

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN SU FORMA
GRANULAR POR EL MÉTODO MARSHALL”**

Por:

MARCO ANTONIO BRAVO BLAS

Proyecto de grado presentado a consideración de la **“UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar el
grado académico Licenciatura en Ingeniería civil

SEMESTRE I – 2024

TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAELSARACHO” FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CAUCHO RECICLADO EN LAS
PROPIEDADES DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN SU FORMA
GRANULAR POR EL MÉTODO MARSHALL”**

Por:

MARCO ANTONIO BRAVO BLAS

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV – 502 (M. VÍAS)

SEMESTRE I – 2024

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo con mucho cariño y gratitud a mis padres por ser los autores principales de mi vida por sus consejos, su amor, dedicación, cuyo esfuerzo dan resultado al alcázar mis objetivos: Bravo Torrez Justino y Blas Guerrero Elizabeth quienes supieron apoyarme y aconsejarme en los momentos que más necesitaba para mi formación profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CAPÍTULO I

DISEÑO TEÓRICO

	página
1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Justificación.....	3
1.2.1. Aporte académico.....	4
1.2.2. Aplicación técnica	4
1.2.3. Importancia social	5
1.3. Planteamiento del problema.....	5
1.3.1. Situación problemática.....	5
1.3.2. Delimitación del tiempo y espacio	5
1.3.3. Formulación del problema.....	6
1.4. Objetivos.	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Conceptualización de las variables.....	6
1.6.1. Variable independiente.....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.6.3. Operacionalización de las variables.	7
1.7. Alcance.....	7

CAPITULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. Marco conceptual.....	8
----------------------------	---

2.1.1. Pavimento.....	8
2.1.2. Funcionalidades de un pavimento.....	9
2.1.3. Estructuras de un pavimento flexible.....	9
2.1.4. Carpeta asfáltica	10
2.1.5. Tipos de mezclas asfálticas	10
2.1.5.1. Mezclas asfálticas en caliente.....	10
2.1.6. Cemento asfáltico. -.....	11
2.1.6.1. Composición del asfalto.....	12
2.1.6.2. Propiedades físicas:	13
2.1.6.3. Composición química:.....	13
2.1.6.4. Comportamiento físico-mecánico del asfalto	14
2.1.6.5. Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico	15
2.1.7. Agregados para uso en mezclas asfálticas.....	15
2.1.8. Tipos de Agregados utilizados en mezclas asfálticas.....	15
2.1.8.1. Agregado Grueso.....	15
2.1.8.2. Piedra triturada (Grava).....	15
2.1.8.3. Grava triturada (Gravilla).....	16
2.1.8.4. Agregado Fino (Arena)	16
2.1.8.5. Filler	17
2.1.9. Materiales Bituminosos	17
2.1.10. Caucho reciclado	18
2.1.10.1. Proceso paso a paso de reciclaje y producción de caucho.....	20
2.1.11. Diseño de Mezclas Asfálticas.....	25
2.1.12. Método Marshall	25
2.1.12.1. Prueba mediante el método de Marshall.....	26

2.1.12.2. Equipo necesario mínimo	27
2.1.12.3. Elaboración de los especímenes.....	27
2.1.12.4. Compactación de los especímenes.....	28
2.1.12.5. Prueba a compresión de los especímenes	29
2.2. Marco normativo.....	33
2.3. Marco referencial.	34
2.4. Análisis del aporte teórico.....	36

CAPÍTULO III

CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACION

3.1. Criterios del diseño metodológico.	37
3.1.1. Unidad de estudio.....	37
3.1.2. Población.....	37
3.1.3. Muestra.....	37
3.1.4. Tamaño de muestra.	37
3.2. Caracterización de materiales.	40
3.2.1. Introducción.	40
3.2.2. Selección de materiales	40
3.3. Ensayos de caracterización de agregados	42
3.3.1. Granulometría (AASHTOT-27)	42
3.3.2. Peso específico del agregado grueso (ASTM E 127, AASHTO T85-91)	46
3.3.3. Peso específico del agregado fino (ASTM E 128, AASHTO T84-00).....	47
3.3.4. Peso unitario agregado grueso (Grava, Gravilla) y agregado fino (Arena).....	50
3.3.5. Caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL 358).....	51
3.3.6. Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles(ASTME 131 AASHTO T96-99)	53
3.3.7. Equivalente de arena (AASHTOT-176).....	54

