

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



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
MODIFICADA CON POLÍMERO ETILENO VINIL ACETATO”**

Por:

HILARION CANO ROMERO

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 – 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres y a mis hermanos, quienes me brindaron su apoyo incondicional durante este camino, a mis sobrina y ahijado que son el motor para poder seguir adelante, a mi abuelita Peta que desde el cielo me cuida y a toda mi familia que es lo mejor y más valioso que Dios me ha dado.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Antecedentes	1
1.2 Situación problemática.....	3
1.2.1 Problema.....	4
1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema.....	4
1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.3.1 Académica.....	5
1.3.2 Técnica – práctica.....	5
1.3.3 Social.....	5
1.4 Objetivos de la investigación	6
1.4.1 Objetivo general	6
1.4.2 Objetivos específicos.....	6
1.5 Hipótesis.....	6
1.6 Operacionalización de las variables	7
1.6.1 Variable independiente.....	7
1.6.2 Variable dependiente.....	7
1.6.3 Conceptualización y operacionalización de las variables	7
1.7 Identificación del tipo de investigación	8
1.8 Unidades de estudio y decisión muestral	8
1.8.1 Unidad de estudio.....	8
1.8.2 Población.....	8
1.8.3 Muestra.....	8
1.8.4 Selección de las técnicas de muestreo.....	9
1.9 Métodos y técnicas empleadas	9
1.9.1 Métodos.....	9
1.9.2 Técnicas.....	10
1.10 Procesamiento de la información	11

1.11 Alcance de la investigación.....	13
---------------------------------------	----

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

	Página
2.1 Asfalto	14
2.2 Caracterización de los materiales asfálticos.....	14
2.3 Reología del asfalto	15
2.3.1 Características reológicas del asfalto	16
2.3.2 Ensayos empíricos de consistencia	17
2.4 Agregados pétreos	22
2.4.1 Caracterización de los materiales granulares - agregado grueso.....	24
2.5 Asfaltos modificados con polímeros	29
2.5.1 El polímero	30
2.5.2 Asfalto modificado.....	32
2.6 Ventajas y desventajas del uso de polímero en el asfalto	37
2.6.1 Ventajas del uso de polímeros en el asfalto	37
2.6.2 Desventajas del uso de polímeros en el asfalto	39
2.7 Diferencias entre el asfalto modificado y el asfalto convencional.....	39
2.8 Diseño de mezclas asfálticas	40
2.8.1 Método de diseño Marshall	42
2.8.2 Determinaciones previas	43
2.8.3 Comportamiento de las mezclas asfálticas.....	43
2.8.3.1 Densidad.....	44
2.8.3.2 Vacíos de aire	44
2.8.3.3 Vacíos en el agregado mineral	45
2.8.3.4 Estabilidad	46
2.8.3.5 Contenido de asfalto.....	47
2.9 Marco conceptual	48
2.9.1 Cemento asfáltico	48

2.9.2 Mezcla asfáltica.....	49
2.9.3 Agregado fino.....	49
2.9.4 Agregado grueso	49
2.9.5 Los polímeros.....	49
2.9.6 Polímeros termoplásticos	49
2.9.7 E.V.A. (Etileno-Acetato de Vinilo).....	49
2.9.8 Propiedades de la mezcla asfáltica Marshall.....	50
2.9.8.1 Densidad.....	50
2.9.8.2 Estabilidad.....	50
2.9.8.3 Fluencia.....	50
2.9.8.4 Vacíos de la mezcla.....	50
2.9.8.5 Vacíos del agregado mineral (V.A.M.).....	50
2.9.8.6 Relación betún – vacíos (R.B.V.).....	50
2.10 Marco normativo	51
2.11 Punto de vista del investigador.....	53

CAPÍTULO III

DETERMINACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLÍMERO E.V.A.

