

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE
COMUNICACIÓN**



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UNA CARPETA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL Y UN DOBLE TRATAMIENTO TRIPLE CON
EMULSIÓN ASFÁLTICA.**

Por:

Ortega Ayllón Sergio Daniel

Proyecto de investigación presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado
académico en licenciatura de ingeniería civil

Semestre I - 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 COMPARATIVO ENTRE UNA CARPETA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL Y UN DOBLE TRATAMIENTO TRIPLE CON
EMULSIÓN ASFÁLTICA.**

Por:

Ortega Ayllón Sergio Daniel

Proyecto de investigación presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico en licenciatura de
ingeniería civil

Semestre I - 2022

Tarija – Bolivia

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mi familia que nunca dejó de apoyarme y haber confiado en mí.

Dedicatoria

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página.
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3.1. Situación problemática.....	3
1.3.2. Problema	3
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS.....	4
1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES	4
1.6.1. Variables independientes y variables dependientes	4
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO	7
1.7.1. Componentes.....	7
1.7.2. Método y técnicas empleadas.....	7
1.7.3. Procedimiento de aplicación.	8
1.7.3.1. Sub base mejorada y capa base	8
1.7.3.2. Metodología para realizar pavimentos de concreto asfaltico in situ.	9
1.7.3.3. Metodología para realizar el doble tratamiento superficial triple in situ.....	10
1.8. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	12

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

	Página.
2.1. PAVIMENTOS	13
2.1.1. Pavimento flexible	14
2.1.1.1. Descripción de las capas de un pavimento flexible.....	15
2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS	17
2.2.1. Consideraciones generales	17
2.2.1.1. Ensayos de diseño preliminar.....	17
2.2.1.2. Ensayos de aceptación de materiales	18
2.2.1.3. Ensayos de producción de la mezcla.....	19
2.2.1.4. Ensayos de rutina para control de la construcción.	19
2.3. TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS POR SU MÉTODO DE	
ELABORACIÓN.....	19
2.3.1. Mezclas asfálticas en frío.....	20
2.3.1.1. Tratamientos asfálticos superficiales	22
2.3.1.1.1. Tipos de tratamientos superficiales.....	22
2.3.1.1.2. Usos de los tratamientos superficiales	23
2.3.2. Materiales.....	24
2.3.2.1. Asfalto.....	24
2.3.2.1.1. Obtención y tipos	25
2.3.2.1.2. Asfaltos derivados del petróleo.....	26
2.3.2.1.3. Tipos de Asfalto.....	27
2.3.2.1.4. Función del asfalto en los pavimentos	29
2.3.2.2. Agregado.....	31

2.3.3. Dosificación.....	35
2.3.4. Métodos de diseño.....	37
2.3.4.1. Método práctico.....	42
2.3.4.2. Métodos empíricos de cálculo.....	42
2.3.4.3. Método de Mc Leod.....	43
2.3.2. Mezclas asfálticas en caliente.....	46
2.3.2.3. Método Marshall de diseño de mezclas.....	51
2.3.2.3.1. Pruebas a las mezclas asfálticas compactadas.....	51
2.3.2.3.1.1. Determinación de la gravedad específica.....	52
2.3.2.3.1.2. Prueba de estabilidad y flujo.....	52
2.3.2.3.1.3. Análisis de densidad y vacíos.....	52
2.3.2.3.2. Parámetros Volumétricos.....	53
2.4. DISEÑO DE CARPETA ASFÁLTICA PARA UN TIPO DE TRÁFICO.....	62

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRACTICA

	Página.
3.1. PROCEDENCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS.....	63
3.1.1. Muestreo.....	63
3.2. TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PÉTREOS.....	64
3.2.1. Ensayos de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en caliente.....	65
3.2.1.1. Análisis granulométrico.....	65
3.2.1.3. Peso específico.....	68
3.2.1.3.1. Peso específico del agregado retiene N°4.....	68
3.2.1.3.2. Peso específico del agregado pasa N° 4 – retiene N°200.....	68
3.2.1.3.3. Peso específico del agregado pasa N°200.....	69