3.4.	Ensayo de caracterización del cemento asfáltico.	56
3.4.1.	Ensayo de viscosidad, método para determinar la viscosidad Saybolt furol(ASTM D 244).....	56
3.4.2.	Punto de inflamación (AASHTO T -48)	58
3.4.3.	Ensayo de penetración (AASHTO T -49)	60
3.4.4.	Ensayo para determinar la Ductilidad (AASHTO T -51).....	63
3.4.5.	Ensayo peso específico del asfalto (AASHTO T-43) (ASTM-709).....	64
3.4.6.	Ensayo punto de ablandamiento (AASHTO T-53) (ASTM-36).....	66
3.5.	Ensayo de Caracterización del Caucho Reciclado	67
3.5.1.	Granulometría (AASHTO T -27)	67
3.5.2.	Densidad del caucho reciclado.	69

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACION DE RESULTADOS

4.1.	Resultados para el inicio del tratamiento correspondiente	95
4.1.1.	Método Marshall con mezclas asfálticas convencionales	95
4.1.2.	Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 1%	96
4.1.3.	Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 2%	96
4.1.4.	Método Marshall con caucho reciclado en forma granular 3%	97
4.2.	Gráficos de comparación	97
4.2.1.	Estabilidad Marshall	97
4.2.2.	Densidad Marshall.....	98
4.2.3.	Fluencia Marshall.....	99
4.2.4.	Vacíos de la mezcla.....	100
4.2.5.	V.A.M. Vacío del Agregado Mineral.....	101
4.2.6.	R.B.V. Relación Betún Vacíos.....	102
4.3.	Análisis estadístico.....	102

4.3.1	Análisis estadístico Descriptivo	102
4.4.	Prueba de hipótesis	104
4.4.1.	Hipótesis de la investigación	104
4.4.5.	Análisis de % de vacíos de la mezcla.....	107
4.4.6.	Análisis de V.A.M. Vacío del Agregado Mineral	108
4.4.7.	R:B:V Relación Betún Vacíos.....	109
4.5.	Análisis técnico – económico.....	111
4.5.1.	Análisis económico carpeta asfáltica convencional	111
4.5.1.2.	Análisis económico carpeta asfáltica con adición del 1% de cauchoreciclado	112
4.5.2.	Análisis técnico.-	114

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones	116
5.2.	Recomendaciones.....	118

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Anexo 1. Caracterización de los agregados naturales.
- Anexo 2. Caracterización del cemento asfáltico.
- Anexo 3. Caracterización del caucho reciclado.
- Anexo 4. Diseño Marshall.
- Anexo 5. Estadística descriptiva
- Anexo 6. Análisis técnico económico
- Anexo 7. Respaldo fotográfico
- Anexo 8. Documentación de respaldo

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Operación de variables	7
Tabla 2. Composición química del asfalto	14
Tabla 3. Requisitos de graduación para el material de relleno (Filler)	17
Tabla 4. Temperaturas de aplicación material bituminoso	18
Tabla 5. Factores de corrección.....	31
Tabla 6. Determinación de la muestra.....	38
Tabla 7. Cantidad de ensayos de caracterización	39
Tabla 8. Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad de Marshall	39
Tabla 9. Coordenadas geograficas y UTM	41
Tabla 10. Granulometría agregado grueso- Grava	43
Tabla 11. Granulometría - Agregado grueso gravilla	44
Tabla 12. Granulometría - agregado fino arena	45
Tabla 13. Peso específico de la grava.	47
Tabla 14. Peso específico de la gravilla	47
Tabla 15. Peso específico	49
Tabla 16. Resultado del ensayo peso específico (Filler).....	49
Tabla 17. Peso unitario Suelto y compactado (Grava).....	51
Tabla 18. Peso unitario Suelto y compactado (Gravilla).	51
Tabla 19. Peso unitario Suelto y compactado (Arena).....	51
Tabla 20. Porcentaje de caras fracturadas (Gravas).	52
Tabla 21. Porcentaje de caras fracturadas (Gravillas).....	52
Tabla 22. Carga abrasiva.....	53
Tabla 23. % De desgaste Maquina de los ángeles (Grava y Gravilla).	54
Tabla 24. Equivalente de arena	56
Tabla 25. Viscosidad Saybolt.....	58
Tabla 26. Resultados del Punto de Inflación.....	60
Tabla 27. Resultados Ensayo de Penetración.....	62
Tabla 28. Resultado del ensayo de ductilidad	64
Tabla 29. Peso específico del cemento asfaltico	65

