

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



**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE EL DISEÑO DE
PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTÉTICOS”**

Por:

MARTINEZ SILVIA NOEMI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para
optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

SEMESTRE II - 2018
TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE EL DISEÑO DE
PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTÉTICOS”**

Por:

MARTINEZ SILVIA NOEMI

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

SEMESTRE - II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

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

DECANO
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA
FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA

TRIBUNAL

.....
M.Sc. Ing. Oscar Marcelo Chávez Calla

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

.....
Ing. Weimar Mejía Mogrovejo

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Oscar Martínez y Maida Ortega, a mis hermanos Alex y Roxana Martínez, a mis tíos, tías y abuelitos, por apoyarme siempre, por haber confiado en mí e inculcarme la perseverancia para cumplir con mis metas e ideales.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por darme la vida y permitir que llegue a cumplir este anhelado objetivo.

A mis **padres** Oscar y Maida, a mis hermanos Alex, Roxana y toda mi demás familia por el apoyo incondicional que me brindaron, por su cariño y por el ejemplo que de una u otra manera me dieron.

A la universidad Autónoma Juan Misael Saracho por acogerme en todo este tiempo de formación académica.

A la Ing. Seila Ávila y Don Carlitos Subía por la paciencia y el apoyo que cariñosamente me brindaron para poder culminar el presente proyecto.

A mis amigos Gabriel, Nataly, Luis, Justina, Eladio, Oscar, Cristian, José y Fernando, que con su apoyo y amistad contribuyeron a la finalización de este proyecto.

PENSAMIENTO

La confianza en uno mismo es el primer peldaño para ascender por la escalera del éxito.

Ralph Waldo Emerson

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria

Agradecimiento

Pensamiento

Resumen ejecutivo

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.2. Determinación del problema.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. HIPÓTESIS.....	5
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES.....	5
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	6
1.7.1. Componentes.....	6
1.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.....	6
1.9. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	8

CAPÍTULO II

PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTÉTICO

	Pág.
2.1. PAVIMENTO FLEXIBLE.....	11
2.1.1. Elementos estructurales básicos.....	12
2.1.1.1. Carpeta asfáltica.....	13
2.1.1.2. Capa base.....	14
2.1.1.3. Capa subbase.....	16
2.1.1.4. Capa subrasante.....	18
2.1.2. Deterioración de la estructura.....	19
2.1.3. Rehabilitación de pavimentos.....	23
2.1.4. Mezcla asfálticas en caliente – Método Marshall.....	24
2.2. GEOSINTÉTICOS.....	28
2.2.1. Definición de geosintético.....	29
2.2.2. Componentes de los geosintéticos.....	30
2.2.3. Clasificación de los geosintéticos.....	31
2.2.4. Funciones principales de los geosintéticos en pavimentos.....	37

CAPÍTULO III

ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE EL DISEÑO DE PAVIMENTO REFORZADO CON GEOSINTÉTICO

3.1. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO.....	40
3.2. PROCEDENCIA DE GEOSINTÉTICOS.....	42

	Pág.
3.3. UBICACIÓN Y PROCEDENCIA DE LOS MATERIALES.....	43
3.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	45
3.3.1. Granulometría (ASTM E40 AASHTO T27-99).....	45
3.3.2. Peso específico del agregado grueso ASTM C-127 (Grava, Gravilla).....	50
3.3.3. Peso específico del agregado fino (ASTM D-128)	52
3.3.4. Desgaste de Los Ángeles (ASTM E131 AASTHO T96-99).....	55
3.3.5. Equivalente de arena (ASTM D2419 AASTHO T176).....	59
3.4. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.....	61
3.4.1. Ensayo de penetración (ASTM D5 AASHTO T49-97).....	62
3.4.2. Punto de inflamación por el vaso abierto de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO 79-96).....	63
3.4.3. Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36 AASHTO T53-96).....	64
3.4.4. Ensayo de ductilidad (ASTM D113 AASHTO T51-00).....	65
3.4.5. Peso específico (ASTM D71-94 AASHTO T229-97).....	66
3.4.6. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol (ASTM D88- AASHTO T72).....	68
3.5. DISEÑO DE LA MEZCLA ASFALTICA POR EL METODO DE MARSHALL PARA OBTENER EL CONTENIDO ÓPTIMO.....	69
3.5.1. Granulometría formada de la mezcla.....	70
3.5.2. Determinación de las cantidades de agregado y cemento asfáltico.....	71

