

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**“DISEÑO Y EFECTO EN LA RESISTENCIA AL DAÑO POR
HUMEDAD EN SUELOS ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN
ASFÁLTICA”**

Por:

SERRANO DIEGO ALFONSO

Semestre II-2023

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

“Primero que nada le dedico este trabajo Dios a quien le debo todo por nunca dejarme solo por la sabiduría y fortaleza para finalizar el presente trabajo de investigación”.

“A mis padres por el apoyo y la confianza, en especial a mi madre Ninfa Romero Valdivieso por su amor, trabajo y sacrificio en todos esos años que estuve con ella, por su ayuda y constante cooperación he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy”.

A toda mi familia por el apoyo y cariño incondicional que me brindan que en momentos de flaqueza me impulsaron a seguir adelante y a ser un hombre de bien para la sociedad.

DIEGO ALFONSO SERRANO

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

	Página
1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática	2
1.2.1. Problema.....	2
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis.....	5
1.6. Operacionalización de variables.....	5
1.6.1. Variable independiente	5
1.6.2. Variable dependiente	5
1.7. Identificación del tipo de investigación.....	6
1.8. Unidades de estudio y decisión muestral	6
1.8.1. Unidad de estudio	6
1.8.2. Población.....	6
1.8.3. Muestra.....	6
1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo	6
1.9. Métodos y técnicas empleadas	6
1.9.1. Métodos	6
1.9.2. Técnicas.....	7
1.10. Procesamiento de la información	8
1.11. Alcance	8

CAPÍTULO II
ESTABILIZACION DE SUELOS CON EMULSIONASFÁLTICA

	Página
2.1. Bases estabilizadas con emulsión asfáltica (CSS1).....	10
2.2. Estabilización de suelos.....	10
2.2.1. Estabilización física.....	11
2.2.2. Estabilización química	11
2.2.3. Estabilización mecánica	12
2.3. Suelo.....	12
2.3.1. Composición de los suelos	12
2.3.2. Clasificación de suelos	13
2.3.3. Materiales pétreos utilizados en el diseño.....	14
2.3.4. Propiedades de los agregados pétreos	16
2.4. Emulsión asfáltica	17
2.4.1 Historia de las emulsiones asfálticas	18
2.5. Componentes de las emulsiones asfálticas	19
2.5.1. Asfalto	20
2.5.2. Agua	21
2.5.3. Los emulsificantes	21
2.6. Clasificación de las emulsiones asfálticas.....	22
2.6.1 Emulsiones aniónicas	22
2.6.2. Emulsiones catiónicas	22
2.7. Tipos de emulsión	23
2.7.1. Emulsiones de rotura rápida (RS) y (QS).....	23
2.7.2 Emulsiones de rotura media (MS).....	23
2.7.3. Emulsiones de rotura lenta (SS)	23
2.8. Rompimiento y curado de las emulsiones asfálticas	24
2.8.1. Rompimiento	24
2.8.2. Curado	26
2.9. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas	26
2.10. Ventajas de las emulsiones asfálticas	27
2.11. Usos y aplicaciones de las emulsiones asfálticas	28