3.2.1.4. Equivalente de arena	71
3.2.1.5. Resistencia a la desintegración por abrasión mecánica.....	71
3.2.1.6. Ensayo de resistencia a los sulfatos	72
3.2.1.7. Límite líquido y límite plástico del filler.	73
3.3. PROCEDENCIA CEMENTO ASFÁLTICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA.	
EN CALIENTE.....	75
3.4. TRABAJOS DE LABORATORIO PARA EL CEMENTO ASFÁLTICO.....	74
3.4.1. Penetración.....	75
3.4.2. Viscosidad Saybolt Furol	77
3.4.3. Ensayo de la película delgada en horno (TFP).	77
3.4.4. Ductilidad.....	78
3.4.5. Peso específico.....	79
3.4.6. Punto de ablandamiento.	80
3.4.7. Ensayo del porcentaje de agua en los materiales bituminosos.....	81
3.4.8. Ensayo de la adherencia del agregado – asfalto.....	82
3.5. TRABAJO DE LABORATORIO PARA AGREGADOS PÉTREOS.	
TRATAMIENTO BITUMINOSO SUPERFICIAL.....	83
3.5.1. Ensayos de los agregados pétreos para tratamiento bituminoso superficial	83
3.5.1.1. Análisis granulométrico.	83
3.5.1.2. Peso específico.....	85
3.5.1.2.1. Peso específico del agregado tipo “B”	85
3.5.1.3. Pesos unitarios suelto y compactado.....	86
3.5.1.3.1. Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “B”	87
3.5.1.3.2. Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “D”	87
3.5.1.3.3. Peso unitario suelto y compactado del agregado tipo “E”	87

3.5.1.4. Resistencia a la desintegración por abrasión mecánica.....	88
3.5.1.5. Ensayo de resistencia a los sulfatos	89
3.5.1.6. Determinación del índice laminar.	90
3.5.1.6.1. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B”	90
3.5.1.6.2. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D”	90
3.5.1.6.1. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “E”	91
3.5.1.7. Determinación del índice de alargamiento.....	91
3.5.1.7.1. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “B”	91
3.5.1.7.2. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “D”	92
3.5.1.7.3. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “E”	92
3.5.1.8. Determinación de caras fracturadas	92
3.4.1.8.1. Evaluación de una cara fracturada	93
3.4.1.8.2. Evaluación de dos caras fracturadas.....	93
3.5. Procedencia de la emulsión asfáltica para tratamientos bituminosos.	
superficiales.....	95
3.6. TRABAJOS DE LABORATORIO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	94
3.7. ENSAYOS DE LABORATORIO DE EMULSIÓN ASFÁLTICA	95
3.7.1. Ensayo peso específico de emulsión asfáltica.....	95
3.7.2. Ensayo Viscosidad Saybolt Furol	96
3.7.3. Ensayo residuo de emulsión asfáltica por evaporación.....	97
3.7.4. Ensayo de la adherencia del agregado – asfalto.....	97
3.7.5. Ensayo de Punto de ablandamiento.....	98
3.7.6. Ensayo de penetración del residuo.....	99

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

	Página.
4.1. DISEÑO DE TRATAMIENTO SUPERFICIAL TRIPLE MÉTODO DE.....	
MC LEOD.....	102
4.1.1. Aplicación en área de investigación.....	102
4.2. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE POR EL MÉTODO.....	
MARSHALL.....	110
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
4.3.1. Análisis técnico.	110
4.3.2. Análisis económico.	113

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página.
5.1. CONCLUSIONES	114
5.2. RECOMENDACIONES	116
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 2.1. Distribución de la carga de la rueda a través de la estructura del..... pavimento.....	14
Figura 2.2. Capas de un pavimento flexible.....	14
Figura 2.3. Esquema de fabricación de los productos asfálticos.....	26
Figura 2.4. Las partículas planas son recubiertas cuando se usa suficiente asfalto para sujetar las partículas cúbicas	36
Figura 2.5. Partículas de agregado.....	36
Figura 2.6. Adherencia entre partículas	36
Figura 2.7. Partículas del Agregado tendidas por el espaciador, apoyadas en..... posición desarreglada.....	36
Figura 2.8. Partículas después de haber sido asentadas por el tránsito, apoyadas más..... sobre sus caras planas.....	37
Figura 2.9. Carta para determinar el promedio de la dimensión menor del agregado.	40
Figura 2.10. Relación de Volúmenes en el agregado grueso.	50
Figura 2.11. Ilustración de los parámetros de diseño volumétrico.....	54
Figura 2.12. Componente del diagrama de compactación de una HMA.....	55
Figura 3.13. Ensayo normal de penetración.....	76

