

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



**EVALUACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO
SUPERFICIAL DE BAJO TRÁFICO ADICIONANDO POLVO DE NEUMÁTICO**

Por:

CHAMBI PACO RUBEN NELSON

Proyecto presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA:

A Dios, por darme la fuerza y sabiduría, por sostenerme cuando lo necesité y por las bendiciones necesarias para cumplir cada etapa de este proyecto. A mis padres, porque sus palabras de aliento y sus sacrificios silenciosos han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante y me alentaron a no rendirme.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Situación problemática.....	2
1.2.2. Problema	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivo específicos.....	4
1.5. HIPÓTESIS	5
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDIPENDIENTES Y DEPENDIENTES	5
1.6.1. Variable independiente.....	5
1.6.2. Variable dependiente.....	5
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables.....	6
1.7. PROCESO DE APLICACIÓN	7
1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	8

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES	9
2.2. DEFINICIÓN DEL PAVIMENTO.....	9
2.3.1. Pavimentos flexibles	10
2.3.2. Pavimentos rígidos.....	10
2.4. CAUSAS DE DETERIORO DE PAVIMENTOS	11
2.5. CONSERVACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	12
2.6. DEFINICIÓN DE MEZCLAS SUPERFICIALES.....	13
2.7. GENERALIDADES SOBRE LOS TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	13

2.7.1. Definición de tratamiento superficial.....	13
2.8. TIPOS DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	14
2.8.1. Tratamiento superficial simple.....	14
2.8.2. Tratamiento superficial múltiple	15
2.9. TRÁFICO EN TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	16
2.10. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL	16
2.10.1 Propiedades de los agregados.....	16
2.10.1.1. Características físicas	17
2.10.1.2. Propiedades físico químicas.....	19
2.10.2. Propiedades de los ligantes	21
2.10.2.1. Factores que se consideran para la elección de los ligantes.....	21
2.10.2.2. Condiciones básicas que debe cumplir el ligante bituminoso.....	21
2.10.2.3. Tipos de ligante asfáltico	23
2.10.2.4. Generalidades sobre el polvo de neumático fuera de uso	26
2.10.3. Metodologías de dosificación de tratamientos superficiales.....	34
2.10.3.1. Determinación de la metodología a emplear.....	46
2.11. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL	47
2.12. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	49

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	52
3.2. UBICACIÓN DE LOS MATERIALES	53
3.2.1. Agregados pétreos.....	54
3.2.2. Asfalto convencional 85-100	55
3.2.3. Polvo de neumático reciclado de llantas	56
3.3. RELEVAMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	56
3.3.1. Agregados pétreos.....	56

3.3.2. Ligante asfáltico	57
3.3.3. Polvo de neumático reciclado de llantas	61
3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	61
3.4.1. Caracterización de los agregados pétreos	61
3.4.1.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27); (ASTM C-136)	62
3.4.1.2. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (AASHTO T-85); (ASTM C-127)	64
3.4.1.3. Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19); (ASTM C-29)	66
3.4.1.4. Ensayo de índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados (NTL354)	67
3.4.1.5. Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASHTO T-96); (ASTM C-131)	70
3.4.1.6. Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados (ASTM D-5821); (NTL-358)	72
3.4.1.7. Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASHTO T-104); (ASTM C-88)	73
3.4.1.8. Resumen de la caracterización de los agregados pétreos	75
3.4.2. Caracterización del asfalto convencional 85-100	77
3.4.2.1. Ensayo de penetración (AASHTO T49-97); (ASTM D-5)	77
3.4.2.2. Ensayo de punto de inflamación (AASHTO T79-96); (ASTM D1310-01)	78
3.4.2.3. Ensayo de punto de ablandamiento (AASHTO T53-96); (ASTM D-36)	79
3.4.2.4. Ensayo de ductilidad (AASHTO T51-00); (ASTM D-113)	80
3.4.2.5. Ensayo de peso específico (AASHTO T229-97); (ASTM D71-94)	81
3.4.2.6. Ensayo de viscosidad (AASHTO T201-01); (ASTM D-2170)	82
3.4.2.7. Resumen de la caracterización del asfalto convencional 85-100	83
3.4.3. Caracterización del polvo de neumático	85
3.4.3.1. Granulometría (AASHTO T-27); (ASTM C-136)	85
3.4.3.2. Peso unitario (AASHTO T-19); (ASTM C-29)	86
3.4.3.3. Resumen de la caracterización del polvo de neumático	87
3.4.4. Caracterización del asfalto modificado con polvo de neumático	87
3.4.4.1. Ensayo de recuperación elástica (AASHTO T301-99); (ASTM D 6084-06)	87
3.4.4.2. Índice de penetración (UNE 104-281)	88

