

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



**“ANÁLISIS DEL SHAKEDOWN EN LOS MATERIALES
GRANULARES DE LA CAPA ASFÁLTICA DEL PAVIMENTO”**

Elaborado por:

RONALD GUSTAVO MICHEL ROMERO

SEMESTRE II -2019

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS DEL SHAKEDOWN EN LOS MATERIALES
GRANULARES DE LA CAPA ASFÁLTICA DEL PAVIMENTO”**

Elaborado por:

RONALD GUSTAVO MICHEL ROMERO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 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

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

**DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

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

**VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

TRIBUNAL:

.....
Ing. Jhonny Orgaz Fernández

.....
Ing. Ada Gladys López Rueda

.....
Ing. Mabel Zambrana Velasco

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIAS:

A DIOS: Porque me hizo realidad este sueño anhelado. Por haberme dado la vida, la inteligencia, la sabiduría y que con su infinito amor me ha guiado y fortalecido por el camino correcto durante todo el transcurso de mi carrera y en el desarrollo de éste proyecto de grado.

A mis almitas milagrosas; Jorge Fuentes Fuentes y Antonio Cornejo Chuquimia por haberme cumplido todo los milagros que les pedí con mucha fe.

A mis padres; José Michel e Irene Romero por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida.

A mis hermanos; Lilian (Q.E.P.D), Edwin, Arturo, Vaneza quienes me enseñan grandes valores, por su ejemplo y apoyo incondicional en todo momento.

A mis abuelos; Pablo Michel, Tomasa Rodríguez, Toribio Romero, Constantina Acebey quienes desde el cielo ahora estarán muy orgullosos por haber alcanzado esta meta en mi vida

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios, a la virgencita de Chaguaya, virgencita de la cuesta y almitas milagrosas por guiarme, cuidarme y protegerme siempre, por brindarme sabiduría y entendimiento para poder alcanzar este logro, a mis padres por su apoyo moral e incondicional, por la educación recibida desde mi infancia, a mis familiares y a las personas cercanas a mi que son una parte importante en mi vida, donde siempre me estuvieron apoyando en cada etapa que me tocó vivir, gracias por su ayuda.

Amigos y compañeros: Con los que formamos una valiosa amistad, por todas aquellas horas de trabajo que compartimos, por todas las alegrías y penas que tuvimos que aprender a vivir juntos.

PENSAMIENTO:

“Confía en el señor con todo tu corazón”

Proverbios 3:5

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Diseño teórico.....	2
1.3.1. Planteamiento del problema.....	2
1.3.2. Situación problemática.....	2
1.3.3. Problema	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. Objetivo general.....	3
1.4.2. Objetivos específicos.....	3
1.5. Hipótesis.....	3
1.6. Definición de variables independientes y dependientes.....	3
1.6.1. Variables independientes.....	3
1.6.2. Variables dependientes.....	4
1.7. Métodos, técnicas, medios y procedimientos.....	4
1.7.1 Métodos.....	4
1.7.1. Técnicas	4
1.7.2. Medios.....	5
1.8. Diseño metodológico.....	6
1.8.1. Unidades de estudio.....	7
1.8.1.2. Población.....	7
1.8.1.3. Muestra.....	7
1.8.1.4. Muestreo.....	7
1.9. Alcance de la investigación.....	8

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

	Pág.
2.1. Introducción.....	9
2.2. Pavimentos flexibles.....	10
2.2.1. Definición.....	10
2.3. Características de pavimentos flexibles.....	11
2.3.1. Resistencia estructural.....	11
2.3.2. Deformabilidad.....	12
2.3.3. Durabilidad.....	12
2.3.4. Costo.....	12
2.3.5. Requerimientos de conservación.....	12
2.3.6. Comodidad.....	12
2.4. Componentes de pavimentos flexibles.....	13
2.4.1. Carpeta asfáltica.....	13
2.5. Las características de los materiales petreos para construir carpetas asfálticas.....	14
2.5.1. Mezclas asfálticas en carpetas.....	15
2.5.2. Definición de mezclas asfálticas.....	15
2.5.3. Clasificación de mezcla asfáltica.....	16
2.5.4. Características de la mezcla (analizando el método Marshall).....	16
2.5.4.1. Densidad.....	16
2.5.4.2. Vacíos de aire.....	16
2.5.4.3. Vacíos en el agregado mineral (VMA).....	17
2.5.4.4. Vacíos llenos de asfalto (VFA).....	17
2.5.4.5. Estabilidad o resistencia a las deformaciones plásticas.....	18
2.6. Componentes de las mezclas asfálticas.....	19
2.6.1. Cementos asfálticos.....	19
2.7. Características y comportamiento de la mezcla.....	20
2.8. Propiedades consideradas en las mezclas asfálticas.....	21
2.9. Clasificación de las carpetas asfálticas.....	23

