

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS SEMIABIERTAS POR EFECTO DE LA HUMEDAD
APLICADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

Por:

JORGE LUIS CHOCALA ALARCON

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**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LOS DETERIOROS DE LAS MEZCLAS
ASFÁLTICAS SEMIABIERTAS POR EFECTO DE LA HUMEDAD
APLICADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA”**

por:

JORGE LUIS CHOCALA ALARCON

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 mis padres que quienes contribuyeron con esta etapa de mi vida con su apoyo y motivación para que esta tarea sea posible un duro recorrido, pero con su amor incondicional todo es posible.

A mis amigos y compañeros que acompañaron en esos días de estudio amanecidas unos ya salieron otros aun siguen, pero por el mismo objetivo de ser un buen profesional.

A mis docentes que me enseñaron durante toda esta etapa con ética y valor y perseverancia.

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
CAPÍTULO I.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Antecedentes.	2
1. 3. Justificación.....	3
1.4. Planteamiento del problema	4
1.4.1. Situación problemática.....	4
1.4.2. Problema.	4
1.5. Objetivos.	4
1.5.1. Objetivo general.	5
1.5.2. Objetivos específicos.	5
1.6. Hipótesis.....	5
1.7. Variables.	5
1.7.1. Variables independientes.	5
1.7.2. Variables dependientes.....	6
1.7.3. Operacionalización de variables.	6
1.8. Diseño metodológico.	6
1.8.1. Componentes.....	6
1.8.2. Unidades de estudio y decisión muestral.	6
1.8.2.1. Unidad de estudio.....	7
1.8.3. Población.....	7
1.8.4. Muestra.....	7
1.8.5. Muestreo.....	7
1.9. Métodos y técnicas empleadas.	7
1.9.1. Selección de métodos y técnicas.	7
1.9.2. Técnicas.....	7
1.9.3. Los ensayos que se realizarán:	8

1.10. Descripción de los instrumentos.	9
1.11. Procedimiento de aplicación.	10
1.11.1. Preparación previa.....	10
1.12. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.	10
1.12.1. Tratamiento de los datos.	10
1.13. Alcance de la investigación.....	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

	Página
CAPÍTULO II	13
2.1. Pavimentos.	13
2.2. Tipos de pavimentos.	13
2.3. El Asfalto o ligante asfaltico.	15
2.4. Mezclas asfálticas en caliente.	16
2.5. Mezclas asfálticas semiabiertas.	17
2.5.1. Características principales:.....	18
2.5.2. Aplicaciones:.....	18
2.6. El ensayo de Marshall.	18
2.6.1. Determinación del peso específico total.	20
2.6.2. Ensayo de estabilidad y fluencia.	20
2.6.3. Valor de estabilidad Marshall.	21
2.6.4. Valor de fluencia Marshall.....	21
2.6.5. Análisis de densidad y vacíos.	21
2.6.6. Análisis de vacíos.....	21
2.6.7. Análisis de peso unitario.	22
2.6.8. Análisis de V.A.M.	22
2.6.9. Análisis de R.B.V.....	22
2.7. Capa de rodadura.....	22
2.8. Diseño de una Mezcla Asfáltica.....	23
2.8.1. Algunas consideraciones clave:	24

2.9. Factores que influye en el daño por humedad.....	24
2.9.1. La Humedad.	25
2.9.2. Nivel freático.....	25
2.9.3. Cemento asfáltico.....	25
2.9.4. Características del agregado.....	25
2.9.5. Volumen de Aire	26
2.9.6. Condiciones climáticas al momento de la construcción.	26
2.9.7. Clima.	26
2.9.8. Tráfico.	27
2.10. Efecto del Agua en las Mezclas Asfálticas.	27
2.11. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.	28
2.11.1. Estabilidad.....	28
2.11.2. Durabilidad.....	28
2.11.3. Impermeabilidad.	29
2.11.4. Trabajabilidad.	30
2.11.5. Flexibilidad.	31
2.11.6. Resistencia a la fatiga.....	31
2.11.7. Resistencia al deslizamiento.	31
2.12. Deterioro de las mezclas asfálticas semiabiertas.	32
2.12.1. Tipos de deterioro por humedad en mezclas asfálticas semiabiertas.....	32
2.13. Marco Normativo.	33
2.14. Normativa sobre mezclas asfálticas vigente (ABC).....	34
2.15. Norma ASTM.	34
2.16. Marco referencial.	35
2.17. Clima en la ciudad de Tarija.	36
2.17.1. Las zonas altas de Tarija:	36
2.17.2. La zona de los valles de Tarija:.....	37
2.17.3. La región del Chaco en Tarija:.....	38
2.18. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (ASTM E 303 AASHTO T278-90).....	39
2.18.1. Resistencia al deslizamiento.	39

