

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



**“AVANCES EN LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO  
MECÁNICO-EMPÍRICO AASHTO 2008 EN PAVIMENTOS  
EN NUESTRO MEDIO”**

**POR:**

**VITO EDSON RAMOS MANCILLA**

**EN LA ASIGNATURA CIV-502**

**SEMESTRE-II- 2019**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“AVANCES EN LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO  
MECÁNICO-EMPÍRICO AASHTO 2008 EN PAVIMENTOS  
EN NUESTRO MEDIO”**

**POR:**

**VITO EDSON RAMOS MANCILLA**

Proyecto de grado, presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

**Semestre II - 2019**  
**TARIJA – BOLIVIA**

**V°B°**

.....  
Ing. Orgaz Fernandez Jhonny Mario  
DOCENTE DE LA MATERIA

.....  
M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez  
**DECANO**  
**FACULTAD CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

.....  
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa  
**VICEDECANA**  
**FACULTAD CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....  
Ing. Ada Lopez Rueda

.....  
Ing. Antonio Calvimontes

.....  
Ing. Laura Soto Salgado

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

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mi Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad, ni desfallecer en el intento.

A mi familia, quienes por ellos soy lo que soy. Para mis padres Crispin Ramos, Flora Mancilla por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS que hizo posible que llegue a este momento, a mis formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado en ayudarme a llegar al punto en que me encuentro.

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirme sus conocimientos y dedicación que los a regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de mi proyecto de grado con éxito y obtener mi titulación.

GRACIAS...

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

	<b>Pág.</b>
1.1. Introducción .....	1
1.2. Justificación .....	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 .....	5
1.5. Hipótesis .....	5
1.6. Definición de variables .....	5
1.6.1. Variables independientes .....	5
1.6.2. Variables dependientes .....	5
1.7. Diseño metodológico .....	5
1.7.1. Componentes.....	5
1.7.1.1. Universo .....	6
1.7.1.2. Población.....	6
1.7.1.3. Muestra .....	6
1.7.2. Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.7.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de los resultados.....	8
1.7.4. Alcance del estudio de aplicación.....	10

## CAPÍTULO II

### ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS

	<b>Pág.</b>
2.1. Pavimentos flexibles .....	11
2.1.1. Funciones de las distintas capas.....	12
2.1.2. Esfuerzos en los pavimentos flexibles .....	14
2.2. Pavimentos rígidos.....	20
2.2.1. Funciones de las distintas capas.....	20
2.2.2. Esfuerzos en los pavimentos rígidos.....	22
2.2.3. Tipos de pavimento Rígido.....	27
2.3. Métodos de diseño de pavimentos flexibles y rígidos .....	31
2.3.1. Métodos empíricos en pavimentos flexibles.....	33
2.3.1.1. Método de la AASHTO 93 .....	33
2.3.1.2. Método de la Road Note 31 .....	35
2.3.2. Métodos empíricos en pavimentos rígidos .....	36
2.3.2.1. Método AASHTO 1993 .....	36
2.3.3. Métodos empíricos-mecanicista en pavimentos flexibles.....	37
2.3.3.1. Método de la AASHTO 2008 .....	37
2.3.4. Métodos empíricos-mecanicista en pavimentos rígidos .....	38
2.3.4.1. Ecuaciones de Westergaard .....	38
2.3.4.2. Método de diseño de la PCA-84 .....	40
2.3.4.3. Método de diseño de la AASHTO 2008.....	45
2.4. Diferencias entre los métodos tradicionales y el método AASHTO 2008 .....	46



## CAPÍTULO III

### AVANCES EN LA APLICABILIDAD DEL MÉTODO MECÁNICO-EMPÍRICO AASHTO 2008 EN PAVIMENTOS EN NUESTRO MEDIO

	<b>Pág.</b>
3.1. Metodología empírico-mecanicista AASHTO 2008 en pavimentos rígidos y flexibles.....	48
3.2. Principios del método MPEDG AASTHO 2008 .....	50
3.2.1. Niveles de entrada.....	52
3.3. Análisis de parámetros.....	53
3.3.1. IRI inicial .....	53
3.3.2. Parámetros de deterioro .....	54
3.3.3. Rugosidad .....	56
3.3.4. Tráfico.....	56
3.3.5. El clima .....	72
3.3.6. Estructura del pavimento .....	73
3.4. Modelos de desempeño en pavimentos flexibles y rígidos.....	78
3.4.1. Modelos de desempeño para pavimentos flexibles.....	79
3.4.1.1. Fisuramiento relacionado con la carga (falla por fatiga) .....	79
3.4.1.2. Fisuras piel de cocodrilo .....	80
3.4.1.3. Fisuras longitudinales .....	81
3.4.1.4. Agrietamiento térmico .....	83
3.4.1.5. Ahuellamiento.....	85
3.4.1.6. Regularidad superficial .....	89
3.4.2. Modelos de desempeño para pavimentos Rígidos (JPCP).....	92
3.4.2.1. Fisuramiento transversal de losas (abajo hacia arriba y arriba hacia abajo).....	92
3.4.2.2. Escalonamiento promedio en juntas transversales.....	95
3.4.2.3. Regularidad superficial en JPCP.....	102

