

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS EN TIBIO CON EL USO DEL
ADITIVO “ZYCOTHERM” PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAPAS DE
RODADURA EN CARRETERAS.”**

Por:

JORGE LUIS SOLETO ALDANA

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

SEMESTRE II - 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Trabajo dedicado a todos los cariños incondicionales de los cuales me rodeo, mis Padres, mis hermanos y en especial a mi esposa e hijas quienes son el motor de arranque de sueños y metas por cumplir.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1. Introducción.....	1
1.2. Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	6
1.4. Diseño teórico.....	7
1.4.1. Planteamiento del problema.....	7
1.4.1.1. Situación problemática.....	7
1.4.1.2. Problema.....	8
1.4.2. Objetivos.....	8
1.4.2.1. Objetivo general.....	8
1.4.2.2. Objetivos específicos.....	8
1.4.3. Hipótesis.....	9
1.4.4. Definición de variables independientes y dependientes.....	9
1.4.4.1. Variable independiente.....	9
1.4.4.2. Variable dependiente.....	9
1.5. Diseño metodológico.....	10
1.5.1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	10
1.5.2. Componentes.....	10
1.5.2.1. Unidades de estudio y decisión muestral.....	10
1.5.2.1.1. Unidad de estudio.....	10
1.5.2.1.2. Población.....	11
1.5.2.1.3. Muestra.....	11
1.5.2.2. Muestreo.....	11
1.5.2.2.1. Análisis estadístico.....	11
1.5.3. Métodos y técnicas empleadas.....	14
1.5.3.1. Selección de métodos y técnicas.....	14
1.5.3.2. Técnicas de muestreo.....	15

1.5.3.2.1. Técnica de muestreo no probabilística.....	15
1.5.3.3. Descripción de equipos e instrumentos.....	15
1.5.3.4. Procedimiento de aplicación.....	16
1.5.3.5. Preparación previa.....	18
1.5.4. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	18
1.6. Alcance de la investigación.....	19

CAPÍTULO II

DEFINICIONES, CRITERIOS IMPORTANTES DE CARACTERIZACIÓN DE LOS COMPONENTES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.
2.1. Antecedentes generales.....	21
2.2. Definiciones y criterios.....	22
2.2.1. Definiciones.....	22
2.2.2. Criterios.....	24
2.2.3. Propiedades de las mezclas asfálticas para capas de rodadura.....	28
2.3. Definición de mezcla asfáltica y componentes.....	29
2.3.1. Clasificación de las mezclas asfálticas por la temperatura de producción y puesta en obra.....	30
2.3.1.1. Mezcla asfáltica en frío.....	31
2.3.1.2. Mezcla asfáltica semitibia o semitemplada.....	32
2.3.1.3. Mezcla asfáltica tibia o templada.....	32
2.3.1.4. Mezcla asfáltica en caliente.....	32
2.3.1.4.1. Aspectos positivos y negativos de la mezcla en tibio (ventajas y desventajas).....	33
2.4. Ligantes asfálticos.....	36
2.5. Materiales pétreos.....	37
2.5.1. Definición de agregados pétreos.....	37
2.5.2. Tipos de agregados pétreos.....	38
2.5.2.1. Propiedades de los agregados pétreos.....	40

2.5.3. Características principales de los agregados pétreos para pavimentos.....	41
2.5.4. Conceptos más frecuentes relacionados a los agregados.....	47
2.6. Aditivos asfálticos.....	49
2.6.1. Descripción del producto aditivo Zycotherm.....	49