ÍNDICE DE TABLA

	Página.
Tabla 2.1. Guía para uso de productos asfálticos en mezclas en frío.....	21
Tabla 2.2. Factores de tráfico para tratamientos superficiales	41
Tabla 2.3. Debida a descarga rápida y manipuleo del material	44
Tabla 2.4. Factores de tráfico.....	45
Tabla 2.5. Factores por corrección de textura	46
Tabla 2.6. Tipos de cementos asfálticos usados en mezclas en caliente	48
Tabla 2.7: Espesores mínimos de capas en carreteras recomendados por AASHTO	62
Tabla 3.8. Caracterización de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en caliente ...	65
Tabla 3.9. Granulometría agregados pétreo 3/4”	66
Tabla 3.10. Granulometría agregados pétreo 3/8”	66
Tabla 3.11. Granulometría agregados pétreo arena triturada más filler.....	67
Tabla 3.12. Pesos específicos agregados retiene N°4.	68
Tabla 3.13. Pesos específicos agregados pasa N°4 – retiene N°200.....	69
Tabla 3.14. Peso específico del filler.	69
Tabla 3.15. Equivalente de arena	71
Tabla 3.16. Desgaste por abrasión o desgaste de “Los Ángeles”	71
Tabla 3.17. Desgaste por sulfatos	73
Tabla 3.18. Límites de Atterberg.	73
Tabla 3.19. Ensayos del cemento asfáltico	75
Tabla 3.20. Ensayo de penetración.	76
Tabla 3.21. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol	77
Tabla 3.22. Ensayo de la película delgada	78
Tabla 3.23. Ensayo de ductilidad.	79

Tabla 3.24. Ensayo de peso específico.....	80
Tabla 3.25. Ensayo de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola.....	81
Tabla 3.26. Ensayo del porcentaje de agua en los materiales bituminosos.....	81
Tabla 3.27. Adherencia agregado - Asfalto.	82
Tabla 3.28. Caracterización de los agregados pétreos para mezcla asfáltica en frío.....	83
Tabla 3.29. Granulometría agregados pétreo tipo “B”.....	84
Tabla 3.30. Granulometría agregados pétreo tipo “D”	84
Tabla 3.31. Granulometría agregados pétreo tipo “E”	85
Tabla 3.32. Peso específico agregado tipo “B y D”	85
Tabla 3.33. Peso suelto y compactado de agregado tipo “B”	87
Tabla 3.34. Peso suelto y compactado de agregado tipo “D”	87
Tabla 3.35. Peso suelto y compactado de agregado tipo “E”	87
Tabla 3.36. Desgaste por abrasión o desgaste de “Los Ángeles”	88
Tabla 3.37. Desgaste por sulfatos	90
Tabla 3.38. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “B”.....	90
Tabla 3.39. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “D”	90
Tabla 3.40. Índice de laminaridad agregado pétreo tipo “E”	91
Tabla 3.41. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “B”	91
Tabla 3.42. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “D”.....	92
Tabla 3.43. Índice de alargamiento agregado pétreo tipo “E”	92
Tabla 3.44. Ensayo de una cara fracturada	93
Tabla 3.45. Ensayo de dos caras fracturadas.....	93
Tabla 3.46. Ensayos de la emulsión asfáltica.....	95
Tabla 3.47. Peso específico de emulsión asfáltica	95
Tabla 3.48. Viscosidad Saybolt Furol de emulsión asfáltica	96

