

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD Y RIGIDEZ DEL ASFALTO DEBIDO A LA
OXIDACIÓN**

Por:

URZAGASTE ACUÑA PABLO GERMAN

SEMESTRE I - 2022

TARIJA-BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD Y RIGIDEZ DEL ASFALTO DEBIDO A LA
OXIDACIÓN**

Por:

URZAGASTE ACUÑA PABLO GERMAN

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

SEMESTRE I - 2022

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. José Aurelio Navia Ojeda

DECANO a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGIA

.....
M. Sc. Ing. Marlene Beatriz Simons Sanchez

VICEDECANA a.i.
FACULTAD DE CIENCIAS
Y TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Trinidad Cinthia Baldiviezo Montalvo

.....
Ing. Wilson Roger Yucra Rivera

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

Dedicatoria

A MIS PADRES: Lucia Acuña Sanguino y Edgar Chavarría Acosta. Por haberme inculcado buenos valores, por guiarme en el camino de la vida, demostrándome siempre su amor, cariño y apoyo incondicional en todo momento, convirtiéndose ellos el motor fundamental en mi vida.

Agradecimiento

Quiero expresar mi gratitud a Dios, por que, gracias a él, todo lo que te propones en la vida con amor es posible. Y agradecerle también de corazón a toda mi familia que nunca me dejaron solo en esta etapa, a mi pareja y mis amigos porque estuvieron conmigo en las buenas y en las malas, muchísimas gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL
CAPÍTULO I
GENERALIDADES

	Página
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Planteamiento del problema	3
1.3.1. Situación problemica.....	3
1.3.2. Problema.....	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Hipótesis	4
1.6. Definición de variables independiente y dependiente.....	4
1.6.1. Variable independiente.....	4
1.6.2. Variable dependiente.....	4
1.6.3. Cuadro de operalización de variables.....	5
1.7. Alcance de la investigación	6

CAPÍTULO II
EL PAVIMENTO Y LA OXIDACIÓN

	Página
2.1. Pavimento	7
2.1.1. Tipos de pavimentos	7
2.1.1.1. Pavimentos flexibles.....	7
2.1.1.2. Pavimentos rígidos	8
2.1.2. Componentes estructurales de un pavimento	9
2.1.2.1. Capa de desgaste o superficie de rodadura	9
2.1.2.2. Base	10
2.1.2.3. Subbase.....	10
2.2. Mezclas asfálticas	10
2.2.1. Clasificación de las mezclas asfálticas	11
2.2.2. Mezcla asfáltica en caliente	13

2.2.2.1. Características y comportamiento de la mezcla asfáltica	13
2.2.2.1.1 Densidad	13
2.2.2.1.2. Vacíos de aire	14
2.2.2.1.3. Vacíos en el agregado mineral	15
2.2.2.1.4. Contenido de asfalto	15
2.2.2.2. Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.....	17
2.2.2.2.1. Estabilidad	17
2.2.2.2.2. Durabilidad	19
2.2.2.2.3. Impermeabilidad.....	20
2.2.2.2.4. Trabajabilidad	21
2.2.2.2.5. Flexibilidad	22
2.2.2.2.6. Resistencia a la fatiga	22
2.2.2.2.7. Resistencia al deslizamiento	23
2.2.3. Diseño de mezclas asfálticas	24
2.2.3.1. Contenido mínimo de cemento asfáltico	24
2.2.3.2. Contenido óptimo de cemento asfáltico	26
2.2.3.2.1. Metodología Marshall	26
2.2.3.1.2. Densidades específicas bulk y máxima teórica.....	28
2.2.3.1.3. La estabilidad y el flujo	29
2.2.3.1.4. Análisis de densidad.....	29
2.2.3.1.5. Composición volumétrica de la mezcla.....	29
2.2.3.1.6. Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.....	30
2.3. El asfalto.....	31
2.3.1. Composición química.....	32
2.3.2. Características reológicas del asfalto	34
2.3.3. Tipos de asfalto	34
2.3.4. Ensayos estándar para asfaltos.....	36
2.4. Agregados.....	39
2.4.1. Clasificación de los agregados.....	40
2.4.2. Propiedades de los agregados y su evaluación	42
2.5. La oxidación y el envejecimiento	49
2.5.1. La oxidación	49