3.4.4.3. Resumen de la caracterización del asfalto modificado con polvo de neumático.....	89
3.5. DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL	90
3.6. RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PARA UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL	95
3.7. ENSAYO PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE	100
3.7.1. Ensayo de Vialit.....	100
3.8. RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	103
3.8.1. Evaluación del comportamiento de las propiedades de estabilidad y fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial y del desempeño mediante el ensayo de Vialit	104
3.9. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	104
3.9.1. Evaluación del comportamiento de la estabilidad y fluencia.....	105
3.9.2. Evaluación del desempeño mediante el ensayo de Vialit	110
3.10. COSTO DE APLICACIÓN DE UN TRATAMIENTO SUPERFICIAL DOBLE.....	112

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES	117
4.2. RECOMENDACIONES.....	118
Bibliografía	120

ANEXOS

ANEXO I CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

ANEXO II CARACTERIZACIÓN DE LOS LIGANTES ASFÁLTICOS

ANEXO III ELABORACIÓN DE LAS BRIQUETAS DE TRATAMIENTO DOBLE Y DEL ENSAYO DE VIALIT

ANEXO IV ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO V CARTAS DE SOLICITUD

ANEXO VI FICHA TÉCNICA DEL ASFALTO 85-100 Y POLVO DE NEUMÁTICO

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	6
Tabla 2.1. Clasificación del tráfico	16
Tabla 2.2. Requisitos de gradación de agregados para tratamientos superficiales bituminosos	18
Tabla 2.3. Ensayos de laboratorio normalizados para agregados.....	20
Tabla 2.4. Ensayos de laboratorio normalizados para el asfalto 85-100.....	22
Tabla 2.5. Especificaciones del asfalto convencional 85-100.....	23
Tabla 2.6. Composición ponderal de los neumáticos	27
Tabla 2.7. Costo de procesamiento del polvo de neumático	30
Tabla 2.8. Terminología asociada al uso del polvo de neumático	31
Tabla 2.9. Bandas granulométricas especificadas para el polvo de neumático.....	33
Tabla 2.10. Especificaciones de asfaltos mejorados con polvo de neumático (BM)	34
Tabla 2.11. Factor de desperdicio “E”	39
Tabla 2.12. Factor de tránsito “T”	41
Tabla 2.13. Factor de corrección por textura superficial “S”	41
Tabla 2.14. Distribución de la dosis total de ligante para un TSD.....	42
Tabla 2.15. Distribución de la dosis total de ligante para un TST	42
Tabla 2.16. Parámetros de diseño aplicadas en metodologías de diseño de TSB	47
Tabla 2.17. Cantidad de ligante (kg/m ²).....	50
Tabla 3.1. Requisitos de gradación de agregados para tratamientos superficiales bituminosos	55
Tabla 3.2. Ensayos de caracterización de los agregados pétreos	57
Tabla 3.3. Ensayos de caracterización del asfalto convencional 85-100	58
Tabla 3.4. Ensayos de caracterización del asfalto convencional modificado	58
Tabla 3.5. Ensayos de caracterización del polvo de neumático reciclado de llantas	61
Tabla 3.6. Resultados de la granulometría de la grava - gradación "B"	63
Tabla 3.7. Resultados de la granulometría de la gravilla - gradación "D"	64
Tabla 3.8. Resultados del ensayo de peso específico de la grava	65