2.10. Componentes de las carpetas asfálticas.....	27
2.11. Análisis del Shakedown en la capa asfáltica.....	27
2.11.1. Definición del Shakedown	27

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA CAPA DE PAVIMENTO Y ANÁLISIS DEL SHAKEDOWN

	Pág.
3.1. Selección y ubicación del banco de materiales.....	30
3.2. Selección y ubicación del cemento asfáltico.....	31
3.3. Obtención y selección del material y cemento asfáltico.....	33
3.4. Ensayos de agregados y del cemento asfáltico	33
3.5. Caracterización de agregados.....	34
3.5.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27)(ASTM C-136).....	34
3.5.2. Ensayo de desgaste de la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96) (ASTM C-131).....	39
3.5.3. Ensayo de equivalente de arena (ASTM D-2419)(AASHTO T-176).....	44
3.5.4. Ensayo peso específico del agregado fino (ASTM E- 128)(AASHTO T 84).....	47
3.5.5. Ensayo peso específico del agregado grueso (ASTM E-127)(AASHTO T-85)...	50
3.5.6. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas (ASTM D-4791).....	55
3.5.7. Ensayo determinación de partículas fracturadas (ASTM D-5821).....	57
3.6. Caracterización del cemento asfáltico.....	58
3.6.1. Control de calidad realizados del cemento asfáltico.....	58
3.6.2. Ensayo de penetración (AASHTO T 49-97)(ASTM D-5).....	58
3.6.3. Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T 79-96)(ASTM D 1310-01).....	60
3.6.4. Ensayo de peso de especifico del asfalto (AASHTO T-229-97)(ASTM D-71) ...	61
3.6.5. Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53-96)(ASTM D-36).....	63
3.6.6. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113)(AASHTO T 51-00).....	64
3.7. Diseño de la mezcla asfáltica por el método de Marshall para obtener el contenido óptimo de C.A.....	67

3.7.1. Granulometría de la mezcla y dosificación para la mezcla asfáltica.....	68
3.7.2. Determinación del contenido de cemento asfáltico aproximada (tentativo).....	70
3.7.3. Desarrollo de las briquetas	72
3.7.4. Ensayo Marshall.....	75
3.7.5. Ensayos para determinar la densidad de la briqueta.....	76
3.7.6. Altura de las briquetas.....	77
3.7.7. Base de mezcla y agregado.....	77
3.7.8. Peso seco de la briqueta.....	78
3.7.9. Peso de briqueta en el aire saturado y superficialmente seco (s.s.s.).....	78
3.8. Peso de briqueta sumergida en agua.....	78
3.8.1. Volumen de la briqueta.....	79
3.8.2. Densidad de la briqueta.....	79
3.8.3. Porcentaje de vacíos.....	80
3.8.4. Estabilidad y fluencia.....	81
3.9. Briquetas con el cemento asfáltico óptimo y dosificación óptima para el análisis del Shakedown en los materiales granulares.....	88
3.9.1. Análisis del Shakedown en los materiales granulares de la capa asfáltica.....	89
3.9.2. Análisis promedio deformación generada por cargas cíclicas.....	94
3.9.3. Análisis después de 25-50-75 ciclos de cargas aplicadas.....	98
3.9.3.1. Comparación granulométrica después de 25 ciclos sobre la briqueta.....	103
3.9.3.2. Comparación granulométrica después de 50 ciclos sobre la briqueta.....	105
3.9.3.3. Comparación granulometría después de 75 ciclos sobre la briqueta.....	107

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
4.1. Conclusiones.....	109
4.2. Recomendaciones.....	110

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

- Anexo A-1. Planillas de caracterización de los agregados.
- Anexo A-2. Caracterización del cemento asfáltico 85-100.
- Anexo A-3. Planillas Marshall.
- Anexo A-4. Planillas de datos y resultados 25-50-75 ciclos
- Anexo A-5. Granulometrías después de 25-50-75 ciclos
- Anexo A-6. Imágenes de las prácticas