2.18.2. Coeficiente de fricción dinámico.	39
2.19. Resistencia remanente.	40

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

	Página
CAPÍTULO III	41
3.1. Ubicación de los materiales de la investigación	41
3.1.1 Agregado pétreo	41
3.1.2 Cemento asfáltico.	43
3.2 Características de los materiales de investigación.	44
3.2.1 Ficha técnica del cemento asfáltico 85-100	44
3.2. Caracterización de los materiales.	46
3.2.1 Agregados	46
3.2.2 Cemento asfáltico.	46
3.2.3. Diseño de las mezclas asfálticas.	46
3.2.1.1. Ensayo de granulometría (AASHTO T-27) (ASTM C-136).	47
3.2.1.2. Ensayo para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C 131 AASHTO T96).	52
3.2.1.3. Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados gruesos (ASTM C-127 AASHTO T85).	54
3.2.1.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados finos (ASTM C 128 AASHTO T84).	55
3.2.1.5. Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19 ASTM C-29)	56
3.2.1.6. Ensayo de equivalente de arena (ASTM D-2419 AASHTO T-176).	57
3.2.1.7. Ensayo de porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821).	58
3.2.1.8. Ensayo determinación de partículas laminares, chatas y alargadas.	58
3.2.1.9. Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D-854 AASHTO T- 100).	61
3.2.1.10. Método de ensayo de penetración (ASTM D 5 AASHTO T49-97).	62

3.2.1.11. Método para determinar los puntos de inflamación y combustión mediante la copa abierta de Cleveland (ASTM D1310-01 AASHTO T79-96).	63
3.2.1.12. Método para determinar la ductilidad (ASTM D 113 AASHTO T51-00).	63
3.2.1.13. Método para determinar la densidad (ASTM D71 AASHTO T229-97).	64
3.2.1.14. Método para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D 36 AASHTO T53-96).	65
3.2.1.15. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico.	65
3.3. Diseño de mezclas asfálticas.	66
3.3.1. Combinación de agregados.	66
3.3.2. Dosificación para tres agregados: método analítico.	66
3.4. Contenido mínimo del cemento asfáltico.	71
3.4.1. Método del área superficial.	71
3.5. Contenido óptimo de cemento asfáltico.	72
3.5.1 Dosificación de la mezcla asfáltica.	73
3.5.2. Dosificación con variación del porcentaje de cemento asfáltico.	74
3.5.3. Desarrollo de la elaboración de las briquetas.	75
3.5.3.1. Equipo:	75
3.5.3.2. Preparación de la muestra de ensayo.	76
3.5.3.3. Elaboración de briquetas.	76
3.6. Procedimiento de ensayo Marshall	78
3.6.1. Método de prueba estándar para espesor o altura de la briqueta de ensayo (ASTM D-3549).	78
3.6.2. Método de prueba estándar del peso específico total (ASTM D-2726).	79
3.6.3. Método de prueba estándar para estabilidad Marshall y flujo de mezclas asfálticas. (ASTM D-6927).	79
3.7. Procedimiento de cálculo para el ensayo Marshall.	81
3.7.1 Identificación de briquetas.	81
3.7.2 Espesor o altura de las briquetas.	81
3.7.3 Base de mezcla y agregado.	81
3.7.4. Peso de la briqueta.	82
3.7.4.1. Peso de la briqueta en estado seco.	82