	Página
3.1 Criterios del diseño metodológico.....	54
3.2 Selección de los materiales	54
3.2.1 Criterios de selección del cemento asfáltico	54
3.2.2 Criterios de selección de banco de materiales (agregados pétreos)	55
3.3 Caracterización de los materiales	55
3.3.1 Caracterización de los agregados pétreos.....	55
3.3.1.1 Análisis granulométrico (AASHTO T27 - 11).....	56
3.3.1.2 Peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C-127)	60
3.3.1.3 Peso específico y absorción de agua en agregados finos (ASTM C-128).....	64
3.3.1.4 Equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176).....	70

3.3.1.5 Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles.....	72
3.3.2 Caracterización del cemento asfáltico.....	76
3.3.2.1 Ensayo de penetración (ASTM D5; AASHTO T49)	76
3.3.2.2 Ensayo de ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51).....	77
3.3.2.3 Punto de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland	80
3.3.2.4 Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36)	81
3.3.2.5 Método para determinar la densidad (ASTM D71-94; AASHTO T229-97)	83
3.3.2.6 Ensayo de viscosidad Saybolt – furol (ASTM D 88 – AASHTO T72)	85
3.4 Diseño granulométrico del material pétreo en la mezcla	87
3.5 Dosificación de mezclas asfálticas.....	88
3.5.1 Contenido mínimo de cemento asfáltico.....	88
3.5.2 Dosificación de la mezcla asfáltica convencional.....	89
3.5.3 Cantidad de briquetas por dosificación	89
3.6 Metodología de elaboración de mezclas asfálticas	89
3.7 Cálculo de las propiedades de las mezclas asfálticas.....	93
3.8 Resultados de las propiedades de mezcla asfáltica convencional	99
3.9 Contenido óptimo de cemento asfáltico convencional.....	102
3.10 Mezcla asfáltica modificada con polímero E.V.A.	103
3.10.1 Presentación de las partículas del polímero E.V.A.	103
3.10.2 Modificación del cemento asfáltico convencional con polímero E.V.A.....	103
3.10.3 Elaboración de briquetas con asfalto modificado con polímero E.V.A	107
3.10.4 Datos y resultados de las propiedades de las mezclas asfálticas con polímero..._	109
3.10.5 Resultados finales de las propiedades de las mezclas asfálticas con polímero..._	111
3.11 Análisis de resultados de las mezclas modificadas con el polímero E.V.A.....	111
3.12 Determinación del contenido óptimo del polímero E.V.A.....	115
3.13 Caracterización del asfalto modificado con el % óptimo del polímero E.V.A.	115

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1 Resultados de la caracterización de los componentes de la mezcla asfáltica.....	118
4.1.1 Agregados pétreos	118
4.1.2 Cemento asfáltico	119
4.2 Análisis comparativo de las mezclas asfálticas convencional y modificada	119
4.2.1 Análisis comparativo de densidad.....	119
4.2.2 Análisis comparativo de estabilidad.....	120
4.2.3 Análisis comparativo de fluencia	121
4.3 Estadística descriptiva e inferencial	121
4.4 Análisis de precios unitarios de mezcla convencional y modificada	127

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	131
5.2 Recomendaciones.....	133

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO I	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO
ANEXO II	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS
ANEXO III	DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de variables	7
Tabla 2.1. Especificaciones del Cemento Asfáltico Convencional.	22
Tabla 2.2. Grados de ensaye (definidos por sus rangos de tamaño, en mm	25
Tabla 2.3. Cantidades mínimas para ensayos según el tamaño nominal	26
Tabla 2.4. Requisitos Granulométricos para mezclas asfálticas	28
Tabla 2.5. Especificaciones del Cemento Asfáltico Modificado con Polímeros.	40
Tabla 2.6. Ensayos de laboratorio para asfaltos.....	51
Tabla 2.7. Ensayos de laboratorio para agregados grueso y fino.....	52
Tabla 3.1. Granulometría del agregado grueso (grava).....	57
Tabla 3.2. Granulometría del agregado medio (gravilla).....	58
Tabla 3.3. Granulometría del agregado fino (arena).....	59
Tabla 3.4. Resultados del peso específico (grava)	64
Tabla 3.5. Resultados del peso específico (gravilla).....	64
Tabla 3.6. Resultados del peso específico (arena)	70
Tabla 3.7. Resultados del equivalente de arena	72
Tabla 3.8. Requisitos para el desgaste por la máquina de Los Ángeles.	73
Tabla 3.9. Resultados Desgaste de los Ángeles (Grava).....	75
Tabla 3.10. Resultados Desgaste de los Ángeles (Gravilla)	75
Tabla 3.11. Resultados del ensayo de penetración del cemento asfáltico.....	77
Tabla 3.12. Datos y resultados del ensayo de ductilidad.	79
Tabla 3.13. Datos y resultados del ensayo de Punto de Inflamación.....	81
Tabla 3.14. Datos y resultados del ensayo de Punto de ablandamiento.....	83
Tabla 3.15. Datos y resultados de la densidad.	84
Tabla 3.16. Datos para determinar la viscosidad	86
Tabla 3.17. Dosificación de materiales pétreos	87
Tabla 3.18. Dosificación de mezclas asfálticas convencionales	89
Tabla 3.19. Número de briquetas por dosificación	89
Tabla 3.20. Altura media de cada briqueta para 3,93%	94
Tabla 3.21. Peso seco al aire de las briquetas	94