CAPÍTULO III

DISEÑO MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS CON Y SIN USO DEL ADITIVO ZYCOTHERM

	Pág.
3.1. Introducción.....	54
3.2. Especificaciones técnicas.....	54
3.2.1. Especificaciones técnicas del ligante asfáltico.....	54
3.2.2. Especificaciones técnicas de los agregados pétreos.....	56
3.2.3. Especificaciones técnicas del aditivo Zycotherm.....	59
3.3. Diseño de mezclas asfálticas.....	59
3.3.1. Método Marshall.....	60
3.3.1.1. Características de la mezcla para aplicar el diseño Marshall.....	60
3.3.1.2. Preparación de las muestras de ensayo.....	64
3.3.1.3. Procedimiento del ensayo.....	65
3.3.1.4. Ensayos de estabilidad y fluencia.....	65
3.3.1.5. Criterios para el diseño Marshall.....	66
3.3.1.6. Procedimientos para la determinación del porcentaje óptimo de ligante....	67
3.3.1.7. Determinación de las densidades aparentes o pesos específicos de las probetas.....	69
3.3.1.8. Determinación de los vacíos de las series de mezclas de prueba.....	69
3.3.1.9. Determinación de los vacíos totales de la mezcla compactada.....	70
3.3.1.10. Determinación de los vacíos del agregado mineral (VAM).....	70
3.3.1.11. Determinación de los vacíos ocupados por el ligante o relación betún/vacíos.....	71
3.3.1.12. Ensayos de estabilidad y fluencia Marshall.....	72
3.4. Selección de materiales.....	75

3.4.1. Agregados pétreos.....	75
3.4.2. Materiales bituminosos.....	75
3.4.3. Material aditivo Zycotherm.....	76
3.5. Caracterización de materiales.....	76
3.5.1. Caracterización de materiales pétreos.....	76
3.5.1.1. Granulometría.....	76
3.5.1.2. Peso específico del agregado fino (arena).....	81
3.5.1.3. Peso específico del agregado grueso (gravilla y grava).....	82
3.5.1.4. Desgaste de los ángeles.....	83
3.5.1.5. Equivalente de arena.....	86
3.5.1.6. Porcentaje de caras fracturadas.....	88
3.5.1.6.1. Partículas largas y achatadas.....	88
3.5.2. Caracterización de materiales bituminosos.....	89
3.5.2.1. Penetración.....	89
3.5.2.2. Ductilidad.....	90
3.5.2.3. Punto de inflamación.....	91
3.5.2.4. Punto de ablandamiento.....	92
3.5.2.5. Peso específico.....	93
3.5.2.6. Viscosidad.....	93
3.6. Diseño granulométrico de las mezclas.....	94
3.6.1. Dosificación de agregados.....	95
3.7. Diseño para mezclas convencionales.....	96
3.7.1. Dosificación según porcentajes de C.A.....	96
3.7.2. Resultados de pruebas Marshall para mezclas convencionales sin aditivo.....	97
3.7.3. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico para mezclas convencionales diferentes temperaturas.....	104
3.8. Diseño mezclas tibias con uso del aditivo Zycotherm.....	109
3.8.1. Dosificación de mezclas tibias con variación de Zycotherm.....	109
3.8.2. Resultados a pruebas Marshall para mezclas con Zycotherm.....	110
3.8.3. Determinación del contenido óptimo de aditivo Zycotherm a diferentes temperaturas.....	116

CAPÍTULO IV
COMPARACIÓN TÉCNICA DE LAS PROPIEDADES MARSHALL
ENTRE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON Y SIN
ADITIVO ZYCOHTERM

	Pág.
4.1. Introducción.....	122
4.2. Resumen de la caracterización de los agregados pétreos.....	122
4.3. Resumen de la caracterización del ligante asfáltico.....	123
4.4. Análisis de resultados de las propiedades del método Marshall.....	123
4.5. Determinación del contenido final del aditivo Zycotherm y la temperatura de mezclado.....	128
4.6. Aplicación final.....	130
4.7. Tratamiento estadístico aplicado.....	133
4.8. Análisis de adherencia con el aditivo Zycotherm.....	139
4.9. Temperatura de mezclado y de compactado.....	139
4.10. Precio unitario de las mezclas con y sin aditivo Zycotherm.....	140

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.
5.1. Conclusiones.....	142
5.2. Recomendaciones.....	144

Bibliografía

Anexos

Anexo A. Caracterización de agregados.

Anexo B. Caracterización de cemento asfáltico.