2.12. Elaboración de emulsión	28
2.12.1. Equipo básico para la elaboración de la emulsión.....	29
2.12.2. Proceso de emulsificación	30
2.13. Métodos de diseño de mezclas asfálticas en frío.....	31
2.13.1. Caracterización de agregados	33
2.13.1.1. Granulometría.....	33
2.13.1.2. Límites de atterberg.....	34
2.13.1.2.1. Límite líquido (ASTM D-4318, AASHTO T-89)	35
2.13.1.2.2. Límite plástico (ASTM D-4318, AASHTO T-90).....	35
2.13.1.3. Ensayo de Compactación (Proctor Modificado AASHTO T-180)	35
2.13.1.4. Ensayo de CBR (ASTM D-1883, AASHTO-193).....	36
2.13.1.5. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D-2419).....	37
2.13.1.6. Peso específico del agregado grueso (ASTM D-127, AASHTO-T85)	38
2.13.1.7. Peso específico del agregado fino (ASTM D-128, AASHTO T-84)	38
2.13.1.8. Desgaste de los Ángeles (ASTM C-131, AASHTO T-96)	39
2.13.2. Caracterización de emulsión asfáltica (CSS1)	39
2.13.2.1 Ensayo de residuo por destilación (ASTM-D6997, NBR-14376).....	39
2.13.2.2. Ensayo de sedimentación (ASTM D-244, AASHTO T59-97)	41
2.13.2.3. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113, AASHTO T51-00)	41
2.13.2.4. Ensayo de viscosidad S.F. (ASTM D-244, AASHTO T59- 97)	42
2.13.2.5. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36, NBR-6560).....	43
2.13.2.6. Ensayo de peso específico del asfalto residual (ASTM D244-09).....	43
2.13.2.7. Ensayo de penetración (ASTM D-5, NBR-6576)	44
2.13.3. Preparación de especímenes de ensayo	45
2.13.4. Contenido total de fluidos	46
2.13.5. Mezclado y compactación de especímenes de ensayo	47
2.13.6. Curado de especímenes de ensayo	48
2.13.6. Evaporación del agua	48
2.13.7. Análisis de densidad y vacíos.....	48
2.13.8. Determinación estabilidad y fluencia Marshall	49
2.14. Daño por humedad	49
2.14.1. Fuentes de humedad	50

2.14.2. Principales deterioros asociados al daño por humedad	51
2.14.3. La oxidación del ligante asfáltico.....	51

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLAS PARA MATERIALES ESTABILIZADOS CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

	Página
3.1. Diseño de mezclas asfálticas en frío (CSS1).....	52
3.2. Ubicación de suelo a ser estabilizado con emulsión asfáltica (CSS1)	52
3.3. Caracterización de suelo.....	53
3.3.1. Análisis granulométrico (ASTM D-422, AASHTO T-88).....	53
3.3.2. Límites de atterberg.....	57
3.3.2.1. Límite líquido (ASTM D-4318, AASHTO T-89)	57
3.3.2.2. Límite plástico (ASTM D-4318, AASHTO T-90)	61
3.3.2.4. Índice de plasticidad (IP).....	63
3.3.3. Ensayos de compactación (Proctor modificado AASHTO T-180)	63
3.3.4. Ensayo de CBR (ASTM D-1883, AASHTO-193).....	65
3.3.5. Método para determinar el equivalente de arena (ASTM D-2419).....	68
3.3.6. Peso específico del agregado grueso (ASTM D-127, AASHTO T-85)	70
3.3.7. Peso específico del agregado fino (ASTM D-128, AASHTO T-84)	72
3.3.8. Desgaste de los Ángeles (ASTM C-131, AASHTO T-96)	73
3.4. Caracterización de la emulsión asfáltica	75
3.4.1. Ensayo de residuo por destilación (ASTM D-6997, NBR-14376).....	75
3.4.2. Ensayo de sedimentación (ASTM D-244, AASHTO T59-97)	76
3.4.3. Ensayo de ductilidad (ASTM D-113, AASHTO T51-00)	77
3.4.4. Ensayo de viscosidad Saybolt-Furol (ASTM D-244, AASHTO T59- 97)	78
3.4.5. Ensayo de punto de ablandamiento (ASTM D-36, NBR-6560).....	79
3.4.6. Ensayo de peso específico de residuo asfáltico (ASTM D244-09)	81
3.4.7. Ensayo de penetración (ASTM D-5, NBR-6576)	82
3.5. Resultados de los ensayos de caracterización de los materiales.....	83
3.5.1. Resultados de los ensayos realizados a los agregados pétreos	83
3.5.2. Resultados de los ensayos realizados a la emulsión asfáltica (CSS1).....	83