Tabla 3.49. Residuo de emulsión asfáltica por evaporación.....	97
Tabla 3.50. Adherencia agregado - asfalto.	97
Tabla 3.51. Ensayo de punto de ablandamiento por el método de anillo y bola.....	99
Tabla 3.52. Ensayo de penetración.	99
Tabla 4.53. Tasa de emulsión y agregados pétreos a utilizar.....	102
Tabla 4.54. Parámetros del diseño del tratamiento superficial	103
Tabla 4.55. Temperatura vs viscosidad Saybolt Furol.....	104
Tabla 4.56. Faja de gradación del agregado para el diseño de carpeta asfáltica.....	105
Tabla 4.57. Especificaciones para la gradación de la mezcla	106
Tabla 4.58. Composición granulométrica de los agregados.....	106
Tabla 4.59. Dosificación de los agregados.....	107
Tabla 4.60. Ponderación de peso específico bulk de la mezcla	108
Tabla 4.61. Ponderación de peso específico aparente de la mezcla.....	108
Tabla 4.62. Parámetros del diseño mezcla asfáltica y Marshall.....	109
Tabla 4.63. Resistencia remanente Marshall.....	110
Tabla 4.64. Comparación de porcentajes de agregados en los diseños asfálticos.....	111
Tabla 4.65. Mezcla asfáltica en caliente	112
Tabla 4.66. Mezcla asfáltica en frío.....	112
Tabla 4.67. Comparación de precios unitarios.....	113

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Página.
Imagen 3.1. Acopios de agregados en la planta de Charaja	63
Imagen 3.2. Muestreo de acopio agregado 3/8”	64
Imagen 3.3. Cuarteo de agregado arena triturada.....	67
Imagen 3.4. Granulometría agregada 3/4”	68
Imagen 3.5. Ensayo de peso específico agregado retiene N°4.....	69
Imagen 3.6. Ensayo de peso específico agregado pasa N° 4 - retiene N°200.....	70
Imagen 3.7. Ensayo de peso específico agregado pasa N°200 (filler).	70
Imagen 3.8. Ensayo de equivalente de arena	71
Imagen 3.9. Máquina de desgaste “Los Ángeles”.....	72
Imagen 3.10. Ensayo de desgaste de Los Ángeles.....	72
Imagen 3.11. Ubicación de la planta de SEDECA.....	73
Imagen 3.12. Cemento asfáltico 85-100	74
Imagen 3.13. Ensayo de penetración.....	76
Imagen 3.14. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol.....	77
Imagen 3.15. Ensayo de la película delgada	78
Imagen 3.16. Ensayo de ductilidad.	79
Imagen 3.17. Ensayo de peso específico.....	80
Imagen 3.18. Ensayo de punto de ablandamiento.....	81
Imagen 3.19. Ensayo de adherencia de agregado - asfalto.....	82
Imagen 3.20. Ensayo de granulometría agregado pétreo “B”	85
Imagen 3.21. Peso específico agregado tipo “B y D”	86
Imagen 3.22. Peso unitario agregado tipo “B”, “D” y “E”	88
Imagen 3.23. Máquina de desgaste “Los Ángeles”.....	89

Imagen 3.24. Ensayo de desgaste de Los Ángeles.....	89
Imagen 3.25. Ensayo de laminaridad.	91
Imagen 3.26. Ensayo de agujas o alargamiento.	92
Imagen 3.27. Emulsión asfáltica.....	94
Imagen 3.28. Emulsión asfáltica.....	96
Imagen 3.29. Ensayo de viscosidad Saybolt Furol	96
Imagen 3.30. Ensayo de residuo de emulsión asfáltica.....	97
Imagen 3.31. Adherencia de agregado - asfalto.....	98
Imagen 3.32. Ensayo de punto de ablandamiento.....	99
Imagen 3.33. Ensayo de penetración.....	100
Imagen 4.34. Núcleo del doble tratamiento superficial triple.....	103
Imagen 4.35. Núcleos de las mezclas asfálticas.....	113

ÍNDICE DE GRÁFICAS

	Página.
Gráfica 4.1. Carta de viscosidad – Temperatura	104
Gráfica 4.2. Curva granulométrica de dosificación de materiales	107
Gráfica 4.3. Comparación de curvas granulométricas en dosificación de materiales	111