Anexo C. Diseño de mezclas asfálticas a diferentes temperaturas para determinar el óptimo de cemento asfáltico.

Anexo D. Diseño de mezclas asfálticas a diferentes temperaturas para determinar el óptimo de Zycotherm.

Anexo E. Planillas Marshall para tratamiento estadístico con valores óptimos.

Anexo F. Planillas de precios unitarios.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	10
Tabla 1.2. Tabla para el cálculo de la muestra.....	12
Tabla 1.3. Tabla de N° de ensayos realizados a los agregados.....	13
Tabla 1.4. Tabla de N° de ensayos realizados al cemento asfáltico 85/100.....	13
Tabla 1.5. Tabla de N° de briquetas realizadas con mezclas asfálticas.....	14
Tabla 2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas por temperatura.....	31
Tabla 2.2. Especificaciones del aditivo Zycotherm.....	49
Tabla 3.1. Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos.....	54
Tabla 3.2. Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.....	55
Tabla 3.3. Ensayos de laboratorio normalizados para agregados.....	57
Tabla 3.4. Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	58
Tabla 3.5. Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.....	58
Tabla 3.6. Especificaciones del Zycotherm.....	59
Tabla 3.7. Valores mínimos V.A.M. según el tamaño máximo nominal.....	64
Tabla 3.8. Requerimiento para mezclas con cemento asfáltico diseñadas con el método Marshall.....	66
Tabla 3.9. Porcentaje mínimo de V.M.A.....	67
Tabla 3.10. Requerimiento para mezclas con emulsión asfáltica diseñadas con el método Marshall.....	67
Tabla 3.11. Granulometría promedio de la arena.....	78
Tabla 3.12. Granulometría promedio de la gravilla.....	79
Tabla 3.13. Granulometría de la grava.....	80
Tabla 3.14. Peso específico de la arena.....	82
Tabla 3.15. Peso específico de la gravilla.....	83
Tabla 3.16. Peso específico de la grava.....	83

Tabla 3.17. Especificaciones de desgaste de los ángeles. Gradación “C” para gravilla.....	85
Tabla 3.18. Resultados de desgaste de la gravilla.....	85
Tabla 3.19. Especificaciones de desgaste de los ángeles. Gradación “B” para grava.....	86
Tabla 3.20. Resultados de desgaste de la grava.....	86
Tabla 3.21. Resultados del equivalente de arena.....	87
Tabla 3.22. Porcentaje de caras fracturadas de la gravilla.....	88
Tabla 3.23. Porcentaje de caras fracturadas de la grava.....	88
Tabla 3.24. Porcentaje de partículas largas y achatadas de la gravilla.....	88
Tabla 3.25. Porcentaje de partículas largas y achatadas de la grava.....	89
Tabla 3.26. Resultados de penetración del cemento asfáltico.....	90
Tabla 3.27. Resultados de ductilidad del cemento asfáltico.....	91
Tabla 3.28. Resultados de punto de inflamación del cemento asfáltico.....	92
Tabla 3.29. Resultados de punto de ablandamiento del cemento asfáltico.....	92
Tabla 3.30. Resultados de la viscosidad del cemento asfáltico.....	92
Tabla 3.31. Resultados de peso específico del cemento asfáltico.....	93
Tabla 3.32. Diseño granulométrico método Marshall. Norma ASTM D3515.....	94
Tabla 3.33. Dosificación de agregados de mezcla asfáltica con el método Marshall.	95
Tabla 3.34. Dosificación para determinar el contenido óptimo de C.A.....	96
Tabla 3.35. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 80°C..	98
Tabla 3.36. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 90°C..	98
Tabla 3.37. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 100°C..	98
Tabla 3.38. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 110°C..	99
Tabla 3.39. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 120°C..	99
Tabla 3.40. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 130°C..	99
Tabla 3.41. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 140°C..	100
Tabla 3.42. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 150°C..	100
Tabla 3.43. Valores de propiedades Marshall para mezclas convencionales a 160°C..	100
Tabla 3.44. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 80°C.....	106
Tabla 3.45. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 90°C.....	106

