

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

**DEPARTAMENTO  
DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE  
UNA MEZCLA ASFÁLTICA NO CONVENCIONAL  
ELABORADA CON MATERIAL LATERÍTICO Y RIPIO”**

Por:

**MARCELA ALEJANDRA TAPIA ARMELLA**

Tesis presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II- 2016  
TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO**

**DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE UNA  
MEZCLA ASFÁLTICA NO CONVENCIONAL ELABORADA CON  
MATERIAL LATERÍTICO Y RIPIO”**

**Por:**

**MARCELA ALEJANDRA TAPIA ARMELLA**

Tesis presentada a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

**DICIEMBRE DE 2016**

**TARIJA – BOLIVIA**

**VºBº**

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

.....  
M.Sc. Ing. Silvana Paz Ramírez  
**VICEDECANA FACULTAD DE  
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....  
Ing. Trinidad C. Baldiviezo Montalvo.

.....  
Ing. Moisés Díaz Ayarde

.....  
Ing. Mabel Zambrana Velasco

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

### **DEDICATORIAS:**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a **Dios** por brindarme el regalo de la vida y permitirme alcanzar mis metas, siendo mi fortaleza en los momentos difíciles.

#### **A mi madre:**

Elizabeth Armella Fernández, por su sacrificio, amor y apoyo incondicional, por haber confiado siempre en mí y guiar mi camino en la vida.

#### **A mi abuelita:**

Alcira Fernández, por su amor y apoyo incondicional y darme sus consejos.

#### **A mi hermano:**

Marco Cari Armella, por brindarme su constante apoyo.

### **AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a Dios por cuidarme y protegerme siempre, darme la salud, sabiduría y entendimiento para alcanzar este logro.

A mi madre y abuelita, por su apoyo moral e incondicional, y darme la oportunidad de educación desde mi infancia, este logro es gracias a ustedes, gracias por la confianza que siempre han tenido y depositado en mí.

A todos los docentes, por haberme brindado el conocimiento necesario para terminar mis estudios.

A todas las personas que estuvieron junto a mí, dándome el aliento para desarrollarme como profesional.

**PENSAMIENTO:**

“Cuando odias a una persona, odias algo de ella que forma parte de ti mismo. Lo que no forma parte de nosotros no nos molesta”.

*Hermann Hesse*

## INDICE DE CONTENIDO

Advertencia	
Dedicatoria	
Agradecimiento	
Pensamiento	
Resumen	
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. DISEÑO TEÓRICO</b> .....	<b>3</b>
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1. Situación problemática.....	3
1.3.1.2. Problema.....	4
<b>1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>4</b>
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	5
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES</b> .....	<b>5</b>
1.6.1. Variables independientes .....	5
1.6.2. Variables dependientes .....	5
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables .....	6
<b>1.7. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	<b>6</b>
1.7.1. Componentes.....	6
1.7.1.1. Unidad.....	6
1.7.1.2. Población.....	7
1.7.1.3. Muestra.....	7
1.7.1.4. Muestreo.....	7
1.7.2. Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.7.2.1. Métodos.....	7
1.7.2.2. Técnicas .....	7
1.7.2.3. Medios.....	8



1.8. METODOLOGÍA .....	10
1.8.1. Procedimiento metodológico .....	11
1.9. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información .....	13
1.10. Alcance del estudio de aplicación.....	13
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>15</b>
<b>ASPECTOS GENERALES SOBRE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....</b>	<b>15</b>
2.1. DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA .....	15
2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	15
2.2.1. Por fracciones de agregado pétreo empleado.....	15
2.2.2. Por la temperatura de puesta en obra .....	16
2.2.3. Por la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica .....	16
2.2.4. Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	16
2.2.5. Por la estructura del agregado pétreo.....	17
2.2.6. Por la granulometría.....	17
2.3. TIPOLOGÍA DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	18
2.3.1. Mezcla asfáltica en caliente .....	18
2.3.2. Mezcla asfáltica en frío.....	18
2.3.3. Mezcla porosa o drenante .....	19
2.3.4. Microaglomerados .....	19
2.3.5. Masillas.....	20
2.3.6. Mezclas de alto módulo .....	20
2.4. PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	21
2.4.1. Estabilidad.....	21
2.4.2. Durabilidad.....	21
2.4.3. Impermeabilidad.....	22
2.4.4. Trabajabilidad.....	22
2.4.5. Flexibilidad.....	22
2.4.6. Resistencia a la fatiga.....	22
2.4.7. Resistencia al deslizamiento .....	23