	Pág.
3.5.3. Procedimiento del Método Marshall.....	72
3.5.4. Desarrollo de la planilla del Método Marshall.....	75
3.5.5. Resultado de la práctica.....	80
3.5.6: Graficas de curvas de diseño de la mezcla asfáltica Método Marshall.....	81
3.6. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS DE LOS TRAMOS DE ESTUDIO.....	83
3.6.1. Tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo.....	84
3.6.2. Tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas.....	85
3.6.3. Tramo Piedra Larga – Canaletas.....	86
3.7. DISEÑO DE REFUERZO DEL PAVIMENTO POR EL MÉTODO AASHTO.....	89
3.7.1. Calculo del espesor del refuerzo.....	89
3.8. CARACTERÍSTICAS DE LOS NÚCLEOS EXTRAÍDOS.....	93
3.8.1. Determinación de la estabilidad y fluencia de los núcleos.....	94
3.8.2. Determinación del contenido de cemento asfáltico.....	96
3.8.3. Granulometría de los núcleos.....	99
3.9. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA PARA BRIQUETAS REFORZADAS CON GEOSINTÉTICO.....	106
3.9.1. Procedimiento.....	107
3.9.2. Ensayo de compresión inconfiada de los núcleos con geosintético y sin geosintético.....	109

	Pág.
3.9.3. Resultados obtenidos del ensayo de compresión inconfínada.....	110
3.10. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	115
3.10.1. Comparación del esfuerzo según el tipo de geosintético aplicado en los tramos de estudio.....	114
3.10.1.1. Geotextil.....	114
3.10.1.2. Geomalla tejida de poliéster.....	117
3.10.1.3. Geomalla biaxial.....	119
3.10.1.4. Sin geosintético.....	122
3.10.2. Comparación del esfuerzo según el tramo de aplicación.....	125
3.10.2.1. Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo.....	125
3.10.2.2. Puerta del Chaco – Puente Jarcas.....	127
3.10.2.3. Piedra Larga – Canaletas.....	130
3.10.3: Comparación del comportamiento del total de los núcleos analizados.....	133
3.10.4. Análisis de precios unitarios.....	136
3.10.4.1. Análisis de precios de la carpeta de concreto asfáltico convencional.....	137
3.10.4.2. Análisis de precios de la carpeta de concreto asfáltico con geotextil.....	137
3.10.4.3. Análisis de precios de riego de liga.....	138

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.....	141
------------------------	-----

4.2. RECOMENDACIONES.....144

BIBIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS DE UBICACIÓN Y COORDENADAS

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1: Espesores mínimos, en pulgadas, en función de los ejes equivalentes.....	14
Tabla 2.2: Graduaciones de agregados.....	16
Tabla 2.3: Porcentaje de aceptación de base granular.....	18
Tabla 2.4: Características de materiales de capa base.....	26
Tabla 2.5: Porcentajes admisibles para la copa subbase.....	26
Tabla 2.6: Graduaciones Propuestas para Mezclas Asfálticas.....	27
Tabla 3.1: Granulometría de material grueso.....	47
Tabla 3.2: Granulometría de material intermedio.....	48
Tabla 3.3: Granulometría de material fino.....	49
Tabla 3.4: Resultados de peso específico del agregado grueso.....	52
Tabla 3.5: Resultados de peso específico del agregado intermedio.....	52
Tabla 3.6: Resultados de peso específico del agregado fino.....	55
Tabla 3.7: Tabla de pesos de agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de Los Ángeles.....	56
Tabla 3.8: Datos de desgaste de Los Ángeles de agregado grueso.....	56
Tabla 3.9.: Resultados de desgaste de Los Ángeles de agregado grueso.....	57
Tabla 3.10: Desgaste de Los Ángeles para material intermedio.....	58
Tabla 3.11: Resultados de desgaste de Los Ángeles para material intermedio.....	58
Tabla 3.12: Datos de equivalente de arena.....	59
Tabla 3.13: Resultados de equivalente de arena.....	60