Tabla 3.46. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 100°C.....	106
Tabla 3.47. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 110°C.....	107
Tabla 3.48. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 120°C.....	107
Tabla 3.49. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 130°C.....	107
Tabla 3.50. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 140°C.....	107
Tabla 3.51. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 150°C.....	108
Tabla 3.52. Contenido óptimo de C.A. para la mezcla convencional a 160°C.....	108
Tabla 3.53. Contenido óptimo de C.A. para mezclas convencionales.....	108
Tabla 3.54. Dosificación para diferentes porcentajes de Zycotherm.....	109
Tabla 3.55. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 80°C....	110
Tabla 3.56. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 90°C....	110
Tabla 3.57. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 100°C...	111
Tabla 3.58. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 110°C...	111
Tabla 3.59. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 120°C...	111
Tabla 3.60. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 130°C...	112
Tabla 3.61. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 140°C...	112
Tabla 3.62. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 150°C...	112
Tabla 3.63. Valores de propiedades Mashall para mezclas con Zycotherm a 160°C...	113
Tabla 3.64. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 80°C.....	118
Tabla 3.65. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 90°C.....	118
Tabla 3.66. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 100°C.....	119
Tabla 3.67. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 110°C.....	119
Tabla 3.68. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 120°C.....	119
Tabla 3.69. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 130°C.....	119
Tabla 3.70. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 140°C.....	120
Tabla 3.71. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 150°C.....	120
Tabla 3.72. Contenido óptimo de Zycotherm para mezclas tibias a 160°C.....	120
Tabla 3.73. Contenidos óptimos de Zycotherm para las mezclas a diferentes temperaturas.....	121
Tabla 4.1. Resumen de caracterización de los agregados pétreos.....	122
Tabla 4.2. Resumen de caracterización del cemento asfáltico.....	123

Tabla 4.3. Resumen de las propiedades técnicas Marshall de las mezclas sin Zycotherm a diferentes temperaturas.....	123
Tabla 4.4. Resumen de las propiedades técnicas Marshall de las mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.....	124
Tabla 4.5. Resultados finales de contenidos óptimos de C.A. y Zycotherm para cada tipo de mezcla.....	129
Tabla 4.6. Valores finales.....	130
Tabla 4.7. Valores finales para el uso de Zycotherm.....	130
Tabla 4.8. Datos y cálculos de estabilidad y fluencia para estadística.....	131
Tabla 4.9. Datos y cálculos de densidades y vacíos para estadística.....	132
Tabla 4.10. Resultados de estadística descriptiva.....	136
Tabla 4.11. Tratamiento estadístico a la Estabilidad Marshall método LogNormal..	137
Tabla 4.12. Prueba de bondad de ajuste Chi cuadrado.....	138
Tabla 4.13. Variación de precios unitarios.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1. Rangos de temperatura de producción de mezclas asfálticas.....	30
Figura 2.2. Valores de viscosidad según temperatura de mezclas tibias y calientes....	34
Figura 2.3. Planta de áridos comunidad Charaja.....	48
Figura 2.4. Toma de muestras. (Planta de áridos comunidad Charaja).....	48
Figura 2.5. Esquema de proceso de reducción de atracción entre asfaltenos.....	50
Figura 2.6. Esquema de paso de una superficie de árido, de hidrófila a hidrófoba con el uso de Zycotherm.....	51
Figura 2.7. Cambio de polaridad en los agregados al adicionar el aditivo Zycotherm.	51
Figura 2.8. Adherencia agregado – asfalto sin Zycotherm.....	52
Figura 2.9. Adherencia agregado – asfalto con Zycotherm.....	52
Figura 2.10. Aditivo multipropósito Zycotherm (presentación de laboratorio).....	53
Figura 2.11. Aditivo multipropósito Zycotherm (presentación de 20lt).....	53
Figura 3.1. Diagrama de componentes de una mezcla asfáltica en caliente.....	62

