automotor .....	164
4.7.4. Estándares de los trabajos.....	165
4.7.4.1. Estándares de conservación .....	165
4.7.4.1.1. Mantenimiento de rutina .....	166
4.7.4.1.2. Mantenimiento de rutina + sellado de juntas y grietas .....	168
4.7.4.1.3. Mantenimiento de rutina + parchado y sellado de grietas .....	170
4.7.4.1.4. Mantenimiento de rutina + parchado, resellado y reconstrucción .....	173
4.8. ANÁLISIS DE PROYECTO:.....	175
4.8.1. Análisis del programa.....	175
4.8.2. Especificar alternativas.....	177
4.8.3. Analizar el proyecto .....	180
4.9. GENERAR INFORMES .....	182
4.9.1. Tráfico .....	182
4.9.1.1. Intensidad media diaria para los vehículos motorizados por alternativas de proyecto.....	182
4.9.2. Deterioro de pavimentos.....	186
4.9.2.1. Calendario de actuaciones por año por alternativa de proyecto .....	186
4.9.2.2. Regularidad media por tramos .....	194
4.9.2.3. Estado anual de la carretera (pavimento de hormigón) .....	198
4.10. ANÁLISIS DE RESULTADO .....	202

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES ..... 208

5.2. RECOMENDACIONES ..... 210

## BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

ANEXO I DATOS DE AFORO DE TRÁFICO

ANEXO II FOTOGRAFÍAS DE LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS

ANEXO III ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

ANEXO IV PLAN DE GUÍA DE MANTENIMIENTO

ANEXO V INFORMES GENERADOS POR EL HDM-4

CALLE BOQUERÓN - COMERCIO

ANEXO VI INFORMES GENERADOS POR HDM-4 AV. SAN MARTIN

AV. SAN GERÓNIMO

ANEXO VII INFORMES GENERADOS POR EL HDM-4 CALLES

ABAROA II, ALGARROBOS, ITAU, CARAPARI,

VILLAMONTES Y ESTADOS UNIDOS

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1 Beneficios de los pavimentos de concreto .....	9
Tabla 2.2 Valores para k de la subrasante .....	22
Tabla 2.3 Valores para k de la subrasante para espesores de sub base .....	23
Tabla 2.4 Valores para k de la subbase granulares no cementadas .....	23
Tabla 2.5 Agregado grueso para sub base .....	24
Tabla 2.6 MR recomendado por tipo de vía .....	26
Tabla 2.7 Separación entre juntas transversales .....	28
Tabla 2.8 Características de los pasadores con relación al espesor de la losa .....	30
Tabla 2.9 Especificaciones- materiales- sustancias perjudiciales en el agua .....	33
Tabla 2.10 Especificaciones- materiales- granulares de la grava .....	34
Tabla 2.11 Especificaciones- materiales- sustancias perjudiciales en grava .....	34
Tabla 2.12 Especificaciones- materiales- granulometría de la arena .....	35
Tabla 2.13 Especificaciones- materiales- ajustes granulometría .....	36
Tabla 2.14 Especificaciones- materiales- sustancia perjudiciales en la arena .....	37
Tabla 2.15 Especificaciones- materiales- resistencia de concreto recomendado .....	39
Tabla 2.16 Diámetro, longitud y separación de las pasajuntas está en función del espesor .....	43
Tabla 2.17 Alternativas de reparación y mantenimiento preventivo para pavimentos rígidos .....	78
Tabla 2.18 Resumen cronológico sobre definiciones de transporte .....	81

Tabla 3.1 Procedimiento de análisis del HDM-4 .....	1
Tabla 3.2 Modelos de deterioro en el HDM – 4.....	98
Tabla 3.3. Estructuras de los firmes de hormigón .....	99
Tabla 3.4 Tipos de capa sobre los que se basan los modelos de RD de hormigón .....	99
Tabla 3.5 Formas de deterioro modelizadas en HDM-4.....	102
Tabla 3.6 Escala de los valores PSR usados .....	106
Tabla 3.7 Clasificación por humedad .....	110
Tabla 3.8 Clasificación por temperatura .....	110
Tabla 3.9 Valores típicos del coeficiente térmico del concreto .....	115
Tabla 3.10 Ejemplo de parámetros de modelos de capacidad y capacidad velocidad para diferentes tipos de carretera.....	119
Tabla 3.11 Detalle de los datos relacionados a la clasificación por humedad .....	121
Tabla 3.12 Detalle de los datos relacionados a la clasificación por temperatura .....	121
Tabla 3.13 Definición de oleadas de tráfico por clase de capa de rodadura .....	122
Tabla 3.14 Definición de clase de geometría .....	123
Tabla 3.15 Definición de idoneidad estructural .....	124
Tabla 3.16 Valores predefinidos de otras variables .....	125
Tabla 3.17 Valores predefinidos para calidad de rodadura de carreteras de hormigón..	126
Tabla 3.18 Valores predefinidos para calidad de rodadura de carretera sin sellar .....	127
Tabla 3.19 Valores predefinidos de DF para condición de drenaje.....	128
Tabla 3.20 Análisis por tramos.....	131

