

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO

DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON CEMENTO ASFÁLTICO
ESPUMADO”**

POR:

MADILIN HIGUERAS FERNÁNDEZ

Proyecto de Ingeniería Civil presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil.

SEMESTRE II - 2020

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO

DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS CON CEMENTO ASFÁLTICO
ESPUMADO”**

POR:

MADÉLIN HIGUERAS FERNÁNDEZ

SEMESTRE II - 2020

TARIJA-BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez

DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGIA

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Laura K. Soto S.

Tribunal 1

.....
Ing. Ada G. López R.

Tribunal 2

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

Tribunal 3

ADVERTENCIA:

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esta responsabilidad del autor.

DEDICATORIA:

Dedico este trabajo a mis padres, por haberme educado, guiado y apoyado en cada momento a pesar de todo entorpecimiento para poder llegar a este momento tan importante y permitirme así dar un paso más en mi camino.

AGRADECIMIENTOS:

Primeramente, a Dios por brindarme sabiduría y entendimiento, a mi familia por su constante motivación y a todas las personas que me apoyaron para llegar a esta etapa de mi vida.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

INTRODUCCION

Pág.

1.1. Antecedentes	1
1.2. Situación problemática.....	2
1.2.1. Problema	3
1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema.....	3
1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema.....	3
1.3. Justificación	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis	5
1.6. Operación de las variables	5
1.6.1. Variable independiente	5
1.6.2. Variables dependientes	5
1.7. Alcance del estudio de aplicación.....	6

CAPITULO II

TECNICA DEL ASFALTO ESPUMADO

Pág.

2.1 Pavimentos.....	15
2.1.1 Tipos de pavimentos.	16
2.1.2 Diferencia del comportamiento entre pavimento flexible y pavimento rígido.....	21
2.1.3 Conceptos y funciones de las capas de pavimento	22

2.2 Asfaltos	24
2.2.1 Propiedades de los cementos asfáltico	25
2.2.2. Asfalto convencional.....	25
2.2.3. Asfalto modificado con polímeros	26
2.2.4 Concreto asfáltico con asfalto modificado.....	27
2.3 Agregados	27
2.3.1 Agregado grueso (grava triturada)	27
2.3.2 Agregado fino (arena)	28
2.3.3 Especificaciones de los agregados	28
2.4 Tipos de mezclas asfálticas	29
2.5 Especificaciones para construir una carpeta de concreto asfáltico mezclado en caliente ETG 2 – 11	30
2.5.1 Agregados	31
2.5.2 Dosificación Marshall de las mezclas	32
2.6 Cuidados ambientales	32
2.7 Control de calidad de los materiales en mezclas calientes	34
2.7.1 Agregados	35
2.7.2 Cementos asfálticos bituminoso.....	35
2.8 Asfalto espumado.....	36
2.8.1 Desarrollo de la tecnología	36
2.8.2 Wirtgen es el pionero del betún espumado	36
2.8.3 Concepto	37
2.8.5. Producción	38
2.8.6 Propiedades y especificaciones	43
2.8.7. Aplicaciones.....	44

2.8.7.1 Materiales de construcción in situ	44
2.9 Diseño de mezclas con asfalto espumado	45
2.9.1 Procedimiento de diseño	45
2.9.2 El secreto es la mezcla	47
2.10 Ventajas y desventajas del asfalto espumado	47
2.10.1. Ventajas.....	47
2.10.2. Desventajas	47
2.11 Marco referencial	49
2.12 Marco normativo.....	50

CAPITULO III

CARACTERIZACION, DISEÑO Y CALCULOS

	Pág.
3.1 Ensayos de caracterización de los agregados.....	50
3.1.1 Granulometría	50
3.1.1.1 Granulometría de la arena.....	50
3.1.1.2 Granulometría de la grava (3/4")	52
3.1.1.3 Granulometría de la gravilla (3/8")	53
3.1.2 Peso específico	55
3.1.2.1 Peso específico del material fino (arena).....	55
3.1.2.2 Peso específico del material grueso (grava de 3/4 ")	56
3.1.2.3 Peso específico del material grueso (gravilla de 3/8 ")	57
3.1.3 Desgaste de los ángulos.....	57
3.1.3.1 Desgaste de los ángulos de la grava de 3/4".....	57
3.1.3.2 Desgaste de los ángulos de la gravilla de 3/8"	59
3.1.4 Equivalente de arena	59

