

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS RACIONALES EN LA
DEFORMACIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES”**

POR:

JUAN DANIEL ROJAS MERCADO

Tesis de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Marzo 2013

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

.....
MSc. Ing. Luís Alberto Yurquina
DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

.....
MSc. Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Trinidad Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. Johnny Orgaz F.

.....
MSc Ing. Adolfo Molina López

El tribunal no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

A nuestra familia, por brindarnos su amor y apoyo incondicional en todo momento para poder cumplir con nuestros objetivos y metas para salir adelante, especialmente el de contar con una profesión.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por no dejarnos desfallecer ante las adversidades.

A nuestros padres por su amor, apoyo y sacrificio.

A toda nuestra familia por su confianza cariño y comprensión.

A nuestros amigos que en todo momento nos alentaron a seguir adelante.

A todos nuestros docentes por los conocimientos impartidos.

Y a la Facultad de Ciencias y Tecnología por habernos albergado en sus aulas durante estos años.

PENSAMIENTO:

“No pierdas la esperanza o te perderás para siempre”

ÍNDICE

Dedicatorias
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

INTRODUCCIÓN

	Página
1 Justificación.....	1
2 Objetivos.....	3
2.1 Objetivo General.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
3 Alcance.....	5

CAPÍTULO I
MARCO TEÓRICO

	Página
1.1.-Dimensionamiento de Pavimentos.....	7
1.1.1- Características Generales.....	7
1.1.2.- Tipos de pavimentos.....	7
1.1.3- Modelación Mecanicista De Un Pavimento flexible.....	20
1.1.4.- Generalidades sobre la fatiga de los materiales	22
1.4.12.- Aproximación empírica en situ.....	32
1.1.5.- Fatiga en los materiales del pavimento flexible.....	34
1.1.5.1.- Materiales asfálticos.....	38
1.1.5.2.- Módulo de deformación.....	38
1.1.5.3.- Influencia de la temperatura y de la frecuencia.....	40
1.1.5.4.- Ensayos de fatiga.....	42
1.1.6.- Modelación mecanicista de un pavimento rígido.....	45
1.1.6.1- Modelo de Westergaard.....	46
1.1.6.2.- Los modelos multicapas (Burmister 1943).....	47
1.1.7.- Fatiga de pavimentos rígidos.....	49
1.1.7.1.- Materiales tratados con ligantes hidráulicos	49
1.1.7.3.- Curvas de esfuerzo deformación definición del módulo “E”.....	51
1.1.8.- Criterios retenidos para el dimensionamiento	54

CAPÍTULO II
METODOLOGÍA

	Página
2.1.- Metodología para el diseño de pavimentos por métodos racionales.....	55
2.1.- Diseño avanzado por métodos racionales.....	55
2.1.1.- Principales parámetros de entrada en el diseño	62
2.1.3.- Metodología para el diseño de pavimentos	73
2.1.3.7.- Criterios requeridos para el dimensionamiento	76
2.1.4.- Metodología para la medición y análisis elástico de curvas de deflexiones medidas con la viga Benkelman	80
2.1.4.3.- Esquema idealizado de la curva de deflexión	81
2.1.4.4.- Análisis de los materiales del pavimento.....	81
2.1.4.5.- Análisis de deflexiones.....	82
2.1.1.4.6.-Programa de análisis.....	83
2.1.1.4.7.- Verificación del diseño del pavimento con la viga Benkelman.....	86
2.1.1.4.8.- Dimensionamiento de pavimentos utilizando el programa Kempav.....	87
2.1.5.- Manual del manejo del programa	88
2.1.5.3.- Estructura con calzada en concreto	103

