

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN



“ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO
ÓPTIMO DE ASFALTO MODIFICADO EN MEZCLAS
DRENANTES”

Por:

UNIV. SILVERA AGUILERA VICTOR HUGO

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 - 2022
TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS DE LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO
ÓPTIMO DE ASFALTO MODIFICADO EN MEZCLAS
DRENANTES”**

Por:

UNIV. SILVERA AGUILERA VICTOR HUGO

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 – 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres Adrián Silvera y Maura Aguilera que fueron mi motor principal para seguir adelante.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria
Agradecimientos
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Justificación	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Planteamiento del problema.....	3
1.4.1.1 Situación problemática	3
1.4.1.2 Delimitación de tiempo.....	4
1.4.1.3 Delimitación especial.....	4
1.4.1.4 Problema	4
1.4.2.1 Objetivo general.....	5
1.4.2.2 Objetivos específicos	5
1.4.3 Hipótesis	5
1.4.4 Definición de la variable independiente y dependiente	5
1.4.4.1 Variable independiente	5
1.4.4.2 Variables dependientes.....	6
1.5 Alcance de la investigación	7

CAPÍTULO II
MEZCLAS ASFÁLTICAS, COMPONENTES Y DOSIFICACIÓN PARA
MEZCLAS DRENANTES

	Página
2.1 Pavimentos flexibles	8
2.1.1 Definición	8
2.1.2 Componentes.....	8
2.2 Mezclas asfálticas	9
2.2.1 Definición	9
2.2.2 Clasificación	9
2.2.3 Componentes.....	10
2.2.3.1 Asfalto.....	10
2.2.3.2 Agregado.....	11
2.2.4 Características	11
2.2.4.1 Densidad	11
2.2.4.2 Vacíos de aire (o simplemente vacíos)	12
2.2.4.3 Vacíos en el agregado mineral.....	13
2.2.4.4 Contenido de asfalto	14
2.2.5 Propiedades	16
2.2.5.1 Estabilidad.....	16
2.2.5.2 Durabilidad	17
2.2.5.3 Impermeabilidad	19
2.2.5.4 Trabajabilidad	19
2.2.5.5 Flexibilidad	21
2.2.5.6 Resistencia a la fatiga.....	21
2.2.5.7 Resistencia al deslizamiento	22
2.3 Mezclas drenantes.....	23
2.3.1.1 Introducción	23
2.3.1.2 Definición	23
2.3.1.3 Ventajas de las mezclas drenantes	25

2.3.2 Asfalto modificado.....	28
2.3.2.1 Aplicaciones de los asfaltos modificados	28
2.3.2.2 Mezclas drenantes	29
2.3.2.3 Las razones de utilizar asfaltos modificados	30
2.4 Métodos empleados en el diseño de mezclas asfálticas drenantes	30
2.5 Caracterización de asfaltos mediante el ensayo de cántabro	31
2.5.1. Metodología	32
2.5.2. Propósito de la metodología.....	33
2.5.3. Descripción general	33
2.5.4. Especificaciones de la metodología	34
2.5.5 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño.....	35
2.6 Procedimiento de diseño de la mezcla drenante	35
2.7 Ensayos de caracterización de los agregados pétreos	37
2.7.1 Ensayo de granulometría.....	38
2.7.2 Contenido de humedad del agregado grueso y fino	38
2.7.3 Peso específico de los agregados	38
2.7.4 Caras fracturadas.....	38
2.7.5 Desgaste del agregado grueso en la máquina de los ángeles	39
2.7.6 Equivalente de arena	40
2.8 Ensayo de caracterización del cemento asfáltico 85/100.....	40
2.8.1 Punto de llama por la copa abierta de Cleveland.....	40
2.8.2 Penetración de materiales bituminosos	41
2.8.3 Viscosidad cinemática Saybolt Furol.....	42
2.8.4 Peso específico del asfalto	43
2.8.5 Punto de ablandamiento	43
2.9 Diseño de mezcla asfáltica por el método Marshall	44
2.9.1 Metodología	44
2.9.2 Procedimiento para la realización del ensayo Marshall.....	44
2.9.3 Especificaciones de la metodología	46
2.9.4 Criterios de diseño normativo	47

2.9.5 Requisitos del agregado pétreo	51
2.10 Determinación del porcentaje óptimo de ligante	51
2.11 Diseño de mezclas drenantes con asfalto modificado.....	51