2.5.1.1. La oxidación del asfalto por etapas	49
2.5.1.1.1. Etapa de producción de mezclas asfálticas	50
2.5.1.1.2. Etapa de construcción	50
2.5.1.1.3. Etapa de servicio	51
2.5.2. El envejecimiento del asfalto	52
2.5.2.1. Fases del envejecimiento	52
2.5.2.2. Envejecimiento a corto plazo	53
2.5.2.3. Envejecimiento a largo plazo	53
2.5.2.4. Envejecimiento físico y envejecimiento químico	54
2.5.2.4.1. Envejecimiento físico	54
2.5.2.4.2. Envejecimiento químico	55
2.5.2.5. Variables que intervienen en el proceso de envejecimiento	55
2.5.2.5.1. Variables intrínsecas.....	55
2.5.2.5.2. Variables extrínsecas	57
2.6. La fragilidad y la rigidez del asfalto	59

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD Y RIGIDEZ DEL ASFALTO DEBIDO A LA OXIDACIÓN

	Página
3.1. Selección de materiales	61
3.2. Caracterización de los agregados.....	62
3.2.1. Análisis granulometría (ASTM C 136-01).....	62
3.2.2. Desgaste de los ángeles (ASTM C 131-01).....	75
3.2.3. Equivalente de arena (ASTM D 2419-95).....	78
3.2.4. Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D 5821-01)	79
3.2.5. Gravedad específica y absorción de los agregados gruesos (ASTM C 127-88)....	81
3.2.6. Gravedad específica y absorción de los agregados finos (ASTM C 128-97).....	86
3.2.7. Peso unitario de los agregados (ASTM C 29M-97).....	89
3.2.8. Índice de alargamiento y aplanamiento (ASTM C 143)	91
3.2.9. Resumen y evaluación de la caracterización de los agregados.....	94
3.3. Caracterización del cemento asfáltico.....	96
3.3.1. Ensayo de penetración (ASTM D 5-97).....	96

3.3.2. Peso específico (ASTM D 70-03).....	97
3.3.3. Punto de ignición y de llama (ASTM D 92-02b).....	98
3.3.4. Ensayo de ablandamiento (ASTM D 36-95)	99
3.3.5. Ensayo de ductilidad (ASTM D 113).....	100
3.3.6. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol (ASTM D 88).....	100
3.3.7. Ensayo de película delgada (ASTM D 1754)	101
3.3.8. Evaluación de la caracterización del cemento asfáltico	103
3.4. Gradación granulométrica ASTM D3515	104
3.5. Contenido mínimo de cemento asfáltico	105
3.6. Contenido óptimo de cemento asfáltico método Marshall.....	107
3.6.1. Determinación de la cantidad de material	107
3.6.2. Metodología Marshall	108
3.7. Oxidación de las briquetas.....	123
3.8. Estadística de los resultados de los especímenes oxidados	124
3.8.1. Estadística descriptiva de los resultados	125
3.9. Análisis de resultados.....	132
3.9.1. La rigidez	132
3.9.2. La fragilidad.....	134

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
4.1. Conclusiones.....	137
4.2. Recomendaciones	138

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de granulometría.

Anexo 2 Ensayo de desgaste de los ángeles.

Anexo 3 Ensayo de gravedad específica y absorción.

Anexo 4 Ensayo de peso unitario.

Anexo 5 Ensayo de equivalente de arena.

Anexo 6 Ensayo de partículas fracturadas.

- Anexo 7 Ensayo de partículas alargadas.
- Anexo 8 Ensayo de partículas planas.
- Anexo 9 Ficha técnica del cemento asfáltico.
- Anexo 10 Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.
- Anexo 11 Caracterización del cemento asfáltico.
- Anexo 12 Gradación granulométrica.
- Anexo 13 Diseño Marshall.