3.7.4.2. Peso de la briqueta en estado saturado superficialmente seco.	82
3.7.5. Volumen de la briqueta.	83
3.7.6. Densidad de la briqueta.	83
3.7.6.1. Densidad real de la briqueta.	83
3.7.6.2. Densidad máxima teórica de la briqueta.	83
3.7.7. Porcentaje de vacíos.	83
3.7.7.1 Porcentaje de vacíos de la mezcla (Vv).	83
3.8.7.2 Porcentaje de vacíos de los agregados minerales (V.A.M.).	84
3.8.8. Estabilidad y fluencia.	84
3.9. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico (densa).	86
3.10. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (Semiabierta) para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.	89
3.9. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico (semiabierta).	90
3.11. Preparación de briquetas densas con el porcentaje óptimo para el asfalto 85/100.	93
3.12. Preparación de briquetas con el porcentaje óptimo para las mezclas asfálticas semiabiertas.	94
3.13. Ensayo Marshall para el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica densa.	94
3.14. Ensayo Marshall para el porcentaje óptimo de asfalto para la mezcla asfáltica semiabierta.	96
3.15. Evaluación de los deterioros saturando a diferentes temperaturas.	98
3.15.1. Evaluación de Briquetas a 42°C.	99
3.15.2. Evaluación de Briquetas de 20°C.	100
3.15.3. Evaluación de Briquetas de 2°C.	100
3.16. Datos de las briquetas.	101
3.17. Espesor o altura de las briquetas.	101
3.19. Practica de péndulo británico.	102

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
CAPÍTULO IV	105
4.1. Resultados de las propiedades mecánicas de mezcla asfáltica densa y semiabierta.	105
4.2. Evaluación de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica densa mediante Marshall.....	107
4.3. Evaluación de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica semiabierta mediante Marshall.....	109
4.4. Evaluación y comparación de resultados de la mezcla asfáltica densa y semiabierta.	111
4.5. Evaluación de los deterioros de las mezclas asfálticas semiabiertas.	112

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
CAPÍTULO V	117
5.1. Conclusiones.	117
5.2. Recomendaciones.....	117
Bibliografía	119

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.

ANEXO II CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO.

ANEXO III DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

ANEXO IV CARTAS DE SOLICITUD.

ANEXO V REPORTE FOTOGRÁFICO.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Operacionalización de variables.	6
Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas de acuerdo a su granulometría.	17
TABLA 2.2. Proporción de vacíos de las mezclas asfálticas.....	26
Tabla 2.3: Normas aplicadas para el ensayo del agregado pétreo.....	34
Tabla 2.4: Normas aplicadas para el ensayo del cemento asfáltico.	35
Tabla 2.5: Normas aplicadas para el ensayo de las mezclas asfálticas.	35
Tabla 2.6: Criterio de diseño de mezclas Marshall.	35
Tabla 3.1. Normas aplicadas para el ensayo del agregado pétreo.....	46
Tabla 3.2: Normas aplicadas para el ensayo del cemento asfáltico.	46
Tabla 3.3: Normas aplicadas para el ensayo de las mezclas asfálticas.	46
Tabla 3.4. Datos de los ensayos realizados de la grava 3/4”.....	47
Tabla 3.5. Datos de los ensayos realizados de la gravilla 3/8”.	48
Tabla 3.6. Datos de los ensayos realizados de la arena.....	48
Tabla 3.7. Granulometría – agregado grueso (grava 3/4”)......	49
Tabla 3.8. Granulometría – agregado grueso (gravilla 3/8”).	50
Tabla 3.9. Granulometría – agregado fino (arena).	51
Tabla 3.10. Tabla ASTM C-131 según el tamaño de material que se tenga.....	52
Tabla 3.11. Datos del ensayo de desgaste para la grava 3/4”.....	53
Tabla 3.12. Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8”.	54
Tabla 3.13. Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso grava 3/4”.	54
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de peso específico para grava 3/4”.	55
Tabla 3.15. Datos del ensayo de peso específico de agregado grueso gravilla 3/8”.....	55
Tabla 3.16. Resultados del ensayo peso específico de agregado grueso gravilla 3/8”. ...	55
Tabla 3.17. Datos obtenidos del ensayo peso específico para agregado fino.	56
Tabla 3.18. Resultados del ensayo de peso específico para agregado fino.....	56
Tabla 3.19. Datos obtenidos del ensayo peso específico unitario suelto.	56
Tabla 3.20. Datos obtenidos del ensayo peso específico unitario compactado.	57
Tabla 3.21. Datos del ensayo equivalente de arena.	57
Tabla 3.22. Resultados del ensayo equivalente de arena.	58
Tabla 3.23. Datos del ensayo de caras fracturadas.....	58