CAPÍTULO III

RESULTADOS

	Página
3.1.-Resultados de la aplicación de métodos racionales.....	108
3.1.1.- Aplicación método AASTHO.....	108
3.1.2.- Factores de entrada al proceso de diseño mecanicista.....	123
3.1.2.1.- Tránsito vehicular	123
3.1.2.2.- Caracterización de los materiales.....	126
3.1.3.- Método racional mediante el programa kempav	128
3.1.4.- Generalidades.....	151
3.14. 1.- Clasificación de la Carretera.....	153
3.1.5.- Estado actual del camino existente	153
3.1.6. -Variables de Diseño	154
3.1.6.1.- Tráfico.....	154
3.1.6.2.- Resistencia de los materiales.....	154
3.1.6.3.- Estimación del módulo de sub rasante.....	156
3.1.6.5.- Característica de los materiales (base sub base).....	157
3.1.6.6.- Condiciones meteorológicas y drenaje natural.....	158
3.1.6.7.- Drenaje.....	158
3.1.7.- Método de diseño	160
3.1.7.1.-Diseño de pavimento rígido por el método AASTHO -97.....	160
3.1.7.2.- Número equivalente de ejes de 80 KN (Esals).....	161
3.1.7.3.- Serviciabilidad.....	167

	Página
3.1.7.4.- Serviabilidad inicial (P_o).....	167
3.1.7.5.- Serviabilidad Final (P_1).....	168
3.1.7.6.- Módulo promedio de ruptura del hormigón a los 28 días (S_c).....	169
3.1.7.7.- Módulo de elasticidad (E_c).....	169
3.1.7.8.- Módulo efectivo de reacción de la Subrasante (k).....	170
3.1.7.9.- Nivel de confianza (R).....	170
3.1.7.10.- Desviación estándar Global (S_o).....	171
3.1.7.11.- Coeficiente de transferencia de carga (J).....	172
3.1.7.12.- Coeficiente global de drenaje (C_d).....	173
3.1.8.- Resultados	173

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1.- Conclusiones.....	194
4.2.- Recomendaciones.....	197
Bibliografía.....	199
Anexos	

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla N° 1.- Las especificaciones típicas para varios tipos de subbase.....	19
Tabla N° 2.- Valores de la frecuencia y del periodo dependiendo de la velocidad del vehículo y del tipo de revestimiento.....	42
Tabla N° 3.- Valores del módulo dependiendo de la estructura.....	45
Tabla N° 4.- Coeficiente KD para las calzadas en concreto.....	56
Tabla N° 5.- Características de los pasadores.....	58
Tabla N° 6.- Parámetros de cálculo y límites admisibles.....	61
Tabla N° 7.- Deformación admisible en función del tránsito.....	70
Tabla N° 8.- Valores del módulo de Young de capas de gravas no tratadas.....	72
Tabla N° 9.- Valores de Cam según el tráfico	75
Tabla N° 10.- Valor del coeficiente Kc.....	79
Tabla N° 11.- Valor del coeficiente K s.....	79
Tabla N° 12.- Composición vehicular promedio por estación	109
Tabla N° 13.-Factor de Distribución por dirección.....	110
Tabla N° 14.- Factor de distribución por carril.....	110
Tabla N° 15.- Cálculo de Esals.....	111
Tabla N° 16.- Valores de Confiabilidad.....	112
Tabla N°17.- Coeficientes de drenaje.....	115
Tabla N° 18.- Espesores mínimos.....,	116
Tabla N° 19.- datos de materiales de diseño.....	119
Tabla N° 20.- Resultado de espesores.....	123
Tabla N° 21.- Tipos de Vehículos.....	124

	Página
Tabla N° 22.- Resultado de aforo tramo Puerta al Chaco Canaletas.....	125
Tabla N° 23.- Valores de CBR en el tramo.....	126
Tabla N° 24.- Valores de K para gravas no tratadas	128
Tabla N° 25.- Resultados de deformaciones tramo Puerta al Chaco Canaletas.....	135
Tabla N° 26.- Resultados de deformaciones tramo Puerta al Chaco Canaletas.....	138
Tabla N° 27.- Resultado de deformaciones tramo Puerta la Chaco Canaletas.....	141
Tabla N° 28.- Resultados de espesores mediante el método racional.....	142
Tabla N° 29.- Comparación de resultados de espesores	143
Tabla N° 30.- Resultados de deflexiones lado izquierdo (viga Benkelman).....	145
Tabla N° 31.- Resultados de deflexiones lado derecho (viga Benkelman).....	146
Tabla N° 32.- Resultados de cálculo de deflexiones lado izquierdo (viga Benkelmann.....	147
Tabla N° 33.- Resultados de cálculo de deflexiones lado derecho (viga Benkelman).....	149
Tabla N° 34.- Estado del camino actual	153
Tabla N° 35.- Tramo Campo Pajoso-Carapari composición promedio en estación.	155
Tabla N° 36.- Resumen de ensayos de suelos en subrasantes.....	163
Tabla N° 37.- Datos históricos SNC tramo Campo Pajoso-Carapari-Palos Blancos composición vehicular promedio	164
Tabla N° 38.- Distribución de la composición vehicular promedio tramo Campo Pajoso-Carapari-Palos Blancos.....	165
Tabla N° 39.- Factores equivalentes vehiculares.....	166