3.6. Diseño de mezcla asfáltica en frío para emulsión asfáltica 60-40 (CSS1).....	84
3.6.1. Objetivo del método	84
3.7. Procedimientos	84
3.7.1. Contenido óptimo de agua para la mezcla.....	84
3.8. Dosificación de la mezcla para agregado pétreo	85
3.8.1. Porcentajes para mezcla según granulometría.....	86
3.9. Dosificación de la mezcla con emulsión asfáltica 60/40 (CSS1)	87
3.10. Procedimiento para la construcción de briquetas	87
3.10.1. Cantidad de material pétreo para cada briqueta	87
3.10.2. Mezcla de agregados con emulsión asfáltica.....	88
3.10.3. Compactación de la muestra.....	89
3.10.4. Curado de especímenes de ensayo	90
3.10.5. Determinación de la altura y densidad	91
3.10.5.1. Altura de briquetas	91
3.10.5.2. Densidad de los especímenes	91
3.10.6. Estabilidad y fluencia de briquetas secas y saturadas	93
3.10.6.1. Estabilidad seca y saturada.....	94
3.10.6.2. Flujo.....	95
3.11. Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío.....	96
3.12. Porcentaje óptimo de residuo asfáltico.....	99
3.13. Elaboración de briquetas Marshall con contenido óptimo de R. A.	99
3.13.1. Contenido óptimo de agua para la mezcla.....	99
3.13.2. Dosificación de la mezcla de emulsión asfáltica 60/40 (CSS1).....	100
3.14. Ensayo Marshall para mezclas asfálticas en frío (CSS1).....	100
3.15. Daño por humedad en suelos estabilizados con emulsión asfáltica	102
3.16. Elaboración de briquetas para diferentes tiempos de saturación.....	102
3.16.1. Contenido óptimo de agua para la mezcla.....	102
3.16.2. Dosificación de la mezcla de emulsión asfáltica 60/40 (CSS1).....	102
3.17. Marshall para daño por humedad en suelos estabilizados con (CSS1)	103

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

	Página
4.1 Análisis e interpretación de resultados	106
4.2. Resultados de laboratorio obtenidos.....	106
4.2.1. Análisis granulométrico	106
4.2.2. Análisis de los resultados a los agregados pétreos	108
4.2.3. Análisis de resultados de la emulsión asfáltica (CSS1)	109
4.3. Análisis de los resultados obtenidos mediante el ensayo Marshall	109
4.3.1. Análisis de la estabilidad seca y húmeda vs asfalto residual.....	109
4.3.2. Análisis vacíos totales máximos vs asfalto residual.....	110
4.3.3. Análisis de densidad vs. asfalto residual	112
4.3.4. Análisis de la pérdida de estabilidad (%) vs asfalto residual	113
4.3.5. Análisis de flujo de briqueta seca y húmeda vs asfalto residual	114
4.3.6. Análisis de daño por húmeda vs. tiempo.....	115
4.3.7. Análisis estadístico.....	117
4.3.7.1. Planteamiento de prueba de hipótesis	117
4.3.7.2 Estadística inferencial.....	118
4.3.7.2.1. Nivel de confianza al 90 % Z-student	118

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1. Conclusiones	121
5.2. Recomendaciones	122

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADO PETREO
ANEXO B	CARACTERIZACIÓN DE EMULSIÓN ASFÁLTICA
ANEXO C	MEZCLA ASFÁLTICA EN FRÍO