Tabla 3.24. Resultados del ensayo % de caras fracturadas.	58
Tabla 3.25. Resultados del ensayo de aplanamiento del agregado grueso (grava 3/4"). .	59
Tabla 3.26. Resultados del ensayo de aplanamiento del agregado grueso (gravilla 3/8").....	59
Tabla 3.27. Resultados del ensayo de alargamiento del agregado grueso (grava 3/4")...	60
Tabla 3.28. Resultados del ensayo de alargamiento del agregado grueso (gravilla 3/8").....	60
Tabla 3.29. Datos de la calibración de frasco volumétrico.	61
Tabla 3.30. Datos y resultados del ensayo de peso específico de filler convencional.	62
Tabla 3.31. Resultados del ensayo de penetración del cemento asfáltico 85-100.	62
Tabla 3.32. Resultados del ensayo punto de inflamación.	63
Tabla 3.33. Resultados del ensayo de ductilidad del cemento asfáltico 85/100.	64
Tabla 3.34. Datos del ensayo peso específico.....	64
Tabla 3.35. Resultados del ensayo peso específico.	65
Tabla 3.36. Resultado del ensayo punto de ablandamiento.	65
Tabla 3.37. Resultado de los ensayos caracterización del cemento asfaltico.	66
Tabla 3.38. Promedio de granulometría de agregados pétreos.	66
Tabla 3.39. Combinación granulométrica del agregado grueso.....	67
Tabla 3.40. Granulometría del agregado fino (arena).	68
Tabla 3.41. Resumen de % que pasa de material grueso, fino y filler.	68
Tabla 3.42. Dosificación de materiales pétreos (densa).....	69
Tabla 3.43. Dosificación de materiales pétreos (semiabierta).	70
Tabla 3.44. Cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico (densa).	72
Tabla 3.45. Cálculo del contenido mínimo de cemento asfáltico (semiabierta).	72
Tabla 3.46. Dosificación de la mezcla asfáltica (densa).	73
Tabla 3.47. Dosificación de la mezcla asfáltica (semiabierta).....	73
Tabla 3.48. Variaciones del porcentaje de asfalto para el porcentaje óptimo (densa).	74
Tabla 3.49. Variaciones del porcentaje de asfalto para el porcentaje óptimo (semiabierta).....	74
Tabla 3.50. Dosificación de la mezcla asfáltica con variación de porcentajes de cemento asfáltico (densa).	74

Tabla 3.51. Dosificación de la mezcla asfáltica con variación de porcentajes de cemento asfáltico (semiabierta)	75
Tabla 3.52. Alturas o espesores de cada briqueta ensayada.....	81
Tabla 3.53. Peso de briquetas en estado seco.....	82
Tabla 3.54. Peso de briqueta saturada superficialmente seca (S.S.S.).	82
Tabla 3.55. Peso de briqueta sumergida en agua.	82
Tabla 3.56. Alturas promedio y factor de corrección.....	85
Tabla 3.57. Resultados de estabilidad y fluencia.	85
Tabla 3.58. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (densa).	85
Tabla 3.59. Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.	87
Tabla 3.60. Porcentaje de agregado en la mezcla total (densa).	88
Tabla 3.61. Porcentaje optimo en la mezcla total (densa).....	89
Tabla 3.62. Resultados del diseño de la mezcla asfáltica convencional (semiabierta). ...	89
Tabla 3.63. Resultados de las gráficas del ensayo Marshall.	91
Tabla 3.64. Porcentaje de agregado en la mezcla total (semiabierta)	92
Tabla 3.65. Porcentaje optimo en la mezcla total (semiabierta)	93
Tabla 3.66. Dosificación con el contenido óptimo de asfalto densa	93
Tabla 3.67. Dosificación con el contenido óptimo para la mezcla semiabierta	94
Tabla 3.68. Datos obtenidos del ensayo Marshall con asfalto para la mezcla asfáltica densa.....	95
Fuente: Elaboración propia.	95
Fuente: Elaboración propia.	97
Tabla 3.70. datos de las briquetas.	101
Tabla 3.71. Alturas o espesores de cada briqueta ensayada.....	102
Tabla 3.72. Diámetros de cada briqueta ensayada.	102
Tabla 3.73. valores de Resistencia al desplazamiento.	103
Tabla 4.1. Resultados de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica densa. ...	105
Tabla 4.2. Resultados de las propiedades mecánicas para la mezcla asfáltica semiabierta.	106
Tabla 4.3. Resultados del ensayo Marshall, mezcla asfáltica densa.	107
Tabla 4.4. Resultados del ensayo Marshall, mezcla asfáltica semiabierta.....	109