Tabla 3.22. Peso briqueta saturado con superficie seca.....	95
Tabla 3.23. Peso briqueta sumergida en agua.....	95
Tabla 3.24. Estabilidad y fluencia.....	97
Tabla 3.25. Estabilidad real.....	97
Tabla 3.26. Altura promedio y factor de corrección por altura.....	98
Tabla 3.27. Estabilidad corregida	98
Tabla 3.28. Promedio de fluencia	98
Tabla 3.29. Resultado de la estabilidad y fluencia para un 3,93% de C.A	98
Tabla 3.30. Resultado del diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	99
Tabla 3.31. Resultado del diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	102
Tabla 3.32. Resultados de las propiedades con el contenido óptimo de 5,56%.....	102
Tabla 3.33. Polímeros típicos utilizados para modificar asfaltos	103
Tabla 3.34. Dosificación de mezclas asfálticas modificadas	108
Tabla 3.35. Resultados de densidades de las mezclas modificadas con E.V.A	109
Tabla 3.36. Resultados de vacíos de las mezclas modificadas con E.V.A.	110
Tabla 3.37. Resultados de estabilidad y fluencia de las mezclas modificadas	110
Tabla 3.38. Resumen de resultados de las propiedades de las mezclas modificadas	111
Tabla 3.39. Contenido óptimo de polímero E.V.A. en la mezcla modificada	115
Tabla 3.40. Penetración del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.....	116
Tabla 3.41. Ductilidad del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.....	116
Tabla 3.42. Punto de inflamación del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.	116
Tabla 3.43. Punto de ablandamiento del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.	116
Tabla 3.44. Viscosidad Saybolt del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.....	116
Tabla 3.45. Densidad del asfalto modificado con 2,50% de E.V.A.....	117
Tabla 4.1 Resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos.....	118
Tabla 4.2. Resumen de la granulometría de agregados.....	118
Tabla 4.3. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A. convencional	119
Tabla 4.4. Resultados de los ensayos de caracterización del C.A. modificado	119
Tabla 4.5. Datos del ensayo de estabilidad de menor a mayor	122
Tabla 4.6. Cálculo de frecuencia absoluta y relativa	123
Tabla 4.7. Resultados de medidas de tendencia central de los ensayos de estabilidad..	124

Tabla 4.8. Cálculo de error medido de la media	125
Tabla 4.9. Cálculo del rango de confianza.....	125
Tabla 4.10. Prueba de hipótesis por el método T de Student.....	126

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Ilustración de la población y muestra	9
Figura 2.1. Determinación de la viscosidad Saybolt-Furol.....	18
Figura 2.2. Ensayo normal de penetración.....	19
Figura 2.3. Determinación del punto de inflamación en vaso abierto Cleveland	19
Figura 2.4. Determinación del punto de ablandamiento	20
Figura 2.5. Ensayo de ductilidad	21
Figura 2.6. Ensayo desgaste de Los Ángeles	26
Figura 2.7. Representación de volumen en una briqueta de mezcla asfáltica.....	45
Figura 3.1. Ubicación Planta de la Alcaldía (Posta Municipal Av. Guadalquivir).....	54
Figura 3.2. Ubicación de chancadora Garzón (comunidad San Mateo).	55
Figura 3.3. Preparación de tamices	56
Figura 3.4. Tamizado	56
Figura 3.5. Determinación de la masa.....	57
Figura 3.6. Muestra sumergida en agua	61
Figura 3.7. Material pesado al aire saturado superficialmente seco	61
Figura 3.8. Peso del material pétreo sumergido.....	61
Figura 3.9. Lectura del peso sumergido en agua.....	62
Figura 3.10. Muestra pesada luego de secado en horno.....	62
Figura 3.11. Eliminación del exceso de agua en la muestra	65
Figura 3.12. Muestra colocada en molde cónico	65
Figura 3.13. Muestra compactada con 25 golpes de pisón sobre la superficie	66
Figura 3.14. Muestra con exceso de humedad	66
Figura 3.15. Árido alcanzando la condición saturada superficialmente seca	67
Figura 3.16. Muestra colocada en el matraz con agua a 20 °C	67
Figura 3.17. Muestra de ensayo reposando durante 1 hora.....	68
Figura 3.18. Medición de la masa total del matraz con la muestra y agua.	68
Figura 3.19. Probeta en reposo por un periodo de 10 minutos	71
Figura 3.20. Lectura y registro de datos.....	71
Figura 3.21. Material colocado en la máquina de Los Ángeles.....	73