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE COMPONENTES DE UNA MEZCLA DRENANTE

	Página
3.1 Diseño metodológico	54
3.1.1 Componentes.....	54
3.1.2 Métodos y técnicas empleadas.....	56
3.1.2.1 Métodos.....	56
3.1.2.2 Técnicas	56
3.1.3 Procedimiento de aplicación	56
3.2 Ubicación de los materiales para la investigación	58
3.2.1 Agregados	59
3.2.2 Asfalto modificado.....	59
3.3 Caracterización de los agregados.....	60
3.3.1 Ensayo de granulometría.....	60
3.3.2 Determinación de la densidad de agregados finos	65
3.3.3 Determinación de la densidad real, la densidad de agregados gruesos.....	66
3.3.4 Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	68
3.3.5 Método para determinar el equivalente de arena	69
3.4 Caracterización del cemento asfáltico	70
3.4.1 Ensayo de penetración	70
3.4.2 Puntos de inflamación y combustión mediante la copa de Cleveland	72
3.4.3 Ductilidad de materiales bituminosos	73
3.4.4 Determinación de la densidad específica.....	74
3.4.5 Punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola.....	75
3.5 Diseño de mezclas drenantes	76
3.5.1 Introducción	76

3.5.2 Dosificación de los agregados	77
3.5.3 Planilla de la granulometría proyectada.....	78
3.5.4 Dosificaciones finales	79
3.5.5 Número de briquetas para determinar los contenidos óptimos de asfalto.....	79
3.5.6 Elaboración de briquetas.....	80
3.6. Determinación de óptimos de mezclas drenantes por el método Marshall.....	82
3.6.1 Resultados de propiedades Marshall de las mezclas asfálticas.....	90
3.7 Determinación de óptimos de C.A. por el método cántabro.....	94
3.8 Cántabro seco (máquina de Los Ángeles)	100
3.9 Cántabro húmedo (máquina de Los Ángeles).....	102
3.10 Ensayo de permeabilidad	103
3.11 Determinación del contenido óptimo de asfalto por el método de cántabro.....	105
3.12 Análisis de los resultados.....	107
3.13. Análisis de cada parámetro del método cántabro	109
3.14 Análisis de resultados finales.....	110
3.15 Análisis de costos.....	112
3.15.1 Cálculo de rendimientos con el 4,66 % de asfalto modificado	112
3.15.2 Cálculo de rendimientos con el 4,40 % de asfalto modificado.....	113
3.16 Validación de resultados con el contenido óptimo asfáltico modificado	117

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1 Organización de datos estadísticos	122
4.1.1 Estadística descriptiva.....	122
4.1.2. Estadística inferencial	125
4.2 Prueba de hipótesis	126
4.3 Especificaciones técnicas.....	129
4.3.1 Especificaciones técnicas de los agregados de mezclas drenantes	129
4.3.2 Ensayos realizados en los agregados	132

4.3.3 Especificaciones técnicas para el asfalto modificado 85/100	134
4.3.4 Ensayos realizados para el asfalto modificado 85/100	134
4.3.5 Especificaciones técnicas para diseño de la mezcla asfáltica drenante	138
4.3.6 Dosificación de agregados	138
4.3.7 Elaboración de briquetas.....	140
4.3.8 Método Cántabro seco (máquina de los Ángeles)	141
4.3.9 Método Cántabro húmedo (máquina de los Ángeles).....	142

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones.....	144
5.2 Recomendaciones	145

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- ANEXO I. Caracterización de los agregados pétreos
- ANEXO II. Caracterización del ligante asfáltico modificado
- ANEXO III. Dosificación de mezclas drenantes
- ANEXO IV. Ensayo método Marshall
- ANEXO V. Ensayo método Cántabro
- ANEXO VI. Planillas de precios unitarios
- ANEXO VII. Ficha técnica del asfalto modificado