2.5. CARACTERÍSTICA DEL DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	23
2.5.1. Densidad de la mezcla.....	23
2.5.2. Vacíos de aire o vacíos.....	23
2.5.3. Vacíos en el agregado mineral (vma) .....	24
2.5.4. Contenido de asfalto.....	24
2.6 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS .....	24
2.6.1 Generalidades.....	24
2.6.2 Definiciones .....	25
2.7. COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	28
2.7.1. Comportamiento del cemento asfáltico.....	30
2.7.2. Comportamiento del agregado mineral.....	32
2.8. FACTORES DE COMPOSICIÓN QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	34
2.8.1. Naturaleza del cemento asfáltico .....	35
2.8.2. Contenido de asfalto.....	35
2.8.3. Porcentaje de vacíos.....	35
2.8.4. Granulometría .....	35
2.8.5. Forma y textura del agregado.....	36
2.8.6. Contenido de finos .....	36
2.9. COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA .....	36
2.9.1. Tipología de los agregados .....	36
2.9.2. Características de los agregados .....	37
2.9.3. Clasificación de los agregados.....	37
2.10. CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA .....	38
2.10.1. Rigidez.....	38
2.10.2. Resistencia a la fatiga.....	39
2.10.3. Deformación plástica .....	39
2.11. DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	40
2.11.1. Demanda de asfalto para la combinación de agregados .....	41
2.11.2. Porcentaje de asfalto nuevo en la mezcla.....	41

2.11.3. Tanteos de diseño de la mezcla y selección de la fórmula de trabajo.....	42
2.12. MÉTODO MARSHALL.....	42
2.12.1. Preparación de las muestras de ensayo .....	43
2.12.2. Procedimiento del ensayo .....	43
2.12.3. Ensayos de estabilidad y fluencia .....	44
2.13. CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADO .....	44
2.13.1. Requisitos del agregado pétreo .....	47
2.13.2 Requisitos del ligante asfáltico .....	48
2.14. MATERIALES DE ESTUDIO .....	48
2.14.1. Laterita.....	48
2.14.1.1. Características de la laterita .....	49
2.14.1.2. Valores típicos de propiedades de suelos lateríticos.....	50
2.14.2. Ripio.....	52
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>53</b>
<b>INVESTIGACIÓN SOBRE EVALUACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON LATERITA Y RIPIO .....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES.....</b>	<b>53</b>
3.1.1. Ripio.....	53
3.1.2. Laterita .....	53
3.1.3. El asfalto .....	54
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	56
3.2.1 Granulometría de agregados ASTM C136.....	56
3.2.2. Límites de Atterberg .....	62
3.2.3. Determinación del valor equivalente de arena de suelos y agregados finos norma ASTM d 2419 .....	66
3.2.4. Gravedad específica y absorción en agregados finos ASTM c-128 .....	69
3.2.5. Determinación gravedad específica y absorción de agua en áridos gruesos	73
3.2.6. Determinación del peso unitario de los agregados (grava y gravilla) (AASHTO T19 ASTM C29).....	77
3.2.7. Determinación del peso unitario de los agregado fino (AASHTO T19 ASTM c29) .....	81