Figura 3.22. Material sacado de la máquina evitando pérdidas y contaminaciones.	74
Figura 3.23. Muestras de ensayo antes de ser colocadas al penetrómetro	76
Figura 3.24. Colocado del cemento asfáltico dentro del molde.....	78
Figura 3.25. Material enfriando a temperatura ambiente.....	78
Figura 3.26. Momento del ensayo.....	79
Figura 3.27. Durante el ensayo de punto de inflamación.....	81
Figura 3.28. Vertido de la muestra caliente dentro de los dos anillos.	82
Figura 3.29. Muestra después del ensayo	83
Figura 3.30. Agregados preparados para la mezcla	90
Figura 3.31. Cemento asfáltico listo para agregar a la mezcla.	91
Figura 3.32. Primeras 18 briquetas con su respectiva identificación.....	91
Figura 3.33. Briqueta preparada para la rotura	92
Figura 3.34. Momento de la rotura de la briqueta.....	93
Figura 3.35. Goma E.V.A (Etileno Vinil Acetato) polímero a utilizar.....	103
Figura 3.36. Corte de E.V.A. en pequeñas fracciones.	104
Figura 3.37. Perforadora utilizada para cortar el polímero.	104
Figura 3.38. Cemento asfáltico mezclado con E.V.A. en el horno a 125 °C	105
Figura 3.39. Cemento asfáltico mezclado con E.V.A.	105
Figura 3.40. Partículas de E.V.A. cortadas en fracciones más pequeñas.....	106
Figura 3.41. Partículas de polímero E.V.A. agregadas al cemento asfáltico caliente....	106
Figura 3.42. Cemento asfáltico modificado con polímero E.V.A.....	107
Figura 3.43. Briquetas con C.A. con diferentes porcentajes de polímero.....	109
Figura 4.1. Área de rechazo de la hipótesis	126

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1.1. Tipo de investigación.....	8
Gráfico 3.1. Curva granulométrica del agregado grueso	58
Gráfico 3.2. Curva granulométrica del agregado medio (gravilla)	59
Gráfico 3.3. Curva granulométrica del agregado fino (arena)	60
Gráfica 3.4. Curva granulométrica.....	88
Gráfica 3.5. Porcentaje de asfalto vs densidad.....	100
Gráfica 3.6. Porcentaje de asfalto vs Vacíos de la mezcla total.....	100
Gráfica 3.7. Porcentaje de asfalto vs Vacíos de agregado mineral	100
Gráfica 3.8. Porcentaje de asfalto vs Porcentaje de vacíos llenos de asfalto	101
Gráfica 3.9. Porcentaje de asfalto vs Estabilidad.....	101
Gráfica 3.10. Porcentaje de asfalto vs Fluencia	101
Gráfica 3.11. Comportamiento de la densidad vs. el porcentaje de E.V.A.....	111
Gráfica 3.12. Comportamiento de los vacíos de la mezcla vs. el porcentaje de E.V.A.	112
Gráfica 3.13. Comportamiento del R.B.V. de la mezcla vs. el porcentaje de E.V.A. ...	112
Gráfica 3.14. Comportamiento del V.A.M. de la mezcla vs. el porcentaje de E.V.A. ..	113
Gráfica 3.15. Comportamiento de la estabilidad. de la mezcla vs. el % de E.V.A.....	114
Gráfica 3.16. Comportamiento de la fluencia de la mezcla vs. el % de E.V.A.	114
Gráfico 4.1. Comparación de densidad.....	120
Gráfico 4.2. Comparación de estabilidad.....	120
Gráfico 4.3. Comparación de fluencia	121
Gráfico 4.4. Determinación del histograma y polígono de frecuencias.....	123
Gráfico 4.5. Determinación de la curva de frecuencia acumulada	124