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Operacionalización de la variable independiente	6
Tabla 1.2. Operacionalización de las variables dependientes.....	6
Tabla 2.1. Clasificación de mezclas asfálticas.....	10
Tabla 2.2. Vacíos en el agregado mineral (requisitos de VAM)	14
Tabla 2.3. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	17
Tabla 2.4. Causas y efectos de una poca durabilidad	18
Tabla 2.5. Causas y efectos de la permeabilidad	19
Tabla 2.6. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.....	21
Tabla 2.7. Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	22
Tabla 2.8. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	23
Tabla 2.9. Contenido de vacíos aceptado por algunos países	24
Tabla 2.10. Especificación granulométrica para mezcla drenante.....	36
Tabla 2.11. Criterios de diseño de mezclas Marshall	47
Tabla 2.12. Mínimo porcentaje de vacíos de agregado mineral (VAM.....	47
Tabla 2.13. Ensayos de laboratorio normalizados para agregados	48
Tabla 2.14. Ensayos de laboratorio normalizados para asfaltos	49
Tabla 2.15. Especificaciones del material pétreo para carpetas asfálticas.....	51
Tabla 3.1. Tamaño de la muestra	55
Tabla 3.2. Resultado de granulometría agregado fino “filler”	61
Tabla 3.3. Resultado de granulometría agregado fino “arena”	62
Tabla 3.4. Resultado de granulometría agregado grueso “gravilla”	63
Tabla 3.5. Resultado de granulometría agregado grueso “grava”	64
Tabla 3.6. Resultados peso específico del agregado fino “filler”	66
Tabla 3.7. Resultados peso específico del agregado fino “arena”	66
Tabla 3.8. Resultados densidad real del agregado grueso “gravilla”	67
Tabla 3.9. Resultados densidad real del agregado grueso “grava”	67
Tabla 3.10. Según el tamaño de material que se tenga	68
Tabla 3.11. Resultados del método para determinación del desgaste.....	69

Tabla 3.12. Resultados de equivalente de arena (%)	70
Tabla 3.13. Resultados de ensayo de penetración.....	72
Tabla 3.14. Resultados de punto de inflamación	73
Tabla 3.15. Resultados ensayo de ductilidad	74
Tabla 3.16. Resultados de densidad específica.....	75
Tabla 3.17. Resultados punto de ablandamiento	76
Tabla 3.18. Resumen de la caracterización de asfalto a utilizarse	76
Tabla 3.19. Franja granulométrica para las mezclas drenantes	77
Tabla 3.20. Diseño granulométrico final	78
Tabla 3.21. Dosificación para diferentes porcentajes de asfalto.....	79
Tabla 3.22. Total, número de briquetas elaboradas para óptimos	80
Tabla 3.23. Alturas medidas de cada briketa	84
Tabla 3.24. Peso al aire de las briquetas	85
Tabla 3.25. Peso briketa saturada superficialmente seca (S.S.S).....	85
Tabla 3.27. Datos del ensayo de estabilidad	88
Tabla 3.28. Alturas promedio y factor de corrección por altura.....	89
Tabla 3.29. Estabilidad corregida	89
Tabla 3.30. Resultados de fluencia	89
Tabla 3.31. Resultados de propiedades Marshall.....	90
Tabla 3.32. Resultado de óptimos de C.A. por el método Marshall	94
Tabla 3.33. Resultados de contenido de vacíos de las mezclas drenantes	99
Tabla 3.34. Resultados de laboratorio para ensayo cántabro seco.....	101
Tabla 3.35. Resultados de laboratorio para ensayo cántabro húmedo	102
Tabla 3.36. Planilla de resultados de vacíos y permeabilidad	104
Tabla 3.37. Porcentaje de vacíos para cada porcentaje de asfalto	106
Tabla 3.38. Resumen de ensayos	108
Tabla 3.39. Resultados finales método Marshall	111
Tabla 3.40. Resultados finales método cántabro	111
Tabla 3.41. Cantidad total de mezcla por m ² al 4,66 %	112
Tabla 3.42. Cantidad de agregado por m ² al 4,66 %.....	113