Tabla 4.1 Extension territorial de Yacuiba.....	136
Tabla 4.2 Extension territorial de Yacuiba de sus distritos áreas urbana y rural .....	136
Tabla 4.3 Población empadronada en Yacuiba .....	137
Tabla 4.4 Parámetros climáticos promedio de Yacuiba.....	139
Tabla 4.5 Índice de crecimiento del tráfico vehicular.....	139
Tabla 4.6 Lista de las calles de Yacuiba en estudio .....	140
Tabla 4.7 Parámetros de vehículos requeridos .....	147
Tabla 4.8 Precio de lubricantes .....	147
Tabla 4.9 Proyectos utilizados en el análisis.....	148
Tabla 4.10 Datos de diseño de pavimentos para la av. San Martin.....	149
Tabla 4.11 Datos de diseño de pavimentos para la av. San Gerónimo .....	150
Tabla 4.12 Datos de diseño de pavimentos del proyecto Yacuiba fase III .....	151
Tabla 4.13 Datos de diseño de pavimentos del proyecto Yacuiba IV .....	153
Tabla 4.14 Resumen del parque automotor en porcentaje .....	157
Tabla 4.15 Resumen de las alternativas, correspondientes a su estandar de conservación y sus tareas .....	180



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1 Pavimento de tierra .....	11
Figura 2.2 Pavimento de piedra .....	11
Figura 2.3 Pavimento de adoquines .....	12
Figura 2.4 Pavimento de concreto hidráulico .....	12
Figura 2.5 Pavimento de concreto asfáltico .....	13
Figura 2.6 Sección transversal pavimento flexible .....	13
Figura 2.7 Sección transversal pavimento rígido .....	14
Figura 2.8 Sección transversal de deformaciones de un pavimento flexible .....	15
Figura 2.9 Sección transversal de deformaciones de un pavimento rígido .....	16
Figura 2.10 Pavimento de concreto sin dovelas o barras de transferencia (JPCP) .....	17
Figura 2.11 Pavimento de concreto con dovelas o barras de transferencia (JPCP) .....	17
Figura 2.12 Pavimento de concreto con refuerzo discontinuo distribuido sin función estructural (JRCP) .....	18
Figura 2.13 Pavimento de concreto con refuerzo continuo sin función estructural (CRCP) .....	18
Figura 2.14 Elementos de un pavimento de concreto .....	21
Figura 2.15 Micro texturizado .....	31
Figura 2.16 Macro texturizado .....	31
Figura 2.17 Pasajuntas en juntas transversales de contracción vista en planta .....	41
Figura 2.18 Pasajuntas en juntas transversales de contracción vista en cortes .....	42
Figura 2.19 Detalle de construcción de la junta .....	44
Figura 2.20 Transferencia de carga.....	44

Figura 2.21 El concepto de sostenibilidad .....	45
Figura 2.22 Efecto Isla Calor en ciudades .....	47
Figura 2.23 Deterioro de los pavimentos a través del tiempo (CEPAL) .....	51
Figura 2.24 Fisura transversal o diagonal .....	54
Figura 2.25 Fisura longitudinal .....	56
Figura 2.26 Fisura de esquina.....	57
Figura 2.27 Losas subdivididas .....	58
Figura 2.28 Fisuras en bloque .....	60
Figura 2.29 fisuras inducidas.....	61
Figura 2.30 Levantamiento de losas .....	63
Figura 2.31 Dislocamiento .....	64
Figura 2.32 Hundimiento .....	65
Figura 2.33 Descascaramiento.....	67
Figura 2.34 Pulimento de superficie .....	68
Figura 2.35 Peladuras.....	69
Figura 2.36 Baches .....	70
Figura 2.37 Deficiencia de material de sello .....	72
Figura 2.38 Despostillamiento.....	73
Figura 2.39 Fisuras por mal funcionamiento de juntas.....	75
Figura 2.40 Parchado y reparaciones del servicios público .....	76

Figura 3.1 Procedimiento de análisis del HDM-4 .....	89
Figura 3.2 Pavimento de hormigón con juntas planas sin pasadores .....	100
Figura 3.3 Pavimento de hormigón con juntas planas con pasadores de transferencia de carga .....	100
Figura 3.4 Pavimento de hormigón con juntas reforzadas .....	101
Figura 3.5 Pavimento de hormigón continuamente reforzado .....	101
Figura 3.6 Fisuración transversal.....	103
Figura 3.7 Rotura de juntas transversales y fisuras .....	104
Figura 3.8 Resalto de juntas transversales .....	105
Figura 3.9 Escala estándar empleada por el Banco Mundial para la cuantificación del IRI para diferentes tipos de vías .....	107
Figura 4.1 Ubicación del municipio de Yacuiba en el departamento de Tarija .....	134
Figura: 4.2 Plano general de Yacuiba .....	138
Figura: 4.3 Plano de Yacuiba con ubicaciones de las calles en estudio .....	142
Figura 4.4 Regularidad media de la calle Carapari.....	205
Figura 4.5 Regularidad media de la calle san Martin .....	206