Tabla 3.9. Resultados del ensayo de peso específico de la gravilla	66
Tabla 3.10. Resultados del ensayo de peso unitario de los agregados	67
Tabla 3.11. Resultados del ensayo de índice de aplanamiento de la grava	68
Tabla 3.12. Resultados del ensayo de índice de aplanamiento de la gravilla.....	69
Tabla 3.13. Resultados del ensayo de índice de alargamiento de la grava.....	69
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de índice de alargamiento de la gravilla	70
Tabla 3.15. Resultados del desgaste por medio de la máquina de los ángeles.....	72
Tabla 3.16. Resultados del ensayo de porcentaje de caras fracturadas de la grava.....	73
Tabla 3.17. Resultados del ensayo de durabilidad por el método de sulfatos para determinar la desintegración de la grava.....	74
Tabla 3.18. Resultados del ensayo de durabilidad por el método de sulfatos para determinar la desintegración de la gravilla	75
Tabla 3.19. Resumen de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos.....	76
Tabla 3.20. Características del asfalto convencional 85-100	77
Tabla 3.21. Datos y resultados del ensayo de penetración.....	78
Tabla 3.22. Datos y resultado del ensayo de punto de inflamación	79
Tabla 3.23. Datos y resultado del ensayo de punto de ablandamiento.....	80
Tabla 3.24. Datos y resultado del ensayo de ductilidad	81
Tabla 3.25. Datos y resultados del ensayo de peso específico	82
Tabla 3.26. Datos y resultado del ensayo de peso específico	83
Tabla 3.27. Resumen de los ensayos de caracterización del asfalto convencional 85-1084	
Tabla 3.28. Resultados de la granulometría - promedio	85
Tabla 3.29. Resultados del ensayo de peso unitario del polvo de neumático	87
Tabla 3.30. Resumen de los ensayos de caracterización del polvo de neumático	87
Tabla 3.31. Datos y resultado del ensayo de recuperación elástica	88
Tabla 3.32. Resultado del ensayo del índice de penetración.....	89
Tabla 3.33. Resumen de los ensayos de caracterización del asfalto modificado con polvo de neumático	89
Tabla 3.34. Gradación de los agregados utilizados en la dosificación del tratamiento superficial doble	91
Tabla 3.35. Distribución de dosis total del ligante, en capas individuales.....	91

Tabla 3.36. Dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional	92
Tabla 3.37. Dosificación de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado	93
Tabla 3.38. Resultados de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional	96
Tabla 3.39. Resultados de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático	98
Tabla 3.40. Dosificación para el ensayo de vialit con asfalto convencional.....	101
Tabla 3.41. Dosificación para ensayo de vialit con asfalto modificado con polvo de neumático	101
Tabla 3.42. Resultados del ensayo de vialit con asfalto convencional 85-100	102
Tabla 3.43. Resultados del ensayo de vialit con asfalto modificado con polvo de neumático	102
Tabla 3.44. Caracterización de los agregados pétreos	103
Tabla 3.45. Caracterización del asfalto convencional 85-100.....	103
Tabla 3.46. Caracterización del asfalto modificado con polvo de neumático.....	104
Tabla 3.47. Resultados promediados de la evaluación.....	104
Tabla 3.48. Resultados de la evaluación de las estabilidades	105
Tabla 3.49. Resultados de la evaluación de la fluencia.....	107
Tabla 3.50. Resultados de la evaluación de la densidad	109
Tabla 3.51. Resultados del ensayo de vialit	110
Tabla 3.52. Costo del tratamiento superficial doble con asfalto convencional.....	115
Tabla 3.53. Costo del tratamiento superficial doble con asfalto modificado	116

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1. Esquema de la investigación.....	7
---	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sección transversal de un pavimento flexible.....	10
---	----