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Vías intransitables	3
Figura 2.1. Composición del suelo	12
Figura 2.2. Ubicación de la planta de agregados pétreos	15
Figura 2.3. Banco de agregados pétreos	15
Figura 2.4. Banco de agregados pétreos	15
Figura 2.5. Diagrama esquemático de una emulsión.....	17
Figura 2.6. Representación de una emulsión aniónica y catiónica.....	22
Figura 2.7. Ruptura de una emulsión asfáltica sobre un material pétreo	25
Figura 2.8. Elaboración de emulsión	28
Figura 2.9. Diagrama de una planta de elaboración de emulsión asfáltica.	29
Figura 2.10. Tamaños y distribución de las partículas de en una emulsión	31
Figura 2.11. Bandas granulométricas	33
Figura 2.12. Contenido de fluidos totales.....	46
Figura 2.13. Fuentes de humedad en un pavimento asfáltico.....	50
Figura 3.1. Ubicación satelital de banco de áridos.....	52
Figura 3.2. Proceso de tamizado	53
Figura 3.3. Aparato de casa grande para límite líquido.....	58
Figura 3.4. Suelo saturado para límite líquido	59
Figura 3.5. Suelo saturado para límite líquido	60
Figura 3.7. Enrollado de suelo para límite plástico.....	61
Figura 3.8.Límite plástico	62
Figura 3.9. Compactando muestra	64
Figura 3.10. Realización del ensayo CBR e inmersión de las muestras.....	66
Figura 3.11. Lectura con extensómetro y ensayo de penetración.....	66
Figura 3.12. Ensayo de penetración y extracción de muestra	66
Figura 3.13. Ensayo de equivalente de arena	69
Figura 3.14. Ensayo de equivalente de arena	69
Figura 3.15. Muestra saturada y secado superficial	70
Figura 3.16. Peso de la muestra (SSS) y muestra sumergida	71
Figura 3.17. Muestra seca y peso de muestra seca	71

Figura 3.18. Suelo saturado y muestra superficialmente seca.....	72
Figura 3.19. Matraz+muestra+agua.....	72
Figura 3.20. Ensayo de abrasión de los Ángeles	73
Figura 3.21. Muestra después de ser ensayada.....	74
Figura 3.22. Proceso de destilado.....	75
Figura 3.23. Reposo de emulsión de 5 días	76
Figura 3.24. Realización del ensayo de ductilidad.....	77
Figura 3.25. Realización de ensayo de viscosidad	79
Figura 3.26. Temperatura a 4°C y residuo en anillos	80
Figura 3.27. Calentado de muestra y conclusión de ensayo.....	80
Figura 3.28. Ensayo de peso específico	81
Figura 3.29. Realización de ensayo de penetración	82
Figura 3.30. Proceso de tamizado para obtener las fracciones deseadas.....	86
Figura 3.31. Cantidades de material para cada briquetas	87
Figura 3.32. Mezcla de materiales a temperatura ambiente	88
Figura 3.33. Mezcla de materiales a temperatura ambiente	88
Figura 3.34. Colocado y compactado de las muestras	89
Figura 3.35. Muestra compactada y desmoldada	90
Figura 3.36. Curado de especímenes	90
Figura 3.37. Medición de briquetas	91
Figura 3.38. Peso seco del espécimen	91
Figura 3.39. Briquetas sumergidas a 25 °C	92
Figura 3.40. Peso sumergido de briquetas.....	92
Figura 3.41. Briquetas a 25°C antes de la prueba.....	93
Figura 3.42. Estabilidad y fluencia de los especímenes	94
Figura 3.43. Estabilidad y fluencia de los especímenes	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Conceptualización y operacionalización de variables.....	5
Tabla 2.1. Clasificación por el tamaño de las partículas.....	13
Tabla 2.2. Clasificación de las emulsiones	24
Tabla 2.3. Requisitos de calidad para emulsiones asfálticas (CSS1)	26
Tabla 2.4. Usos de las emulsiones asfálticas.....	28
Tabla 2.5. Criterios de diseño de mezclas asfálticas método Marshall.....	33
Tabla 2.6. Especificaciones para granulometría.....	34
Tabla 3.1. Especificaciones para la granulometría.....	54
Tabla 3.2. Especificaciones para la granulometría.....	55
Tabla 3.3. Especificaciones para la granulometría	56
Tabla 3.4. Límite líquido.....	58
Tabla 3.5. Límite líquido.....	59
Tabla 3.6. Límite líquido.....	60
Tabla 3.7. Límite plástico.....	61
Tabla 3.8. Límite plástico.....	62
Tabla 3.9. Índice de plasticidad.....	63
Tabla 3.10. Resultado de ensayo de compactación	64
Tabla 3.11. Resultado del ensayo de CBR	67
Tabla 3.12. Resultado de ensayo	69
Tabla 3.13. Resultados de peso específico de grava y gravilla	71
Tabla 3.14. Resultados del ensayo de peso específico del agregado fino	73
Tabla 3.15. De pesos de agregado y número de esferas según la gradación	74
Tabla 3.16. Resultado de ensayo de desgaste de los ángeles	74
Tabla 3.17. Resultado de ensayo de destilación.....	75
Tabla 3.18. Resultado de ensayo	76
Tabla 3.19. Resultado de ensayo de ductilidad	78
Tabla 3.20. Resultado de ensayo de viscosidad	79
Tabla 3.21. Resultado de ensayo de punto de ablandamiento	80
Tabla 3.22. Resultados de peso específico de asfalto residual.....	81
Tabla 3.23. Resultado de ensayo de penetración.....	82