Tabla 30. Punto de ablandamiento	67
Tabla 31. Granulometría caucho reciclado	68
Tabla 32. Resultados de la densidad del caucho.	69
Tabla 33. Diseño granulométrico - Marshall (ASTMD 3515) estándar.	70
Tabla 34. Diseño granulométrico Marshall (ASTM D3515) con 1% de cauchoreciclado	72
Tabla 35. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 2% decaucho reciclado.....	74
Tabla 36. Diseño granulométrico método Marshall (ASTM D 3515) con 3 % decaucho reciclado.....	76
Tabla 37. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales estándar.....	78
Tabla 38. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 1% de caucho.....	79
Tabla 39. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 2% de caucho.....	79
Tabla 40. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales con 3% de caucho.....	80
Tabla 41. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfálticoconvencional	87
Tabla 42. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 1% de caucho reciclado.....	89
Tabla 43. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico con el 2% de caucho reciclado	91
Tabla 44. Planilla método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfálticocon el 3% de caucho reciclado	93
Tabla 45. Resultados briquetas con mezcla asfáltica convencional.....	95
Tabla 46. Resultados finales mezcla asfáltica convencional.....	95
Tabla 47. Resultados briquetas con 1% de caucho reciclado.....	96
Tabla 48. Resultados finales briquetas con 1% de caucho reciclado.....	96
Tabla 49. Resultados briquetas con 2% de caucho reciclado.....	96
Tabla 50. Resultados finales briquetas con 2% de caucho reciclado.....	96
Tabla 51. Resultados briquetas con 3% de caucho reciclado.....	97
Tabla 52. Resultados finales briquetas con 3 % de caucho reciclado.....	97
Tabla 53. Resumen de mezclas y % de adición (estabilidad).	98

Tabla 54. Resumen de mezclas y % de adición (densidad).	99
Tabla 55. Resumen de mezclas y % de adición (Fluencia).....	99
Tabla 56. Resumen de mezcla y porcentaje de adición.....	100
Tabla 57. Resumen de mezclas y % de adición (V.A.M.).	101
Tabla 58. Resumen de mezclas y % de adición (R.B.V.).	102
Tabla 59. Datos obtenidos para el análisis estadístico con el 1% de adición decaucho reciclado.....	103
Tabla 60. Resultados obtenidos del análisis estadístico.....	103
Tabla 61. Análisis de precios unitarios asfalto convencional	111
Tabla 62. Análisis de precio unitarios de asfalto modificado con 1% de grano de caucho reciclado.....	112
Tabla 63. Cálculo de valores carpeta asfáltica convencional.....	113
Tabla 64. Calculo de valores con la adición e 1% de caucho reciclado.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura de un pavimento asfalto flexible	9
Figura 2. Composición del asfalto	12
Figura 3. Composición del asfalto	13
Figura 4. Conducta visco-elástica	14
Figura 5. Vertedero de llantas en desuso	21
Figura 6. Removido de laterales de los neumáticos.....	22
Figura 7. Trituradora de neumáticos	22
Figura 8. Triturador Secundario.....	23
Figura 9. Proceso de granulación.....	23
Figura 10. Proceso de distribución.....	24
Figura 11. Ubicación banco de agregados la pintada.....	41
Figura 12. Banco de agregados la pintada	41
Figura 13. Material bituminoso.....	41
Figura 14. Granulometría de los agregados (Grava (3/4”), gravilla (3/8”) y arena).....	42
Figura 15. Peso sumergido más material.	46
Figura 16. Pesado de material.....	47
Figura 17. Calibracion de la balanza.....	47
Figura 18. Secado superficial.....	48
Figura 19. Molde compactado con pison.....	48
Figura 20. Peso de la arena humenda Optima, peo del matraz + agua.	49
Figura 21. Peso unitario Suelto.....	50
Figura 22. Peso unitario compactado.....	50
Figura 23. Peso del volumen del molde.....	50
Figura 24. % de caras facturadas (grava).....	52
Figura 25. % de caras facturadas (gravilla).....	52
Figura 26. Peso material (grava).....	53
Figura 27. Peso material (gravilla).....	54
Figura 28. Maquina de desgaste de los angeles.....	54
Figura 29. Enrazado fino hasta la línea de referencia	55