Tabla 3.14: Resultados de caracterización de agregados y comparación con la norma ASTM.....	61
Tabla 3.15: Resultados de punto de penetración	63
Tabla 3.16: Resultados de punto de inflamación.....	64
Tabla 3.17: Resultados de punto de ablandamiento.....	65
Tabla 3.18: Resultados de ensayo de ductilidad.....	66
Tabla 3.19: Datos de ensayo de peso específico.....	67.
Tabla 3.20: Resultados de ensayo de peso específico.....	68
Tabla 3.21: Resultados de ensayo de viscosidad Saybolt Furol.....	68
Tabla 3.22: Resultados de caracterización de cemento asfáltico y comparación con la norma ASTM.....	69
Tabla 3.23: Granulometría formada y especificaciones del instituto del asfalto.....	70
Tabla 3.24: Pesos de los agregados y cemento asfáltico para diferentes %.....	71
Tabla 3.25: Resultados del contenido óptimo de cemento asfáltico.....	80
Tabla 3.26: Resultado del contenido óptimo del cemento asfáltico.....	83
Tabla 3.27: Resultados de la extracción de núcleos.....	86
Tabla 3.28: Coordenadas de los núcleos extraídos.....	87
Tabla 3.29: Datos del pavimento existente donde se colocara el refuerzo (Ver texto en Anexo 9).....	89
Tabla 3.30: Valores sugeridos del coeficiente estructural para capas de pavimentos deteriorados.....	91
Tabla 3.31: Identificación de los núcleos analizado.....	93
Tabla 3.32: Resultados de estabilidad y fluencia de los núcleos.....	95

	Pág.
Tabla 3.33: Resultados del contenido de asfalto de los núcleos extraídos.....	98
Tabla 3.34: Granulometría del núcleo N°1.....	99
Tabla 3.35: Granulometría del núcleo N°2.....	100
Tabla 3.36: Granulometría del núcleo N° 3.....	101
Tabla 3.37: Granulometría del núcleo N° 4.....	102
Tabla 3.38: Granulometría del núcleo N°5.....	103
Tabla 3.39: Granulometría del núcleo N°6.....	104
Tabla 3.40: Observaciones de las curvas granulométricas.....	105
Tabla 3.41: Porcentajes de cemento asfáltico y agregados para la mezcla diseñada.....	106
Tabla 3.42: Identificación de los núcleos analizados.....	110
Tabla 3.43: Lectura del extensometro y deflexión del núcleo N°1.....	111
Tabla 3.44: Esfuerzo y deformación aplicando geotextil en diferentes tramos.....	114
Tabla 3.45: Deformación y esfuerzo aplicando geomalla tejida de poliéster.....	117
Tabla 3.46: Esfuerzo y deformación aplicando geomalla biaxial.....	119
Tabla 3.47: Esfuerzo y deformación sin geosintético en diferentes tramos.....	122
Tabla 3.48: Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en e tramo Puente de Tomatitas carretera San Lorenzo.....	125
Tabla 3.49: Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en el tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas.....	128
Tabla 3.50: Esfuerzo y deformación de diferentes geosintéticos aplicados en el tramo Piedra Larga – Canaletas.....	131
Tabla 3.51: Comportamiento del esfuerzo y deformación de los núcleo analizados...	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 2.1. Distribución de cargas en las capas de un pavimento flexible.....	12
Gráfico 2.2: Estructura clásica de un pavimento flexible.....	13
Gráfico2.3: Límites granulométricos para base granular.....	16
Gráfico 2.4: Límites granulométricos para base granular.....	17
Gráfico 2.5: Falla por tensiones superficiales.....	22
Gráfico 2.6: Granulometría Marshall.....	27
Gráfico 2.7: Función de separación del geosintético.....	38
Gráfico 2.8: Función de refuerzo.....	38
Gráfico 2.9: Función de filtración.....	39
Gráfico 3.1: Curva granulométrica de material grueso.....	47
Gráfico 3.2: Curva granulométrica de agregado intermedio.....	48
Gráfico 3.3: Curva granulométrica de material fino.....	49
Gráfico 3.4: Granulometría final formada.....	71
Gráfico 3.5: Contenido de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.....	81
Gráfico 3.6: Fluencia vs contenido de cemento asfáltico.....	81
Gráfico 3.7: Contenido de cemento asfáltico vs densidad de las briquetas.....	81
Gráfico 3.8: Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de la Mezcla.....	82
Gráfico 3.9: Contenido de cemento asfáltico vs porcentaje de vacíos de agregado mineral.....	82
Gráfico 3.10: Contenido de cemento asfáltico vs relación betum en vacíos.....	82
Gráfico 3.11: Representación del método de tres bolillos.....	83
Gráfico 3.12: Curva granulométrica de núcleo N°1.....	99