Figura 2.2. Estructura típica de un pavimento rígido	11
Figura 2.3. Carretera antes y después de un tratamiento superficial	12
Figura 2.4. Tratamiento superficial simple	15
Figura 2.5. Tratamiento superficial doble	15
Figura 2.6. Proceso de molienda criogénica	29
Figura 2.7. Proceso por vía húmeda.....	31
Figura 2.8. Distribución de los vacíos en la capa de tratamiento superficial según Hanson	36
Figura 2.9. Dimensión mínima promedio del agregado.....	37
Figura 2.10. Relación entre porcentaje de recubrimiento y el espesor promedio de capa	46
Figura 2.11. Aparato de Marshall para determinar la estabilidad y fluencia	49
Figura 2.12. Ensayo del Vialit.....	51
Figura 3.1. Ubicación del área de proyecto “Tarija”	52
Figura 3.2. Acopio de agregados en la alcaldía de Tarija	54
Figura 3.3. Ubicación de la planta de asfalto de la alcaldía de Tarija.....	55
Figura 3.4. Polvo de neumático producido por Ingoqui.....	56
Figura 3.5. Asfalto convencional 85-100.....	58
Figura 3.6. Asfalto modificado con polvo de neumático	59
Figura 3.7. Diagrama comparativo de la estabilidad promedio a diferentes porcentajes de polvo de neumático	59
Figura 3.8. Diagrama comparativo de la fluencia promedio a diferentes porcentajes de polvo de neumático	60
Figura 3.9. Proceso de tamizado de los agregados pétreos	62
Figura 3.10. Curva granulométrica de la grava de gradación "B"	63
Figura 3.11. Curva granulométrica de la gravilla de gradación "D"	64
Figura 3.12. Determinación de la masa superficialmente seca y sumergida.....	65
Figura 3.13. Ensayo del peso unitario del agregado	67
Figura 3.14. Determinación de las partículas planas de los agregados	68
Figura 3.15. Determinación de las partículas alargadas de los agregados	69
Figura 3.16. Degradación del agregado durante el ensayo	71

Figura 3.17. Proceso por desgaste por medio de la máquina de los ángeles.....	71
Figura 3.18. Determinación de las partículas que presentan caras fracturadas.....	72
Figura 3.19. Proceso de saturación de los agregados.....	74
Figura 3.20. Proceso para la determinación de la penetración.....	77
Figura 3.21. Determinación de la temperatura de punto de inflamación	79
Figura 3.22. Proceso para la determinación del punto de ablandamiento.....	80
Figura 3.23. Determinación de la longitud máxima.....	81
Figura 3.24. Proceso para el pesaje del picnómetro más el asfalto.....	82
Figura 3.25. Determinación del tiempo de flujo	83
Figura 3.26. Granulometría del polvo de neumático.....	85
Figura 3.27. Curva granulométrica promedio del polvo de neumático.....	86
Figura 3.28. Peso unitario del polvo de neumático	86
Figura 3.29. Proceso de elongación del asfalto modificado.....	88
Figura 3.30. Determinación de la penetración del asfalto modificado.....	893.5.
Figura 3.31. Proceso de compactación de las briquetas.....	94
Figura 3.32. Desmoldado de las briquetas	94
Figura 3.33. Briquetas de tratamiento doble convencional	94
Figura 3.34. Briquetas de tratamiento doble modificado	95
Figura 3.35. Determinación de la estabilidad y fluencia.....	95
Figura 3.36. Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional	96
Figura 3.37. Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional	97
Figura 3.38. Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial convencional	97
Figura 3.39. Densidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático	98
Figura 3.40. Estabilidad de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático	99
Figura 3.41. Fluencia de la mezcla asfáltica para un tratamiento superficial modificado con polvo de neumático	99

Figura 3.42. Dispositivo del ensayo de Vialit	100
Figura 3.43. Distribución del agregado en el ensayo de Vialit	102
Figura 3.44. Diagrama comparativo de la estabilidad.....	106
Figura 3.45. Diagrama comparativo de las estabilidades promediadas	106
Figura 3.46. Diagrama comparativo de la fluencia	107
Figura 3.47. Diagrama comparativo de las fluencias promediadas.....	108
Figura 3.48. Diagrama comparativo de la densidad.....	109
Figura 3.49. Diagrama comparativo de las densidades promediadas	110
Figura 3.50. Diagrama comparativo del ensayo de Vialit	111