Tabla 4.5. Resultados de evaluación de deterioros de las mezclas asfálticas semiabiertas.....	112
Tabla 4.6. Resultados del porcentaje de contenido humedad de las mezclas asfálticas semiabiertas.....	113
Tabla 4.7. Resultados del péndulo británico.	115

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Curva granulométrica – grava.....	49
Gráfico 3.2: Curva granulométrica – gravilla	50
Gráfico 3.3: Curva granulométrica – arena.....	51
Gráfico 3.4. Curva de calibración del frasco volumétrico.	61
Gráfico 3.5. Curva granulométrica formada.	70
Gráfico 3.6. Curva granulométrica formada.	71
Gráfico 3.7. Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.	86
Gráfico 3.8. Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.....	86
Gráfico 3.9. Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total.....	86
Gráfico 3.10. Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.	87
Gráfico 3.11. Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).	88
Gráfico 3.13. Porcentaje de cemento asfáltico vs densidad.	90
Gráfico 3.14. Porcentaje de cemento asfáltico vs estabilidad corregida.....	90
Gráfico 3.15. Porcentaje de cemento asfáltico vs % de vacíos respecto a la mezcla total.....	90
Gráfico 3.16: Porcentaje de cemento asfáltico vs fluencia.	91
Gráfico 3.17. Porcentaje de cemento asfáltico vs relación betumen vacíos (R.B.V.).	92
Gráfico 3.18. Porcentaje de cemento asfáltico vs vacíos del agregado mineral (V.A.M.).....	92
Gráfica 4.1. Tiempo vs estabilidad M.A. densa.....	107
Fuente: Elaboración propia.	107
Gráfica 4.2. Tiempo vs fluencia M.A. densa.	107
Gráfica 4.3. Tiempo vs estabilidad M.A. semiabierta.....	109
Gráfica 4.4. Tiempo vs fluencia M.A. semiabierta.	110

Gráfica 4.5. Comparación de la estabilidad.	111
Gráfica 4.6. Comparación de la resistencia remanente.	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Máquina del ensayo Marshall.....	19
Figura 2.3. equipo de péndulo británico.....	40
Figura 3.1. Ubicación de la chancadora Garzón.	41
Figura 3.2. ubicación chancadora Garzón.....	42
Figura 3.3. Ubicación de la posta municipal.....	43
Figura 3.4. Ficha técnica del cemento asfáltico peruano 85-100.....	44
Figura 3.5. Ficha técnica del cemento asfáltico peruano 85-100.....	45
Figura 3.6. Mezclado del agregado con cemento asfáltico y colocando al molde.....	77
Figura 3.7. Compactación de la briqueta con el martillo Marshall mecánico.....	77
Figura 3.8. Proceso de desmolde de la briqueta y marcando briquetas.	77
Figura 3.9. Reposo de briquetas según su porcentaje de cemento asfáltico.	78
Figura 3.10. Medición de altura de la briqueta.	78
Figura 3.11. Determinación del peso seco y sumergido en agua.	79
Figura 3.12. Colocación de briqueta al equipo Marshall y midiendo.	80
Figura 3.13. saturando briquetas de 42°C.	99
Figura 3.14. saturando briquetas de 20°C.	100
Figura 3.15. saturando briquetas de 2°C.	100
Figura 3.17. utilizando el péndulo.....	102
Figura 4.1. perdida de material y material ligante en días de saturación.	113
Figura 4.2. deformaciones y perdida de material.	114
Figura 4.4. perdida de material y material ligante en días de saturación.	114
Figura 4.3. utilizando el péndulo.....	115