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2.1. Tipo de espesor de la carpeta asfáltica según el tránsito.....	15
Tabla 2.2. Graduación del material y su porcentaje en peso que pasa por las mallas.....	26
Tabla 3.1. Especificación técnica del cemento asfáltico convencional.....	33
Tabla 3.2. Resultados de granulometría del agregado grueso (3/4").....	36
Tabla 3.3. Resultados de granulometría del agregado intermedio (3/8").....	37
Tabla 3.4. Resultados de granulometría del agregado fino (arena).....	38
Tabla 3.5. Pesos del agregado grueso y N° de esferas para el desgaste de los Ángeles...40	40
Tabla 3.6. Datos de desgaste de los Ángeles (gravilla).....	42
Tabla 3.7. Datos de desgaste de los Ángeles (grava).....	43
Tabla 3.8. Resultados del desgaste de los Ángeles (grava)	43
Tabla 3.9. Resultados del desgaste de los Ángeles (gravilla).	44
Tabla 3.10. Datos y resultados de equivalente de arena	46
Tabla 3.11. Datos del ensayo peso específico del agregado fino (arena).....	49

Tabla 3.12. Resultados del peso específico del agregado fino (arena).....	49
Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico del agregado grueso (grava).....	53
Tabla 3.14. Datos del ensayo de peso específico del agregado intermedio (gravilla).....	53
Tabla 3.15. Resultados del ensayo de peso específico del agregado grueso (grava).....	54
Tabla 3.16. Resultados del ensayo de peso específico del agregado intermedio (gravilla).....	55
Tabla 3.17. Datos del ensayo partículas laminares.....	55
Tabla 3.18. Resultado del ensayo partículas laminares.....	56
Tabla 3.19. Datos del ensayo chatas alargadas.....	56
Tabla 3.20. Resultado del ensayo partículas laminares.....	57
Tabla 3.21. Datos de caras fracturadas.....	58
Tabla 3.22. Datos del ensayo de penetración del cemento asfáltico.....	59
Tabla 3.23. Datos del ensayo punto de inflamación del cemento asfáltico.....	61
Tabla 3.24. Datos del ensayo de peso específico del cemento asfáltico.....	62
Tabla 3.25. Datos del ensayo punto de ablandamiento.....	64
Tabla 3.26. Resultado del ensayo de ductilidad.....	67
Tabla 3.27. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico y comparación con la norma	67
Tabla 3.28. Dosificación para la mezcla asfáltica.....	68
Tabla 3.29. Granulometría formada y especificaciones.....	69
Tabla 3.30. Datos para realizar la dosificación con los diferentes porcentajes de cemento asfáltico.....	71
Tabla 3.31. Pesos de los agregados y cemento asfaltico para los diferentes porcentajes de cemento asfáltico	72

Tabla 3.32. Número de briquetas.....	77
Tabla 3.33. Altura media de cada briqueta.....	77
Tabla3.34. Peso seco de las briquetas.....	78
Tabla 3.35. Peso de briqueta superficialmente seca.....	78
Tabla 3.36. Peso de briqueta sumergida en agua.....	79
Tabla 3.37. Estabilidad y fluencia.....	81
Tabla 3.38. Estabilidad real.....	81
Tabla 3.39. Altura promedio y factor de corrección por altura.....	82
Tabla 3.40. Estabilidad corregida.....	82
Tabla 3.41. Fluencia en la prensa Marshall.....	82
Tabla 3.42. Resultados de la estabilidad y fluencia.....	83
Tabla 3.43. Resultados peso de la briqueta.....	83
Tabla 3.44. Resultados densidad de la briqueta y % de vacíos.....	84
Tabla 3.45. Resultados estabilidad Marshall y fluencia.....	84
Tabla 3.46. Resultado del diseño de la mezcla asfáltica.....	87
Tabla 3.47. Resultado del diseño óptimo de la mezcla asfáltica.....	88
Tabla 3.48. Resultados del peso óptimo del agregado.....	88
Tabla 3.49. Cantidad óptima agregado-cemento asfáltico.....	89
Tabla 3.50. Resultados deformacion acumulada y carga acumulada.....	97
Tabla 3.51. Resultado total granulométrica promedio – 25 ciclos.....	103
Tabla 3.52. Resultado total granulométrica promedio – 50 ciclos.....	105
Tabla 3.53. Resultado total granulométrica promedio – 75 ciclos.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Capa de un pavimento flexible.....	11
Figura 2.2. Deformacion en un pavimento flexible	28
Figura 3.1. Ubicación geográfica del banco de agregados de SEDECA.....	30
Figura 3.2. Ubicación geográfica del banco de agregados de SEDECA.....	31
Figura 3.3. Ubicación de la planta de asfaltos de SEDECA.....	32
Figura 3.4. Planta de asfaltos de SEDECA.....	32
Figura 3.5. Tamizado del agregado grueso.....	34
Figura 3.6. Juego de tamices para granulometría.....	35
Figura 3.7. Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles.....	40
Figura 3.8. Material ensayo de desgaste de la máquina de los Ángeles.....	41
Figura 3.9. Muestra sacada de la máquina de los Ángeles a 500 revoluciones.....	41
Figura 3.10. Muestra separada por el tamiz N°12 y lavada.....	42
Figura 3.11. Colocación de la muestra dentro de la probeta.....	45
Figura 3.12. Obtención de las lecturas h1 y h2 en la muestra después del ensayo.....	45
Figura 3.13. Verificación de la condición de la muestra saturada	47
Figura 3.14. Peso del agregado fino más el matraz y agua.....	48
Figura 3.15. Secado superficial del agregado pétreo saturado.....	51
Figura 3.16. Obtención del peso de las muestras saturadas superficialmente seca.....	51
Figura 3.17. Muestra sumergida.....	52
Figura 3.18. Muestras secas del horno después de 24 horas.....	52
Figura 3.19. Realizando el ensayo.....	57
Figura 3.20. Ensayo de penetración.....	59

