

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE MEDIANTE MÉTODOS
MECANÍSTICOS EMPÍRICOS”**

PRESENTADO POR:

YAMIL ERIC MERCADO DURÁN

FEBRERO DE 2012

TARIJA-BOLIVIA

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

**“DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE MEDIANTE
MÉTODOS MECANÍSTICOS EMPÍRICOS”**

Por:

YAMIL ERIC MERCADO DURÁN

Proyecto presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUANMISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

Febrero de 2012

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

Ing. Luis A. Yurquina
DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Lic. Gustavo Succi Aguirre
VICEDECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

Ing. Jhonny Mario Orgaz Fernández

Ing. Marcelo Segovia Cortez

Ing. Mabel Zambrana

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.

DEDICATORIAS:

A Dios y a mi familia por su amor y apoyo en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS:

El autor agradece en forma especial al Ing. Jhonny Mario OrgazFernández, por su valiosa asesoría y orientación durante su desarrollo.

A cuantos fueran participes en las diversas etapas de este trabajo, su colaboración ha sido de gran valor para mí.

PENSAMIENTO:

“Aprender es descubrir lo que ya sabes.
Actuar es demostrar que lo sabes. Enseñar es
recordarles a los demás que saben tanto como
tú”

RICHARD BACH

ÍNDICE

Página.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1. Introducción	1
2. Justificación.....	2
2.1. Determinación del problema.....	3
2.2. Objeto de estudio.....	3
2.3. Campo de acción	3
3. Objetivos	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivos específicos.....	4
4. Alcance.....	5

CAPÍTULO II MEZCLAS ASFÁLTICAS

1. Introducción.....	8
2. Componentes de las mezclas asfálticas.....	8
2.1. Agregados.....	8
2.1.1 Definición.....	8
2.1.2. Clasificación.....	9
2.1.3. Requisitos de los agregados.....	10
2.1.4. Pruebas de laboratorio.....	11
2.2. Asfaltos.....	16
2.2.1. Clasificación y especificaciones.....	17
2.2.2. Funciones del asfalto en la construcción de pavimento.....	19

2.2.3. Composición química del asfalto.....	20
2.2.4. Influencia de los componentes químicos del asfalto en sus Propiedades....	21
2.2.5. Características reológicas del asfalto.....	21
2.2.6. Asfaltos modificados.....	22
3. Propiedades generales de las mezclas asfálticas.....	22
3.1. Estabilidad.....	23
3.2. Resistencia a las deformaciones plásticas.....	23
3.3. Resistencia a la fatiga.....	24
3.4. Flexibilidad.....	24
3.5. Resistencia al deslizamiento.....	24
3.6. Impermeabilidad.....	25
3.7. Resistencia a los agentes externos (durabilidad).....	25
4. Dosificación de las mezclas asfálticas.....	26
4.1. Método de dosificación.....	26
4.2. Dosificación.....	27
5. Pavimentos.....	29
5.1. Definición.....	29
5.2. Tipos de pavimentos.....	30
5.2.1. Pavimento flexible.....	30
5.2.2. Pavimento articulado.....	31
5.2.3. Pavimento rígido.....	31
6. Dimensionamiento de pavimentos.....	32
6.1. Parámetros.....	33
6.1.1. Serviciabilidad.....	33
6.1.2. Tránsito de diseño.....	33
6.1.3. Evaluación de la capacidad de soporte.....	35
6.1.4. Clima.....	36
6.2. Métodos de dimensionamiento.....	37
6.2.1. Métodos empíricos.....	37
6.2.2. Metodología general.....	37