	<b>Pág.</b>
3.4.3. Modelos de desempeño en pavimentos rígidos CRCP .....	104
3.4.3.1. Punzonamiento:.....	104
3.4.3.2. Regularidad superficial en CRCP .....	105
3.5. Calibración a condiciones locales .....	106
3.6. Necesidad de calibración a las condiciones locales .....	107
3.7. Procedimiento para la calibración a condiciones locales.....	108
3.8. Análisis de sensibilidad.....	130
3.9. Criterios de diseño de pavimentos .....	131
3.10. Guía de diseño de pavimentos empírico-mecanicista estado de aplicación en EEUU.....	133
3.11. Visión general del MEPDG AASHTO 2008 en Latinoamérica .....	135
3.12. Estudios sobre el método AASHTO 2008 .....	136

## **CAPÍTULO IV**

### APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO MECÁNICO-EMPÍRICO AASHTO 2008 EN PAVIMENTOS RÍGIDO Y FLEXIBLE

	<b>Pág.</b>
4.1 Zona de aplicación del método AASHTO 2008 .....	151
4.2 Proyecto pavimento rígido Campo Pajoso-Caraparí (JPCP) .....	152
4.1.1 Diseño AASTHO 1993 (Diseño Prueba).....	152
4.1.2 Análisis AASHTO 2008 (Predicción de Fallas e IRI) .....	158
4.3 Proyecto pavimento flexible Puerta de Chaco-Canaletas .....	168
4.1.3 Diseño AASTHO 1993 (Diseño Prueba).....	168
4.1.4 Análisis AASHTO 2008 (Predicción de Fallas e IRI).....	173

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	<b>Pág.</b>
5.1. Conclusiones .....	185
5.2. Recomendaciones .....	188

### BIBLIOGRAFÍA

### ANEXOS

- Anexo 1 Estaciones de clima en Bolivia
- Anexo 2 Estaciones de clima MERRA en Tarija
- Anexo 3 Formato de clima para ingreso en el software MEPDG 2008
- Anexo 4 Capturas de pantallas del software MEPDG 2008
- Anexo 5 Abreviaciones

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 2.4-1 Diferencias entre la AASHTO 1993 y MEPDG 2008.....	47
Tabla 2.4-2 Diferencias entre la AASHTO 1993 y MEPDG 2008 (Cont.) .....	48
Tabla 3.3-1 Recomendaciones para la selección de la velocidad de funcionamiento del vehículo .....	58
Tabla 3.3-2 Clasificación del Tráfico de Camiones (TTC), descripción de grupo y correspondiente distribución de vehículo (camión) por clase, valores por defecto considerados en el software de la guía de diseño.....	61
Tabla 3.3-3 Clasificación del Tráfico de Camiones (TTC), descripción de grupo y correspondiente distribución de vehículo (camión) por clase, valores por defecto considerados en el software de la guía de diseño (cont.) .....	62
Tabla 3.3-4 Orientaciones propuestas para la selección de los grupos apropiados (TTC) para las diferentes clasificaciones funcionales de la carretera. ..	62
Tabla 3.3-5 Definiciones y descripciones de los grupos de TTC.....	63
Tabla 3.3-6 Definiciones y descripciones de los grupos de TTC (cont.) .....	64
Tabla 3.3-7 Definiciones y descripciones de los grupos de TTC (cont.) .....	65
Tabla 3.3-8 Valores por defecto de la distribución del tráfico de camiones por hora basados en datos de tráfico LTPP.....	67
Tabla 3.3-9 Sugiere valores por defecto para el número promedio de ejes simples o tándem, y los ejes trídem por clase de camión. ....	70
Tabla 3.4-1 Eficiencia de Transferencia de Carga (LTE) referencial asumida para diferentes tipos de base.....	99
Tabla 3.7-1 Recomendación para que los parámetros de calibración de la función de transferencia de pavimento flexible se ajusten para eliminar el sesgo y reducir el error estándar .....	125