Figura 3.2. Gráfico del ensayo de Estabilidad y Fluencia Marshall.....	72
Figura 3.3. Muestra de Cemento Asfáltico 85/100.....	75
Figura 3.4. Muestra de producto aditivo Zycotherm.....	76
Figura 3.5. Lavado de la muestra para granulometría.....	76
Figura 3.6. Juego de tamices para granulometría.....	77
Figura 3.7. Obtención de pesos retenidos en cada tamiz.....	77
Figura 3.8. Verificación de la condición muestra saturada con superficie seca.....	81
Figura 3.9. Secado superficial de la muestra saturada 24 hrs. antes y obtención del peso sumergido.....	82
Figura 3.10. Colocado de la muestra en la máquina de los ángeles y obtención de muestra post rodillo giratorio.....	84
Figura 3.11. Colocado de la muestra con solución dentro de la probeta.....	87
Figura 3.12. Realización del ensayo de penetración.....	89
Figura 3.13. Realización del ensayo de ductilidad.....	90
Figura 3.14. Muestra en la copa de Cleveland.....	91
Figura 3.15. Elaboración de mezcla asfáltica aditivada según calculo.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 3.1. Curva granulométrica promedio de la arena.....	79
Gráfico 3.2. Curva granulométrica promedio de la gravilla.....	80
Gráfico 3.3. Curva granulométrica promedio de la grava.....	81
Gráfico 3.4. Curva de diseño granulométrico Método Marshall.....	96
Gráfico 3.5. Curvas de Estabilidad para mezclas convencionales a diferentes temperaturas.....	102
Gráfico 3.6. Curvas de fluencia para mezclas convencionales a diferentes temperaturas	102
Gráfico 3.7. Curvas de densidad para mezclas convencionales a diferentes temperaturas.....	103
Gráfico 3.8. Curvas de vacíos de la mezcla para mezclas convencionales a diferentes temperaturas.....	103

Gráfico 3.9. Curvas de R.B.V. para mezclas convencionales a diferentes temperaturas.....	104
Gráfico 3.10. Curvas de V.A.M. para mezclas convencionales a diferentes temperaturas.....	104
Gráfico 3.11. Curva de estabilidad para una mezcla convencional a 80°C.....	105
Gráfico 3.12. Curva de densidad para una mezcla convencional a 80°C.....	106
Gráfico 3.13. Curva de vacíos para una mezcla convencional a 80°C.....	106
Gráfico 3.14. Curvas de estabilidad para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.....	114
Gráfico 3.15. Curvas de fluencia para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.....	115
Gráfico 3.16. Curvas de densidad para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.....	115
Gráfico 3.17. Curvas de vacíos de la mezcla para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.....	116
Gráfico 3.18. Curvas de R.B.V. para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.	116
Gráfico 3.19. Curvas de V.A.M. para mezclas con Zycotherm a diferentes temperaturas.	117
Gráfico 3.20. Curva de estabilidad vs. % Zycotherm a 80°C.....	118
Gráfico 3.21. Curva de densidad vs. % Zycotherm a 80°.....	118
Gráfico 4.1. Variación de Estabilidades Marshall en estudio.....	124
Gráfico 4.2. Variación de Fluencias Marshall en estudio.....	125
Gráfico 4.3. Variación de Densidades Marshall en estudio.....	126
Gráfico 4.4. Variación de Vacíos en la mezcla Marshall en estudio.....	126
Gráfico 4.5. Variación de V.A.M. Marshall en estudio.....	127
Gráfico 4.6. Variación de R.B.V. Marshall en estudio.....	121
Gráfico 4.7. Curvas para determinar el contenido final de cemento asfáltico, Zycotherm y temperatura de mezclado.....	129
Gráfico 4.8. Variación de densidad de datos de la Estabilidad Marshall.....	138
Gráfico 4.9. Rangos de temperaturas de mezclado y compactado.....	140
Gráfico 4.10. Precios unitarios para una carpeta de e=5cm.....	141