Figura 30. Llenado de agua destilada mas reactivo mezclado	55
Figura 31. Eliminación de aire de la probeta.	55
Figura 32. Enrasado de agua destilada hasta la línea de referencia	55
Figura 33. Viscosidad Saybolt.	57
Figura 34. Temperatura a 135°C para realizar el ensayo	57
Figura 35. Verificacion de temperatura	58
Figura 36. Cocinilla especial para calentar el C.A.....	59
Figura 37. Punto de inflamación y combustión.	60
Figura 38. 25°C cemento asfáltico sumergido.	61
Figura 39. Aparato para la medición punto de penetración.	62
Figura 40. Medicion punto de penetración.	62
Figura 41. Moldes para el ensayo de ductilidad.....	63
Figura 42. Llenado de moldes con cemento asfáltico	63
Figura 43. Medición de la ductilidad del cemento asfáltico	64
Figura 44. Peso del envase.	65
Figura 45. Envase con cemento asfáltico.....	65
Figura 46. Llenado de agua	65
Figura 47. Muestra a 25°C	65
Figura 48. Accesorios, anillo para el punto de ablandamiento	66
Figura 49. Llenado de los anillos con cemento asfáltico	66
Figura 50. Proceso de anfriado y calentado de agua.....	66
Figura 51. Pesado de los agregados (grava, gravilla, arena filler y caucho reciclado ...	81
Figura 52. Pesado del agregado mas caucho	81
Figura 53. Muestras preparadas y dosificadas	81
Figura 54. Pesado de cemento asfáltico	82
Figura 55. Calentamiento de la muestra.....	82
Figura 56. Mezclado y control de la temperatura de las muestra	83
Figura 57. Lubricado de los anillos con papel y aceite	83
Figura 58. Llenado de los anillos con la muestra.....	83
Figura 59. Introduccion de la muestra al martillo eléctrico	84
Figura 60. Control de los 75 golpes	84

Figura 61. Desmoldado de briquetas despues del reposo	84
Figura 62. Tomado de medidas de las briquetas	85
Figura 63. Pesado de briquetas	85
Figura 64. Sumergido de briquetas en agua de 25 °C.....	85
Figura 65. Colocado de briquetas a la mordaza Marshall.....	86
Figura 66. Lectura del dial de estabilidad (dentro del anillo Marshall) y del dial de deformacion para el flujo	86

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Estabilidad de método Marshall.....	31
Gráfico 2. Densidad de método Marshall.....	32
Gráfico 3. % de vacíos ocupados vs C.A. de método Marshall.	32
Gráfico 4. % de vacíos vs C.A. de método Marshall.	32
Gráfico 5. Fluencia Vs C.A. de método Marshall.....	33
Gráfico 6. Curva granulométrica promedio del Agregado Grueso- grava.....	43
Gráfico 7. Curva granulométrica promedio del Agregado Grueso- gravilla	44
Gráfico 8. Curva granulométrica promedio del Agregado Fino - Arena	45
Gráfico 9. Curva granulométrica caucho reciclado.....	68
Gráfico 10. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515)estándar.	71
Gráfico 11. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515)con 1 % de caucho reciclado.....	73
Gráfico 12. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515)con 2 % de caucho reciclado.....	75
Gráfico 13. Curva de diseño granulométrico método Marshall (ASTMD 3515) con 3 % de caucho reciclado.....	77
Gráfico 14. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfálticoconvencional	88
Gráfico 15. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfálticocon el 1 % de caucho reciclado	90
Gráfico 16. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico Con el 2 % de caucho reciclado	92
Gráfico 17. Curvas Método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfálticocon el 3 % de caucho reciclado	94
Gráfico 18. Estabilidad Marshall	97
Gráfico 19. Densidad Marshall	98
Gráfico 20. Fluencia Marshall.....	99
Gráfico 21. % de vacío vs cemento asfaltico	100

Gráfico 22. % V.A.M. versus porcentaje cemento asfáltico	101
Gráfico 23. R.B.V relación betún vacíos	102
Gráfico 24. Estabilidad Máxima	104
Gráfico 25. Densidad Máxima	105
Gráfico 26. Fluencia Máxima.....	106
Gráfico 27. Variación de % de vacíos de la mezcla.....	107
Gráfico 28. Variación del V.A.M.....	109
Gráfico 29. Variación de R.B.V	110