6.2.3. Beneficio de los métodos analíticos.....	39
6.2.4. El método AASHTO.....	40

CAPÍTULO III DETERMINACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE

1. Introducción.....	43
2. Principios del módulo resiliente.....	44
3. Factores que afectan el módulo resiliente.....	48
4. Determinación del módulo resiliente.....	57
4.1. Otros métodos.....	61
4.2. Método Hogg Simplificado.....	64
4.2.1. Generalidades.....	64
4.2.2. El método de Hogg.....	65
4.2.3. Método de análisis.....	70
4.2.3.1. Modelo de carga.....	70
4.2.3.2. Determinación del R50.....	71
4.2.3.3. Determinación de la longitud característica de la curva de flexión (L0).....	71
4.2.3.4. Determinación del módulo de elasticidad de la sub-rasante (E0).....	72
5. Parámetros de evaluación.....	73
5.1. Significado de L0.....	74
5.2. Significado de E0 y su relación con el CBR.....	75
5.3. Correlaciones empíricas.....	76
5.3.1. Fundamentos teóricos.....	76
5.3.2. Ecuación de correlación D0xR50 versus E0.....	77
5.3.3. Correlación E0 versus CBR.....	78
5.3.4. Determinación del módulo resiliente.....	79
5.3.4.1. Procedimiento de cálculo.....	79
5.3.4.2. Validación de resultados.....	80
6. Medición de deflexiones.....	81
6.1. Generalidades.....	81
6.2. La viga Benkelman.....	81
6.3. Equipo requerido.....	83

6.4. Procedimiento en el campo	83
7. Análisis de cálculo de flexiones.....	87
7.1. Cálculo de flexión.....	87
7.2. Cálculo del radio de curvatura	87
7.3. Deflexión característica.....	88
7.4. Deflexión admisible.....	88
7.5. Juicio de la capacidad estructural del pavimento.....	89

CAPÍTULO IV APLICACIÓN PRÁCTICA

1. Antecedentes.....	90
2. Descripción de la carretera.....	96
3. Control de deflectometría.....	101
3.1. Ejecución de control.....	101
3.2 Criterios de análisis.....	104
4. Cálculo de deflexiones.....	104
5. Determinación del módulo resiliente mediante el método Hogg.....	148
5.1. Método de análisis.....	148
5.2. Modelo de carga.....	148
5.3. Determinación de R50.....	148
5.4. Determinación de la longitud elástica (L0).....	162
5.5. Determinación del módulo de elasticidad de la sub-rasante (E0).....	175
6. Determinación de módulo resiliente aplicando el método Hogg Simplificado.....	201
6.1. Procedimiento de cálculo.....	201
6.2. Determinación del R50 para el método de Hogg Simplificado.....	201

6.3. Resumen de resultados	215
7. Comparación de resultados del módulo resiliente del método de Hogg	
Simplificado con el método de Hogg y validación de resultados.....	219

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. CONCLUSIONES	231
2. RECOMENDACIONES.....	237

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	239
--	------------

ANEXOS.....	241
--------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1. Curvas granulométricas de los áridos.....	12
Figura 2.2. Composición química del asfalto.....	20
Figura 2.3. Comportamiento de pavimentos flexible y rígido.....	30
Figura 2.4. Sección típica de un pavimento flexible.....	31
Figura 2.5. Estructuración típica de un pavimento articulado	31
Figura 2.6. Sección típica de un pavimento rígido de hormigón hidráulico.....	32
Figura 3.1. Transmisión de cargas.....	44
Figura 3.2. Cámara triaxial para ensayos cíclicos.....	45
Figura. 3.3. Estado de esfuerzos provocados en la sub rasante por el paso de un vehículo en movimiento.....	46
Figura. 3.4. Deformaciones bajo carga repetidas.....	47