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Capas que forman en general un pavimento flexible.....	8
Figura 2. Capas que forman un pavimento rígido	8
Figura 3. Capa de desgaste o superficie de rodadura.....	9
Figura 4. Capa base.....	10
Figura 5. Ilustración del VMA en una probeta de mezcla compactada	15
Figura 6. Ejemplo de gráficas para los resultados Marshall	31
Figura 7. Grafica típica de graduación granulométrica	45
Figura 8. Fases del envejecimiento.....	53
Figura 9. Imagen satelital de la chancadora de charajás	61
Figura 10. Cuarteo del material y tamizado del material	63
Figura 11. Curva granulométrica del primer ensayo de grava	66
Figura 12. Curva granulométrica del segundo ensayo de grava.....	67
Figura 13. Curva granulométrica del tercer ensayo de grava.....	68
Figura 14. Curva granulométrica del primer ensayo de la gravilla	69
Figura 15. Curva granulométrica del segundo ensayo de la gravilla.....	70
Figura 16. Curva granulométrica del tercer ensayo de la gravilla.....	71
Figura 17. Curva granulométrica del primer ensayo de la arena.....	72
Figura 18. Curva granulométrica del segundo ensayo de la arena	73
Figura 19. Curva granulométrica del tercer ensayo de la arena	74
Figura 20. Máquina de desgaste de los ángeles.....	77
Figura 21. Probeta de equivalente de arena y su agitado	78

Figura 22. Inspección visual por tamaños.....	80
Figura 23. Secado superficial y pesado sumergido	82
Figura 24. Secado superficial de la arena	86
Figura 25. Pesado del molde con material	89
Figura 26. Evaluación del alargamiento del material	92
Figura 27. Evaluación del aplanamiento del material.....	93
Figura 28. Medición de la penetración del cemento asfáltico.....	96
Figura 29. Medición de la gravedad específica del cemento asfáltico	97
Figura 30. Equipo de punto de ignición y llama y su medición.....	98
Figura 31. Medición del ablandamiento del cemento asfáltico.....	99
Figura 32. Medición de la ductilidad del cemento asfáltico	100
Figura 33. Ensayo de viscosidad	101
Figura 34. Ensayo de película delgada	102
Figura 35. Curva granulométrica de la graduación	104
Figura 36. Elaboración y rotura de briquetas	118
Figura 37. Porcentaje de vacíos en la muestra asfáltica vs Porcentaje de cemento asfáltico	119
Figura 38. Estabilidad vs Porcentaje de cemento asfáltico	120
Figura 39. Flujo vs Porcentaje de cemento asfáltico	120
Figura 40. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral vs Porcentaje de cemento asfáltico	121
Figura 41. Porcentaje de vacíos llenos de asfalto vs Porcentaje de cemento asfáltico..	121
Figura 42. Densidad de la muestra vs Porcentaje de cemento asfáltico	122
Figura 43. Curva de frecuencia de la estabilidad oxidada a 50°C	128
Figura 44. Curva de frecuencia de la estabilidad oxidada a 60°C	128
Figura 45. Curva de frecuencia de la estabilidad oxidada a 70°C	129
Figura 46. Temperatura vs Estabilidad	132
Figura 47. Comportamiento exponencial de la estabilidad	134
Figura 48. Temperatura vs Flujo	134
Figura 49. Variación de la rigidez y la fragilidad.....	136