Tabla 3.43. Rendimiento final por m ² de carpeta asfáltica al 4,66 %	113
Tabla 3.44. Cantidad total de mezcla por m ² al 4,40 %	114
Tabla 3.45. Cantidad de agregado por m ² al 4,40 %	114
Tabla 3.46. Rendimiento final por m ² de carpeta asfáltica al 4,40 %	114
Tabla 3.47. Precios unitarios de mezcla drenante con 4,66% asfalto modificado....	115
Tabla 3.48. Precios unitarios de mezcla drenante con 4,40% asfalto modificado....	116
Tabla 3.49. Resultado final de costos	117
Tabla 3.50. Ponderación granulométrica final	118
Tabla 3.51. Dosificación final.....	118
Tabla 3.52. Resultados finales con los óptimo de asfalto modificado 4,40%	119
Tabla 3.53. Tabla de validación de resultados finales	120
Tabla 4.1. Datos de permeabilidad con el % óptimo de asfalto 4,40%	121
Tabla 4.2. Datos de Permeabilidad ordenados de menor a mayor	122
Tabla 4.3. Valores de estadística descriptiva	123
Tabla 4.4. Marca de clase y frecuencias de datos	123
Tabla 4.5. Cálculo de error	125
Tabla 4.6. Datos para el método Smirnov Kolmogorov	128
Tabla 4.7. Prueba bondad de ajuste por el método Smirnov Kolmogorov	128
Tabla 4.8. Requisitos del agregado Grueso	130
Tabla 4.9. Franja granulométrica para mezcla drenante	131
Tabla 4.10. Diseño granulométrico final	139
Tabla 4.11. Dosificación final.....	140
Tabla 4.12. Resultados método cántabro	143

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfico 3.1. Flujograma de aplicación.....	57
Gráfico 3.2. Curva granulométrica agregado fino “filler”	62
Gráfico 3.3. Curva granulométrica agregado fino “arena”	63
Gráfico 3.4. Curva granulométrica agregado grueso “gravilla”	64

Gráfico 3.5. Curva granulométrica agregado grueso “grava”	65
Gráfico 3.6. Porcentaje de C.A. vs. densidad de la mezcla	91
Gráfico 3.7. Porcentaje de C.A. vs. vacíos de la mezcla.	91
Gráfico 3.8. Porcentaje de C.A. vs. V.A.M. de la mezcla	92
Gráfico 3.9. Porcentaje de C.A. vs. R.B.V. de la mezcla	92
Gráfico 3.10. Porcentaje de C.A. vs. estabilidad de la mezcla	93
Gráfico 3.11. Porcentaje de C.A. vs. fluencia de la mezcla.....	93
Gráfico 3.12. Desgaste Cántabro Seco	102
Gráfico 3.13. Desgaste cántabro húmedo	103
Gráfico 3.14. Planilla de resultados de vacíos y permeabilidad	105
Gráfico 3.15. Porcentaje de vacíos vs porcentaje de asfalto.....	106
Gráfico 3.16. Vacíos y su contenido óptimo de C.A. (4.40%)	107
Gráfico 3.17. Ensayo de desgaste cántabro seco (4.40%)	109
Gráfico 3.18. Ensayo de desgaste cántabro húmedo (4.40%).....	110
Gráfico 3.19. Permeabilidad vs porcentaje de asfalto.....	110
Gráfico 4.1. Histograma y polígono de frecuencias	124
Gráfico 4.2. Histograma y curva de frecuencias acumuladas	124
Gráfico 4.3. Distribución de la prueba de hipótesis.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 2.1. Componentes de un pavimento flexible	8
Figura 2.2. Ilustración del VAM en una probeta de mezcla compactada	13
Figura 2.3. Esquema del funcionamiento de una capa drenante	25
Figura 2.4. Hidroplaneo	26
Figura 2.5. Macrotextura de pavimento	26
Figura 2.6. Fenómeno “splash” producido en superficies no drenantes	27
Figura 3.1. Planta separadora San José de Charajas	59
Figura 3.2. Asfalto modificado C.A. 85-100	60
Figura 3.3. Juego de tamices.....	61

Figura 3.4. Densidad en áridos finos	65
Figura 3.5. Realizando la práctica de la densidad del agregado grueso	67
Figura 3.6. Máquina de los Ángeles	68
Figura 3.7. Determinación del equivalente de arena.....	70
Figura 3.8. Muestras de asfalto sometidas a una temperatura de 25 °C.....	71
Figura 3.9. Ensayo de penetración.....	71
Figura 3.10. Ensayo punto de inflamación por la copa de Cleveland.....	72
Figura 3.11. Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos.....	73
Figura 3.12. Ensayo de densidad específica con el uso de picnómetro	74
Figura 3.13. Ensayo punto de ablandamiento.....	75
Figura 3.14. Briquetas tipo Marshall de mezcla drenantes.....	81
Figura 3.15. Proceso de mezclado de la mezcla drenante.....	81
Figura 3.16. Proceso de compactación con el martillo Marshall	82
Figura 3.17. Briqueta sumergida en agua	83
Figura 3.18. Máquina de desgaste de los Ángeles para el método del cántabro.....	100
Figura 3.19. Ensayo de permeabilidad.....	104