	Pág.
Gráfica 3.13: Curva granulométrica del núcleo N°2.....	100
Gráfico 3.14: Curva granulométrica del núcleo N°3.....	101
Gráfico 3.15: Curva granulométrica del núcleo N°4.....	102
Gráfico 3.16: Curva granulométrica del núcleo N°5.....	103
Gráfico 3.17: Curva granulométrica del núcleo N°6.....	104
Gráfico 3.18: Curva de lectura del extensómetro carga vs deflexión del núcleo N°1...	112
Gráfico 3.19: Curva de lectura del extensómetro esfuerzo vs deflexión del núcleo N°1.....	113
Gráfico 3.20: Curva de esfuerzo y deformación aplicando geotextil.....	115
Gráfico 3.21: Curva de esfuerzo y deformación aplicando geomalla tejida de poliéster.....	118
Gráfico 3.22: Curva de esfuerzo y deformación aplicando geomalla biaxial.....	120
Gráfico 3.23: Curva de esfuerzo y deformación sin geosintético en diferentes tramos.....	122
Gráfico 3.24: Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo aplicados por diferentes geosintéticos.....	126
Gráfico 3.25: Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Puerta del Chaco – Puente Jarcas aplicados por diferentes geosintéticos.....	129
Gráfico 3.26: Curva de esfuerzo y deformación en el tramo Piedra Larga - Canaletas aplicados por diferentes geosintéticos.....	132
Gráfico 3.27: Curva del comportamiento del esfuerzo y deformación de los núcleos analizados.....	135

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 2.1: Falla por fatiga.....	21
Imagen 2.2: Falla por tensiones superficiales.....	21
Imagen 2.3: Falla por grietas térmicas.....	22
Imagen 2.4: Falla por falta de capacidad portante.....	22
Imagen 2.5: Falla por discontinuidades existentes.....	23
Imagen 2.6: Geosintético.....	29
Imagen 2.7: Geotextil.....	32
Imagen 2.8: Geomalla uniaxial - Geomalla biaxial.....	33
Imagen 2.9: Geored.....	34
Imagen 2.10: Geomenbrana.....	35
Imagen 2.11: Geoceldas.....	36
Imagen 2.12: Geocompuestos con geomalla.....	37
Imagen 2.13: Aplicación de geosintético como barrera impermeabilizante.....	39
Imagen 3.1: Tramo Puente de Tomatitas carretera a San Lorenzo.....	41
Imagen 3.2: Tramo Puerta del Chaco- Puente Jarcas.....	41
Imagen 3.3: Tramo Piedra Larga – Canaletas.....	41
Imagen 3.4: Geotextil utilizado.....	42
Imagen 3.5: Geomalla tejida de poliéster utilizada.....	43
Imagen 3.6: Geomalla biaxial utilizada.....	43