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Clasificación de las mezclas bituminosas.....	11
Tabla 2. Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	18
Tabla 3. Causas y efectos de una poca durabilidad	20
Tabla 4. Causas y efectos de la permeabilidad.....	21
Tabla 5. Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad	22
Tabla 6. Casusas y efectos de una mala resistencia a la fatiga.....	23
Tabla 7. Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	24
Tabla 8. Índice asfáltico método área superficial	25
Tabla 9. Índice asfáltico método de distribución granulométrica	26
Tabla 10. Criterios del instituto del asfalto (U.S.A) para el Diseño Marshall	30
Tabla 11. Porcentaje mínimo en el agregado mineral (VMA)	31
Tabla 12. Especificación de asfaltos puros	35
Tabla 13. Tipo de cemento asfáltico por emplear según el tráfico	35
Tabla 14. Composición típica del concreto asfáltico (ASTM D3515)	45
Tabla 15. Coordenadas de la chancadora Charajas	61
Tabla 16. Relación de tamaño máximo nominal y cantidad de material para la granulometría.....	62
Tabla 17. Datos granulométricos de los agregados	63
Tabla 18. Primer ensayo granulométrico de la grava	66
Tabla 19. Segundo ensayo granulométrico de la grava	67
Tabla 20. Tercer ensayo granulométrico de la grava.....	68
Tabla 21. Primer ensayo granulométrico de la gravilla	69
Tabla 22. Segundo ensayo granulométrico de la gravilla	70
Tabla 23. Tercer ensayo granulométrico de la gravilla.....	71
Tabla 24. Primer ensayo granulométrico de la arena.....	72
Tabla 25. Segundo ensayo granulométrico de la arena.....	73
Tabla 26. Tercer ensayo granulométrico de la arena.....	74
Tabla 27. Granulometrías resultantes	75
Tabla 28. Granulometrías para el ensayo de desgaste de los ángeles.....	76
Tabla 29. Carga Abrasiva.....	76

Tabla 30. Resultados de ensayo de equivalente de arena	78
Tabla 31. Cantidad mínima de material para ensayo caras fracturadas	79
Tabla 32. Partículas fracturadas, cuestionables y no fracturadas.	81
Tabla 33. Cantidad mínima del ensayo gravedad específica y absorción.....	82
Tabla 34. Masas de gravedad específica y absorción de la grava y gravilla.....	83
Tabla 35. Gravedad específica y absorción de la grava y gravilla	85
Tabla 36. Masas de gravedad específica y absorción de la arena	86
Tabla 37. Gravedades específicas y absorción de la arena	88
Tabla 38. Peso unitario suelto de los agregados.....	90
Tabla 39. Peso unitario compactado de los agregados	91
Tabla 40. Muestra mínima para el ensayo de índice de alargamiento y aplanamiento ...	92
Tabla 41. Índice de alargamiento del agregado grueso	93
Tabla 42. Índice de aplanamiento del agregado grueso	94
Tabla 43. Resumen de caracterización de los agregados.....	94
Tabla 44. Evaluación de la calidad de los agregados	95
Tabla 45. Penetración del cemento asfáltico	96
Tabla 46. Peso específico del cemento asfáltico	98
Tabla 47. Punto de ignición y de llama del cemento asfáltico	99
Tabla 48. Punto de ablandamiento del cemento asfáltico	99
Tabla 49. Ductilidad del cemento asfáltico.....	100
Tabla 50. Viscosidad Saybolt Furol.....	101
Tabla 51. Pérdida de masa del cemento asfáltico	102
Tabla 52. Penetración del cemento asfáltico oxidado en el horno RTFO	103
Tabla 53. Caracterización y evaluación de la calidad del cemento asfáltico según especificaciones técnicas de calidad de Betunel.....	103
Tabla 54. Graduación granulométrica según ASTM D3515	104
Tabla 55. Cantidad de material para las briquetas.....	108
Tabla 56. Datos iniciales para Marshall.....	109
Tabla 57. Factores de corrección de la estabilidad	117
Tabla 58. Criterios adoptados para la determinación del porcentaje óptimo de C.A	118
Tabla 59. Resultados Marshall	119
Tabla 60. Material requerido para la elaboración de las briquetas	122
Tabla 61. Resultados de la oxidación de las briquetas	123

Tabla 62. Estadística de los datos de oxidación	126
Tabla 63. Frecuencia de la estabilidad oxidada a 50°C	127
Tabla 64. Frecuencia de la estabilidad oxidada a 60°C	128
Tabla 65. Frecuencia de la estabilidad oxidada a 70°C	129
Tabla 66. Rangos de depuración de datos.....	130
Tabla 67. Depuración de datos y resultados finales estadísticos.....	131
Tabla 68. Resultados de estabilidad y flujo Marshall.....	132