	Página
Tabla N° 40.- Determinación de ejes equivalentes Campo Pajoso-Carapari pavimento de Hormigón.....	166
Tabla N°41.- Numero de vehículos pesados por estación.....	167
Tabla N° 42.- Valores de serviciabilidad inicial.....	168
Tabla N°43.- Valores de confianza en función de la funcionalidad.....	171
Tabla N°44.- Coeficientes de transferencia de carga	172
Tabla N° 45.- Valores de espesores del pavimento mm.....	174
Tabla N° 46.- Esfuerzos deformaciones aplicados $ES_b = 25 \text{ MPA}$	185
Tabla N° 47.- Esfuerzos y deformaciones $ES_b = 25 \text{ MPA}$	186
Tabla N° 48.- Esfuerzos y deformaciones aplicados $ES_b = 60 \text{ MPA}$	191
Tabla N° 49.- Esfuerzos y deformaciones aplicados $ES_b = 60 \text{ MPA}$	192
Tabla N° 50.- Matriz de comparación.....	193

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura N° 1.- Transmisión de esfuerzos de pavimentos.....	8
Figura N° 2.- Módulo de boussineq.....	21
Figura N° 3.- Curvas de Wohler.....	23
Figura N° 4.- Definición de diferentes módulos de deformación.....	26
Figura N° 5.- Ensayo de placa (dos cargas).....	28
Figura N° 6.-Variacion del modelo sobre el espesor de una capa de grava no tratada	33
Figura N°7.- Estructura multicapa de un pavimento flexible.....	35
Figura N° 8.- Influencia de las cargas en el módulo de un material bituminoso.....	40
Figura N° 9.- Selección de la frecuencia.....	41
Figura N° 10.- Deformaciones admisibles a $N = 10^6$ Ciclos en función de la temperatura.....	44
Figura N° 11- Esquema del módulo de Westergaard.....	46
Figura N° 12.- Esquema del modelo de Burmister.....	48
Figura N° 13.- Ensayos de flexión y tracción indirecta.....	49
Figura N° 14.- Comparación entre los resultados de los diferentes ensayos (RC, RT, RF, RTS)	51
Figura N° 15.- Ensayo de compresión del material tratado con ligantes hidráulico...	52
Figura N° 16.-Ensayo del módulo dinámico en mezclas asfálticas.....	66
Figura N° 17.- Graficas de ensayo de flexión y tensión indirecta para la determinación a la resistencia a la tensión con materiales estabilizados y concretos hidráulicos.....	67

Figura N° 18.- Ilustración de una cámara triaxial y el concepto de módulo de resiliencia.....	68
Figura N° 19.- Acceso e inicio a Kempav	89
Figura N° 20.- Cálculo del tráfico.....	90
Figura N° 21.- Tipo de estructura.....	91
Figura N° 22.- Tipo de estructura-estructura con tránsito bajo (T .S .D.).....	92
Figura N° 23.- Estructura con tránsito bajo (T .S .D).....	92
Figura N° 24.- Datos de entrada – estructura con tránsito bajo (T.S. D.).....	93
Figura N° 25.- Resultados y gráfica – estructura con tráfico bajo (T.S.D).....	94
Figura N° 26.- Tipo de estructura – estructura con capas bituminosas gruesas.....	95
Figura N° 27.- Datos de entrada – estructura con capas bituminosas gruesas.....	97
Figura N° 28.- Cálculos y ecuaciones – estructura con capas bituminosa gruesas.....	98
Figura N° 29.- Resultados y gráfica – estructura con capas bituminosas gruesas.....	99
Figura N° 30.- Posibilidad de recalza- estructura con capas bituminosas gruesas...	100
Figura N° 31.- Re cálculo del tráfico – estructura con capas bituminosas gruesas...	101
Figura N° 32.- Datos de entrada nuevos para la recalza-estructura con capas bituminosas gruesas.....	102
Figura N° 33.- Cálculo y ecuaciones con recalza estructura con capas bituminosas gruesas.....	102
Figura N° 34.- Resultados y gráfica con recalza-estructura con capa bituminosa gruesa.....	103
Figura N° 35.- Datos de entrada – estructura con calzada en concreto.....	104
Figura N° 36.- Cálculos y ecuaciones- estructura con calzada en concreto.....	106