	Pág.
Imagen 3.7: Ubicación de la planta de SEDECA.....	44
Imagen 3.8: Agregado pétreo de planta.....	44
Imagen 3.9: Cemento asfáltico 85-100.....	45
Imagen 3.10: Tamizado de los agregados pétreos.....	46
Imagen 3.11: Peso retenido en cada tamiz	46
Imagen 3.12: Muestra saturada durante 24 hs.....	50
Imagen 3.13: Tamizado de la grava.....	50
Imagen 3.14: Muestra colocada en la canastilla.....	50
Imagen 3.15: Muestra saturada por 24 hs. y verificación de la condición de saturación.....	54
Imagen 3.16: Muestra colocada con agua en el matraz y pesada.....	54
Imagen 3.17: Muestra pesada y sacada del matraz.....	54
Imagen 3.18: Máquina de desgaste de Los Ángeles.....	57
Imagen 3.19: Muestra en las tres probetas y colocación de solución.....	59
Imagen 3.20: Lectura de las alturas de separación de los finos.....	59
Imagen 3.21: Muestra calentada y vertida en los recipientes de ensayo.....	62
Imagen 3.22: Ensayo de penetración.....	62
Imagen 3.23: Aguja del penetrómetro.....	63
Imagen 3.24: Equipo de punto de inflamación.....	63
Imagen 3.25: Aumento de temperatura y verificar su punto de inflamación.....	64

	Pág.
Imagen 3.26: Cemento asfáltico en los anillos.....	64
Imagen 3.27: Punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	65
Imagen 3.28: Muestra vertida en los moldes.....	65
Imagen 3.29: Ensayo de ductilidad.....	66
Imagen 3.30: Recipientes con agua destilada mantenidos en baño maría a 25°C.....	66
Imagen 3.31: Recipientes con cemento asfáltico y agua destilada para pesar.....	67
Imagen 3.32: Preparación de la dosificación para realizar una briqueta.....	72
Imagen 3.33: Compactación de la mezcla a 160° C en los moldes de Marshall.....	73
Imagen 3.34: Medición de alturas y determinación de peso seco de las briquetas.....	73
Imagen 3.35: Peso superficialmente seco y peso específico sumergido.....	74
Imagen 3.36: Determinación de estabilidad y fluencia de las briquetas.....	75
Imagen 3.37: Identificación del sitio de la extracción de núcleos -Tramo 1.....	84
Imagen 3.38: Extracción de núcleo del sitio.....	84
Imagen 3.39: Identificación del sitio de la extracción de núcleo - Tramo 2.....	39
Imagen 3.40: Extracción de muestras de los dos tramos.....	85
Imagen 3.41: Identificación del sitio y extracción de núcleo – Tramo 3.....	86
Imagen 3.42: Lectura de coordenadas de los núcleos extraídos.....	88
Imagen 3.43: Deterioros presentes en los tramos de estudio.....	92
Imagen 3.44: Núcleos superficialmente secos pesados.....	94
Imagen 3.45: Rotura de los núcleos en la prensa de Marshall.....	96

	Pág
Imagen 3.46: Muestra calentada en horno y colocada en la tasa del extractor.....	97
Imagen 3.47: Ensayo de extracción centrifuga.....	98
Imagen 3.48: Tamizado de los núcleos.....	105
Imagen 3.49: Designación de los geosintéticos en función al tipo y el tramo de estudio.....	107
Imagen 3.50: Núcleos imprimados y colocados en los moldes.....	107
Imagen 3.51: Colocación de los geosintéticos.....	108
Imagen 3.52: Mezcla calentada y colocada en los moldes para compactar.....	108
Imagen 3.53: Briquetas desmoldadas.....	109
Imagen 3.54: Ensayo de compresión inconfinado de las briquetas.....	109

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo 1.** Solicitudes de provisión de materiales y prestación de insumos y equipos de laboratorio
- Anexo 2.** Caracterización de los agregados pétreos
- Anexo 3.** Caracterización del cemento asfáltico
- Anexo 4.** Contenido óptimo de cemento asfáltico – Método Marshall
- Anexo 5.** Fichas técnicas y características de los geosintéticos utilizados
- Anexo 6.** Caracterización de los núcleos extraídos
- Anexo 7.** Ensayo de compresión inconfiada de los núcleos
- Anexo 8.** Guías de laboratorio de la ABC
- Anexo 9.** Información del pavimento existente proporcionado por SEDECA
- Anexo 10.** Reporte fotográfico de coordenadas de los núcleos extraídos