Figura 3.5. Valores de módulo resiliente para diferentes niveles de esfuerzo en función de la temperatura	49
Figura 3.6. Valores de módulo resiliente para distintas frecuencias en función de la temperatura.....	50
Figura 3.7. Valores de módulo resiliente para distintos % de betún en función de la temperatura.....	51
Figura 3.8. Valores de módulo resiliente para distintos agregados en función de la temperatura.....	52
Figura 3.9 Valores de módulo resiliente para distintos % de huecos en función de la temperatura.....	54
Figura 3.10. Módulo efectivo de Resiliencia de la subrasante para pavimentos flexibles en función del criterio de serviciabilidad	59
Figura 3.11 Correlación CBR – Mr. (Gráfica de Kentucky).....	60
Figura 3.12. Modelo de carga.....	66
Figura 3.13. Tipos de curvas	75
Figura 3.14. Relación D0xR50 versus E0.....	78
Figura 3.15. Validación del Método Hogg Simplificado.....	80
Figura 3.16 Partes de la Viga Benkelman.....	82
Figura3.17. Configuración geométrica del sistema de carga.....	84
Figura 3.18. Posiciones del ensayo con viga Benkelman	86
Figura 4.1. Plano de Ubicación Regional.....	91

Figura 4.2. Tramo I.....	92
Figura 4.3. Tramo II.....	93
Figura 4.4. Tramo III.....	94
Figura 4.5. Croquis de ubicación del proyecto	95
Figura 4.6. Tramo actual (imagen1).....	98
Figura 4.7. Tramo actual (imagen 2).....	98
Figura 4.8. Capa Sub rasante de la carretera.....	99
Figura 4.9. Viga analógica.....	101
Figura 4.10. Viga digital.....	101
Figura 4.11. Espaciamiento para lecturas	102
Figura 4.12. Esquema para la medición de deflexiones.....	103
Figura 4.13. Camión para la realización del ensayo	103
Figura 5.1. Validación de resultados.....	232
Figura 6.1. Viga Benkelman.....	261
Figura 6.2. Lectura de deflexiones.....	261
Figura 6.3. Posición de inicio de la práctica.....	261
Figura 6.4. Protección de la viga contra el viento.....	261
Figura 6.5. Compactado de sub rasante.....	262
Figura 6.6. Chancadora y seleccionadora de áridos.....	262
Figura 6.7. Fijación del señalador en la lectura inicial.....	262
Figura 6.8. Transporte del material para terraplén.....	262

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 2.1. Granulometría filler mineral.....	11
Tabla 2.2. Requisitos de graduación para diferentes tipos de mezclas materiales menores a % de pulgadas.....	11
Tabla 2.3. Especificaciones de asfaltos puros.....	18
Tabla 2.4. Dosificación mezclas en caliente empleando el método Marshall.....	29
Tabla 2.5. Relaciones ponderadas filler/betún recomendadas para mezclas D, S y G....	29
Tabla 3.1. Otros métodos mecánico-empíricos.....	62
Tabla 3.2. Modelos tenso-dependientes.....	63
Tabla 3.3. Esquema y parámetros del Modelo de Hogg.....	67
Tabla 3.4. Coeficiente para el Modelo de Hogg.....	69
Tabla 4.1. División del proyecto por tramos.....	91
Tabla 4.2. a 4.25. Resultado de deflexiones (viga Benkelman).....	106
Tabla 4.26. a 4.37. Cálculo de la relación de deflexiones para el cálculo de R50.....	150
Tabla 4.38. a 4.49. Cálculo de la longitud característica.....	163
Tabla 4.50. a 4.61. Cálculo de la relación entre la rigidez por carga puntual y carga distribuida	176
Tabla 4.62. a 4.73. Cálculo del módulo resiliente (Eo) por el método de Hogg.....	189
Tabla 4.74. a 4.85 Cálculo de la longitud característica.....	203
Tabla 4.86.a 4.89. Determinación del módulo resiliente.....	215

Tabla 4.90. a 4.101. Validación de resultados.....	219
Tabla 5.1. a 5.2. Módulo resiliente por el método de Hogg Simplificado.....	233
Tabla 5.3. a 5.4. CBR por el método de Hogg Simplificado.....	235
Tabla 2. Valores tabulados para el cálculo del factor de longitud de curva.....	239
Tabla 3. Valores tabulados para el cálculo de elasticidad de la subrasante.....	243
Tabla 6.1. a 6.12. Cálculo del CBR mediante el método de Hogg Simplificado.....	249