Figura N° 37.- Resultados y gráfica-estructura con calzada en concreto.....	107
Figura N°38.-Formula método AASTHO	108
Figura N° 39.- Cálculo de espesores del paquete estructural.....	117
Figura N° 40.- Coeficiente estructural a partir del módulo elástico del CA.....	117
Figura N° 41.- Variación en el coeficiente estructural de la capa de base.....	118
Figura N° 42.-Variación en coeficiente estructural capa de subbase.....	118
Figura N° 43.- Cálculo de SN1 por método AASTHO.....	120
Figura N° 44.- Cálculo del SN2 por el método AASTHO.....	121
Figura N° 45.- Cálculo del SN3 por el método AASTHO.....	122
Figura N° 46.- Elección tipo de estructura – estructura con tráfico bajo (T .S .D.)...130	
Figura N° 47- Verificación datos de entrada estructura con tráfico bajo (T S. D)...131	
Figura N° 48.- Datos de entrada- estructura con tráfico bajo (T S. D.).....132	
Figura N° 49.- Iteración de espesores- estructura con tráfico bajo A (T. S .D).....132	
Figura N° 50.- Iteración de espesores- estructura con tráfico bajo A (T. S .D).....133	
Figura N° 51.- Resultados y gráfica –estructura con tráfico bajo (T. S .D).....134	
Figura N° 52.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 200 MPA.....136	
Figura N° 53.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 400 MPA.....136	
Figura N° 54.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 600 MPA.....137	
Figura N° 55.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 200 MPA.....139	
Figura N° 56.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 400 MPA.....139	
Figura N° 57.-Resultados de deformaciones – espesores para EB =600 MPA.....140	
Figura N° 58.- Resultados de deformaciones –espesores para EB = 200 MPA.....142	

Figura N° 59.- Resultados de medición con viga Benkelman lado A izquierdo...	148
Figura N° 60.- Resultados de medición con viga Benkelman lado B izquierdo....	148
Figura N° 61.-Resultados de medición con viga Benkelman lado A derecho.....	150
Figura N° 62.- Resultados de medición con viga Benkelman lado B derecho.....	150
Figura N° 63.- Elección del tipo de estructura –estructura calzada en concreto.....	175
Figura N° 64.- Verificación de datos de entrada	176
Figura N° 65.- Verificación de datos de entrada para su cálculo posterior.....	177
Figura N° 66- Iteración del programa para encontrar el esfuerzo y deformación admisible.....	178
Figura N° 67- Verificación de esfuerzos deformaciones aplicadas vs admisibles...	178
Figura N° 68.- Aceptación de diseño de esfuerzos y deformaciones vs admisibles..	179
Figura N° 69.- Esfuerzos pavimento rígido capa de rodadura ESB =25 MPA.....	181
Figura N° 70.- Esfuerzos pavimento rígido capa de subbase ESB =25 MPA.....	183
Figura N° 71.- Deformaciones pavimento rígido capa subrasante ESB =25 MPA...	184
Figura N° 72.- Esfuerzos pavimento rígido capa de rodadura ESB =60 MPA.....	187
Figura N° 73.- Esfuerzos pavimento rígido capa de subbase ESB = 60 MPA.....	189
Figura N° 74.- Deformaciones pavimento rígido capa subrasante ESB =25 MPA...	189

ÍNDICE ANEXOS

Anexo N° 1 Tablas .método racional

Anexo N° 2 Ilustración fotográfica Tramo Puerta al Chaco Canaletas

Anexo N° 3 Ilustración fotográfica Tramo Campo Pajoso Carapari