Figura 3.21. Ensayo de punto de inflamación.....	60
Figura 3.22. Ensayo peso específico del cemento asfáltico.....	62
Figura 3.23. Ensayo de punto de ablandamiento.....	63
Figura 3.24. El cemento asfáltico a temperatura de fluidez.....	64
Figura 3.25. Preparación de los moldes para ductilidad.....	65
Figura 3.26. Controlando la ductilidad del cemento asfáltico.....	66
Figura 3.27. Muestras más los moldes a 25°C.....	66
Figura 3.28. Proceso de elaboración de briquetas.....	73
Figura 3.29. Agregado más cemento asfáltico para realizar la mezcla.....	73
Figura 3.30. Proceso de compactado de briquetas.....	74
Figura 3.31. Extractor hidráulico.....	74
Figura 3.32. Muestras acabadas.....	75
Figura 3.33. Muestra sometida a baño María.....	76
Figura 3.34. Ensayo Marshall, estabilidad y fluencia.....	76
Figura 3.35. Fabricación de los apoyos para simulación de cargas cíclicas.....	90
Figura 3.36. Apoyos para la briqueta.....	91
Figura 3.37. Prensa de CBR con los respectivos apoyos aplicando cargas cíclicas.....	91
Figura 3.38. Aplicación de carga a distintos ciclos.....	92
Figura 3.39. Briquetas a analizar a 25 ciclos.....	92
Figura 3.40. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 25 ciclos generados.....	93
Figura 3.41. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 50 ciclos generados.....	93
Figura 3.42. Comportamiento de la mezcla asfáltica después de 75 ciclos generados.....	94
Figura 3.43. Extractor centrifugo.....	99
Figura 3.44. Briqueta sacada del horno a 100 grados después de 3 horas.....	99

Figura 3.45. Descomponiendo la briqueta caliente.....	100
Figura 3.46. Ensayo de extractor centrifugo.....	101
Figura 3.47. Solvente (gasolina).....	101
Figura 3.48. Final del ensayo limpiando todo sin perder material.....	102
Figura 3.49. Ensayo de granulometría para cada briqueta desintegrada.....	102

INDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Gráfico 3.1. Curva granulométrica agregado grueso (3/4").....	36
Gráfico 3.2. Curva granulométrica agregado intermedio (3/8").....	37
Gráfico 3.3. Curva granulométrica agregado fino (arena).....	38
Gráfico 3.4. Granulometría formada.....	69
Gráfico 3.5. Densidad vs % de cemento asfáltico.....	85
Gráfico 3.6. % de vacíos de la mezcla vs % de cemento asfáltico.....	85
Gráfico 3.7. Vacíos de agregado mineral (V.A.M.) vs % de cemento asfáltico.....	86
Gráfico 3.8. % de vacíos llenos de asfalto (R.B.V.) vs % de cemento asfáltico.....	86
Gráfico 3.9. Estabilidad vs % de cemento asfáltico.....	87
Gráfico 3.10. Fluencia vs % de cemento asfáltico.....	87
Gráfico 3.11. Deformación acumulada vs Cargas acumuladas - promedio – 25 ciclos ...	95
Gráfico 3.12. Deformación acumulada vs Carga acumulada promedio – 50 ciclos	96
Gráfico 3.13. Deformacion acumulada promedio vs Carga acumulada promedio.....	96
Gráfico 3.14. Comparación de la variación de la deformación y carga a 25-50-75 ciclos.....	97
Gráfico 3.15. Granulometría formada de diseño vs Granulometría formada promedio – 25 ciclos.....	104
Gráfico 3.16. Comparación de porcentajes 25 ciclos	104
Gráfico 3.17. Granulometría formada de diseño vs Granulometría formada promedio - 50 ciclos.....	105

Gráfico 3.18. Comparación de porcentajes 50 ciclos.....106

Gráfico 3.19. Granulometría formada de diseño vs Granulometría formada
promedio - 75 ciclos.....107