3.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ASFALTICOS .....	84
3.3.1 Penetración ASTM D5, AASHTO T49 .....	84
3.3.2 Ensayo de viscosidad Saybolt Furolb ASTM D244 .....	87
3.3.3. Punto de reblandecimiento anillo y bola ASTM D 36.....	91
3.3.4 Ensayo de peso específico ASTM D-70. ....	94
3.3.5 Puntos de Inflamación Copa Abierta de Cleveland ASTM D-92.....	97
3.4. ELABORACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON MATERIAL LATERITICO Y RIPIO .....	100
3.4.1. Método de diseño Marshall no convencional AASHTO T 245 .....	100
3.4.2. Preparación de los especímenes Marshall.....	103
3.4.3. Diseño de la Mezcla no Convencional con Laterita y Ripio.....	116
3.5. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO BÁSICO .....	122
3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	131
3.6.1. Análisis de Resultados caracterización delos materiales pétreos.....	131
3.6.2. Análisis de Resultados del Método Marshall con diferentes porcentajes de laterita.....	131
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>141</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>141</b>
4.1. CONCLUSIONES .....	141
4.2. RECOMENDACIONES .....	142
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>144</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Conceptualización y Operacionalización de Variables.....	6
Tabla 2.1. Clasificaciones de las mezclas asfálticas .....	17
Tabla 2.2. Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados .....	45
Tabla 2.3. Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos .....	46
Tabla 2.4. Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	47
Tabla 2.5. Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	47
Tabla 2.6. Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C. ....	48
Tabla 2.7. Propiedades de suelos lateríticos .....	50
Tabla 2.8. Propiedades de Resistencia de Suelos Lateríticos .....	51
Tabla 3.1. Serie de Tamices (Tamices utilizados en el ensayo) .....	56
Tabla 3.2. Cantidad mínima de muestra (Utilizado).....	57
Tabla 3.3. Granulometría del material laterítico AASHTO T 27 .....	60
Tabla 3.4. Granulometría AASHTO T- 27 (ripio).....	61
Tabla 3.5. Resultados de los límites de Atterberg del suelo de canto rodado (ripio) .....	65
Tabla 3.6. Resultados de los límites de Atterberg de la laterita.....	65
Tabla 3.7. Resultado de Porcentaje de arena (100% ripio).....	68
Tabla 3.8. Resultado de Porcentaje de arena (100% laterita) .....	68
Tabla 3.9. Resultado del peso específico del agregado fino (ripio).....	72
Tabla 3.10 Resultado del peso específico del agregado fino (laterita) .....	73
Tabla 3.11. Cantidad mínima de muestra a utilizar según el tamaño máximo nominal .....	74
Tabla 3.12. Resultado de gravedades específicas y absorción de agregado grueso (ripio) .....	77
Tabla 3.13. Resumen de resultados de peso unitario de la grava.....	81
Tabla 3.14. Resumen de resultados de peso unitario de la Arena.....	83

Tabla 3.15. Resultado de Ensayo de Penetración 85-100 Convencional.....	87
Tabla 3.16. Resultado de Viscosidad Saybolt asfalto convencional.....	90
Tabla 3.17. Viscosidad a diferente temperatura asfalto convencional.....	91
Tabla 3.18. Resultado del punto de ablandamiento .....	94
Tabla 3.19. Resultado de la gravedad específica de asfalto convencional .....	97
Tabla 3.20. Resultado del punto de Inflamación asfalto convencional .....	100
Tabla 3.21. Resultados del Marshall con el 0% de laterita.....	116
Tabla 3.22. Resultados del Marshall con el 0% de laterita Valores óptimos.....	116
Tabla 3.23. Resultados del Marshall con el 2% de laterita.....	117
Tabla 3.24. Resultados del Marshall con el 2% de laterita Valores óptimos.....	117
Tabla 3.25. Resultados del Marshall con el 4% de laterita.....	118
Tabla 3.26. Resultados del Marshall con el 4% de laterita Valores óptimos.....	118
Tabla 3.27. Resultados del Marshall con el 6% de laterita.....	119
Tabla 3.28. Resultados del Marshall con el 6% de laterita Valores óptimos.....	119
Tabla 3.29. Resultados del Marshall con el 8% de laterita.....	120
Tabla 3.30. Resultados del Marshall con el 8% de laterita Valores Óptimos.....	120
Tabla 3.31. Resultados del Marshall con el 10% de laterita.....	121
Tabla 3.32. Resultados del Marshall con el 10% de laterita Valores óptimos.....	121
Tabla 3.33. Tratamiento estadístico con el 0% de laterita .....	122
Tabla 3.34. Tratamiento estadístico con el 2% de laterita .....	123
Tabla 3.35. Tratamiento estadístico con el 4% de laterita .....	125
Tabla 3.36. Tratamiento estadístico con el 6% de laterita .....	126
Tabla 3.37. Tratamiento estadístico con el 8% de laterita .....	128
Tabla 3.38. Tratamiento estadístico con el 10% de laterita .....	129
Tabla 3.39. Resultados óptimos del Marshall con todos los diseños.....	136
Tabla 3.40. Resultados del Marshall con el porcentaje optimo del 4% de laterita	138
Tabla 3.41. Especificaciones técnicas para el método Marshall.....	139
Tabla 3.42. Especificaciones técnicas de los agregados .....	140