Tabla 3.24. Resultados de los ensayos de los agregados pétreos	83
Tabla 3.25. Resultados de los ensayos de emulsión asfáltica (CSS1)	83
Tabla 3.26. Contenido óptimo de fluidos totales.....	85
Tabla 3.27. Fracciones para conformar capa base según granulometría	86
Tabla 3.28. Cantidad de agregados y emulsión asfáltica.....	87
Tabla 3.29. Resultados de ensayo de estabilidad	95
Tabla 3.30. Resultados del ensayo de flujo	95
Tabla 3.31. Pesos específicos de todos los materiales	96
Tabla 3.32. Planilla de ensayo Marshall de emulsión asfáltica (CSS1)	97
Tabla. 3.33. Porcentaje óptimo de acuerdo a Gráficas	99
Tabla 3.34. Contenido óptimo de fluidos totales.....	99
Tabla 3.35. Cantidad de agregados y emulsión asfáltica.....	100
Tabla 3.36. Pesos específicos de todos los materiales	100
Tabla 3.37. Planilla con contenido óptimo de emulsión asfáltica (CSS1)	101
Tabla 3.38. Contenido óptimo de fluidos totales.....	102
Tabla 3.39. Cantidad de agregados y emulsión asfáltica.....	102
Tabla 3.40. Pesos específicos de todos los materiales	103
Tabla 3.41. Planilla Marshall daño por humedad	104
Tabla 4.1. Rangos requeridos de granulometría.....	107
Tabla 4.2. Rangos y resultados de los agregados pétreos.....	108
Tabla 4.3. Resultados de los ensayos de emulsión asfáltica (CSS1)	109
Tabla 4.4. Análisis resultados de estabilidad seca y saturada	110
Tabla 4.5. Análisis de resultados de porcentaje de vacíos de mezcla	111
Tabla 4.6. Análisis de resultados de densidad.....	112
Tabla 4.7. Análisis de resultados de la pérdida de estabilidad.....	113
Tabla 4.8. Análisis del ensayo de flujo	114
Tabla 4.9. Análisis del ensayo de flujo	116

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página
Gráfica 3.1. Bandas granulométricas	54
Gráfica 3.2. Bandas granulométricas	55
Gráfica 3.3. Bandas granulométricas	556
Gráfico 3.4. Contenido de humedad a 25 golpes	58
Gráfico 3.5. Contenido de humedad a 25 golpes	59
Gráfico 3.6. Contenido de humedad a 25 golpes	60
Gráfica 3.7. Curva de compactación	64
Gráfica 3.8. Curva de penetracion.....	67
Gráfica 3.9. Peso unitario vs CBR	67
Gráficas 3.10. De ensayo Marshall con (CSS1).....	98
Gráficas 3.11. De ensayo Marshall daño por humedad	105
Gráfica 4.1. Bandas granulométricas	107
Gráfica 4.2. Estabilidad seca y estabilidad saturada vs R.A.	110
Gráfica 4.3. Porcentaje de vacíos vs residuo asfáltico	111
Gráfica 4.4. Densidad real vs residuo asfáltico	112
Gráfica 4.5. Cambio de estabilidad vs residuo asfáltico	114
Gráfico 4.6. Fluencia vs residuo asfáltico	115
Gráfico 4.7. Estabilidad saturada vs tiempo	116
Gráfico 4.8. Pérdida de estabilidad vs tiempo	116
Gráfica 4.9. Intervalos de confianza.....	120