Tabla 3.7-2	Recomendación para que los coeficientes de calibración de la función de transferencia de pavimento rígido se ajusten para eliminar el sesgo y reducir el error estándar .....	126
Tabla 3.9-1	Criterio de diseño o valores umbral recomendados .....	132
Tabla 3.12-1	Grado de cumplimiento de los objetivos .....	138
Tabla 3.12-2	Proceso de definición de la guía de diseño Mecanístico-Empírico de Costa Rica (CR-ME) .....	140
Tabla 4.2-1	Proyección del TPDA - tránsito normal “Campo Pajoso – Caraparí” .....	152
Tabla 4.2-2	Resultados de la proyección del TPDA tránsito derivado “Campo Pajoso – Caraparí” .....	153
Tabla 4.2-3	Resultados de la proyección del TPDA “Campo Pajoso – Caraparí” .....	154
Tabla 4.2-4	Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) horizonte del proyecto “Campo Pajoso – Caraparí” .....	155
Tabla 4.2-5	Determinación de ejes equivalentes tramo "Campo Pajoso-Caraparí" .....	156
Tabla 4.2-6	Distribución de vehículos por clase “Campo Pajoso – Caraparí” .....	160
Tabla 4.2-7	Distribución de tráfico de camiones por hora “Campo Pajoso – Caraparí” .....	160
Tabla 4.2-8	Número de ejes por camión “Campo Pajoso – Caraparí” .....	161
Tabla 4.3-1	Proyección del TPDA - tránsito normal .....	168
Tabla 4.3-2	Proyección del TPDA - tránsito generado .....	169
Tabla 4.3-3	Resumen del Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) .....	170
Tabla 4.3-4	Determinación de ejes equivalentes.....	171
Tabla 4.3-5	Distribución de vehículos por clase “Puerta de Chaco-Canaletas” .....	174

Tabla 4.3-6	Distribución de tráfico de camiones por hora “Puerta de Chaco-Canaletas” .....	175
Tabla 4.3-7	Número de ejes por camión “Puerta de Chaco-Canaletas” .....	175
Tabla 4.3-8	Cumplimiento de deformación del asfalto .....	176
Tabla 4.3-9	Valoración de resultados “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	179

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 2.1-1 Estructura de un pavimento flexible.....	12
Figura 2.1-2 Ensayos para modelar el efecto de las cargas en el pavimento .....	16
Figura 2.1-3 Sistema elástico de múltiples capas en coordenadas cilíndricas .....	19
Figura 2.2-1 Estructura de un pavimento rígido .....	20
Figura 2.2-2 Curvatura debido al gradiente de temperatura. ....	22
Figura 2.2-3 Esfuerzos y deformaciones en pavimentos rígidos por cargas.....	24
Figura 2.2-4 Método para convertir llantas duales en área circular.....	26
Figura 2.2-5 Losas de concreto (JPCP).....	28
Figura 2.2-6 Losas de concreto (JRCP) .....	29
Figura 2.2-7 Losas de concreto (CRCP) .....	30
Figura 2.2-8 Pavimentos de concreto hidráulico “White-topping” .....	31
Figura 2.3-1 Carta de diseño de pavimentos flexibles AASHTO 1993.....	35
Figura 2.3-2 Esquema funcionamiento método mecánico - empírico .....	38
Figura 3.2 1 Diagrama de flujo de las tres etapas del proceso de diseño/análisis para la metodología MEPDG.....	53
Figura 3.3-1 Distribución de esfuerzos bajo una carga de rueda .....	58
Figura 3.3-2 Clasificación de vehículos.....	60
Figura 3.4-1 Fisuras piel de cocodrilo .....	80
Figura 3.4-2 Fisuras longitudinales.....	82
Figura 3.4-3 Agrietamiento térmico.....	84
Figura 3.4-4 Ahuellamiento .....	86
Figura 3.4-5 Comportamiento del IRI.....	90
Figura 3.4-6 Fisuramiento transversal en losas.....	93
Figura 3.4-7 Vista en perfil: Detalle del escalonamiento.....	95
Figura 3.4-8 Punzonamiento .....	105
Figura 3.10-1 Métodos de diseño de pavimentos en agencias de EEUU .....	134
Figura 3.12-1 Interfaz gráfica CR-ME v1.0 (Vargas, 2013).....	141
Figura 3.12-2 Interfaz gráfica CR-ME v2.0 (Trejos, 2015).....	141

	<b>Pág.</b>
Figura 3.12-3 Proceso de diseño mecánico-empírico .....	142
Figura 3.12-4 Rutas inspeccionadas en Argentina.....	144
Figura 4.1-1 Tramos en estudio .....	151
Figura 4.2-1 Predicción del IRI (JPCP) “Campo Pajoso – Caraparí” .....	165
Figura 4.2-2 Predicción de fisuras transversales (JPCP) “Campo Pajoso – Caraparí” .....	166
Figura 4.2-3 Predicción del escalonamiento (JPCP) “Campo Pajoso – Caraparí” .....	167
Figura 4.3-1 Predicción del IRI (HMA) “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	180
Figura 4.3-2 Agrietamiento longitudinal (ft/mill) “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	181
Figura 4.3-3 Agrietamiento piel de cocodrilo (ft/mill) “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	182
Figura 4.3-4 Agrietamiento transversal (ft/mill) “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	183
Figura 4.3-5 Deformación Permanente (in) “Puerta de Chaco - Canaletas” .....	184
Figura 5.2-1 Proceso recomendado para un diseño efectivo .....	189