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Esquema de una Muestra VMA en una probeta de mezcla Compactada .....	27
Figura 2.2. Variación del Comportamiento de una Mezcla Asfáltica en Función del Tiempo y de la Aplicación de una Carga (curva experimental) .....	28
Figura 2.3. Comportamiento del flujo del cemento asfáltico.....	30
Figura 2.4. Comportamiento del agregado Sometido a carga de corte.....	33
Figura 2.5. Ubicación de Suelos Lateríticos en el cuadro de Plasticidad .....	50
Figura 2.6. Índice de Compresión en Función del Limite Líquido para suelos lateríticos.....	51
Figura 2.7. Análisis químico de la laterita.....	52
Figura 3.1. Mapa hidrográfico de Tarija.....	53
Figura 3.2. Ubicación del material laterita.....	54
Figura 3.3: Especificaciones del Betón.....	55
Figura 3.4. Cuarteo del material.....	58
Figura 3.5. Juego de Tamices.....	58
Figura 3.6. Pesando el material.....	59
Figura 3.7. Realizando límite líquido de la laterita.....	64
Figura 3.8. Realizando límite plástico de la laterita.....	64
Figura 3.9. Llenado de la probeta con solución y muestras en reposo .....	67
Figura 3.10. Secado del material laterita.....	70
Figura 3.11. Usando el molde cónico .....	70
Figura 3.12. Pesando la muestra - agua y matraz.....	71
Figura 3.13. Pesando la muestra .....	71
Figura 3.14. Secando la Muestra.....	75
Figura 3.15. Peso de muestra en agua.....	76
Figura 3.16. Llenado del molde con agregado.....	78
Figura 3.17. Enrazado con la regla metálica.....	79
Figura 3.18. Varillado con la barra metálica.....	80
Figura 3.19. Varillando el material.....	83

Figura 3.20. Baño maría de agua a la temperatura controlada de 25°C, durante un periodo de 30 minutos.....	86
Figura 3.21. Lectura de penetración.....	86
Figura 3.22. Registro de tiempo en el Viscosímetro.....	90
Figura 3.23. Colocación de esferas sobre anillos.....	93
Figura 3.24. Registro de temperatura.....	93
Figura 3.25. Muestras de asfalto.....	96
Figura 3.26. Registro de peso Picnómetro + asfalto + agua.....	96
Figura 3.27. Punto de Combustión.....	99
Figura 3.28. Secando las muestras para la dosificación de cada briqueta.....	104
Figura 3.29. Pesando las muestras para la dosificación de cada briqueta.....	105
Figura 3.30. Peso de muestra + asfalto.....	105
Figura 3.31. Preparación del molde.....	106
Figura 3.32. Disco de papel filtro.....	107
Figura 3.33. Mezcla del agregado pétreo con el cemento asfáltico.....	107
Figura 3.34. Controlando la temperatura (esta debe ser 135°C).....	108
Figura 3.35. Compactación con martillo con 75 golpes por cara.....	108
Figura 3.36. Desmoldando la briqueta.....	109
Figura 3.37. Peso seco.....	110
Figura 3.38. Briquetas en baño María a 25°C por 10 min.....	110
Figura 3.39. Determinación del peso sumergido en el agua.....	111
Figura 3.40. Briquetas en baño María a 60°C por 35 min para cada una.....	112
Figura 3.41. Colocado de briquetas en la mordaza Marshall.....	115
Figura 3.42. Hacer correr y leyendo el dial de Estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de deformación para el Flujo.....	115



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1. Curva granulométrica de la laterita.....	60
Gráfica 3.2. Curva Granulométrica del ripio .....	61
Grafica 3.3. Temperatura vs Viscosidad Asfalto Convencional.....	91
Grafica 3.4. Densidad vs % de laterita.....	131
Grafica 3.5. % vacíos vs % de laterita .....	132
Grafica 3.6. % RBV vs % de Laterita.....	133
Grafica3.7. % VAM vs % de laterita .....	133
Grafica 3.8. Estabilidad vs % de laterita.....	134
Grafica 3.9. Fluencia vs % de laterita.....	135
Grafica 3.10. % de asfalto vs % de Laterita.....	136
Grafica 3.11. Curva granulometría con el porcentaje óptimo del 4%de laterita....	138