3.2 Ensayos caracterización del cemento asfáltico	60
3.2.1 Penetración del asfalto (85-100)	61
3.2.2 Peso específico de asfalto (85-100)	62
3.2.3 Punto de inflamación de asfalto (85-100)	63
3.2.4 Punto de ablandamiento de asfalto (85-100).....	64
3.2.5 Ductilidad del asfalto (85-100)	65
3.2.6 Viscosidad cinemática de asfalto (85-100)	66
3.2.7 Penetración de asfalto (60-85)	67
3.2.8 Peso específico de asfalto (60-85)	67
3.2.9 Punto de inflamación de asfalto (60-85)	68
3.2.10 Punto de ablandamiento de asfalto (60-85).....	68
3.2.11 Ductilidad del asfalto (60-85)	68
3.3 Ensayos de caracterización del asfalto espumado	69
3.3.1 Relación de expansión y vida media	71
3.4 Caracterización y diseño de una mezcla asfáltica.....	84
3.4.1 Determinación del contenido mínimo de asfalto por en procedimiento del área superficial.....	84
3.4.2 Determinación del número de muestras.....	86
3.4.3 Diseño granulométrico- método Marshall (ASTM D-3515)	87
3.5 Características Marshall de la mezcla asfáltica tradicional con cemento asfáltico convencional 85-100	89
3.5.1 Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico ..	90
3.5.2 Resumen de las características Marshall.....	93
3.6 Características Marshall de la mezcla asfáltica tradicional con cemento asfáltico modificado 60-85	94
3.6.1 Curvas método Marshall para el contenido óptimo de cemento asfáltico ..	95

3.6.2 Resumen de las características Marshall.....	98
3.7. Dosificación de mezclas con cemento asfáltico espumado utilizando el asfalto convencional y modificado.....	99
3.7.1. Con el asfalto convencional (85-100).....	99
3.7.2. Con el asfalto modificado 60-85.....	100
3.8 Características de la mezcla tradicional y con el cemento asfáltico espumado utilizando el asfalto 85-100 convencional.....	101
3.9 Características de la mezcla tradicional y con el cemento asfáltico espumado utilizando el asfalto 60-85 modificado.....	102

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

4.1 Resultados de la comparación de la mezcla tradicional y con el cemento asfáltico espumado.....	96
4.1.1. Con el uso del asfalto convencional 85-100.....	96
4.1.1.1 Densidad.....	96
4.1.1.2 Estabilidad.....	97
4.1.1.3. Fluencia.....	99
4.1.1.4 % De vacíos de mezcla total.....	100
4.1.2. Con el uso del asfalto modificado 60-85.....	101
4.1.2.1 Densidad.....	101
4.1.2.2 Estabilidad.....	103
4.1.2.3. Fluencia.....	104
4.1.2.4 % De vacíos de mezcla total.....	106
4.2 Análisis e interpretación de los resultados.....	107

4.2.1 Análisis e interpretación de los resultados de los agregados, cemento asfáltico, y del cemento asfálticos espumado	107
4.2.1.1 De los agregados.....	107
4.2.1.2 Del cemento asfáltico	107
4.2.1.3 Del cemento asfáltico espumado	108
4.2.2 Análisis e interpretación de los resultados de la comparación de la mezcla tradicional y con el cemento asfáltico espumado	110

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pág.

5.1 Cconclusiones	112
5.2 Recomendaciones	115

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO A-1 fotográfico

ANEXO A-2 cálculos

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1: Descripción de variables.....	6
Tabla 3.1: Resumen de la granulometría de la arena.....	51
Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la grava.....	53
Tabla 3.3: Resumen de la granulometría de la gravilla.....	54
Tabla 3.4: Resumen del peso específico de la arena.....	55
Tabla 3.5: Resumen del peso específico de la grava.....	56
Tabla 3.6: Resumen peso específico de la gravilla.....	57
Tabla 3.7: Resultados del desgaste de los ángulos de la grava de 3/8”.....	58
Tabla 3.8: Resultados del desgaste de los ángulos de la gravilla de 3/4”.....	59
Tabla 3.9: Resultado del equivalente de arena.....	60
Tabla 3.10: Resultado de la penetración asfalto convencional.....	62
Tabla 3.11: Resultado del peso específico del asfalto convencional.....	63
Tabla 3.12: Resultado del punto de inflamación asfalto convencional.....	64
Tabla 3.13: Resultado del punto de ablandamiento asfalto convencional.....	65
Tabla 3.14: Resultado de la ductilidad asfalto convencional.....	66
Tabla 3.15: Resultado de la viscosidad cinemática a 135°C asfalto convencional.....	67
Tabla 3.16: Resultado de la penetración asfalto convencional.....	67
Tabla 3.17: Resultado del peso específico del asfalto modificado.....	67
Tabla 3.18: Resultado del punto de inflamación asfalto modificado.....	68
Tabla 3.19: Resultado del punto de ablandamiento asfalto modificado.....	68
Tabla 3.20: Resultado de la ductilidad asfalto modificado.....	68
Tabla 3.21: 1er ensayo a una temperatura de 150 °C a.c.....	72
Tabla 3.22: 2do ensayo a una temperatura de 160 °C a.c.....	73

Tabla 3.23: 3er ensayo a una temperatura de 170 °C a.c.....	74
Tabla 3.24: 4to ensayo a una temperatura de 180 °C a.c.....	74
Tabla 3.25: 1er ensayo a una temperatura de 150 °C a.m.	77
Tabla 3.26: 2do ensayo a una temperatura de 160 °C a.m.....	78
Tabla 3.27: 3er ensayo a una temperatura de 170 °C a.m.	79
Tabla 3.28: 4to ensayo a una temperatura de 180 °C a.m.	79
Tabla 3.29: 5to ensayo a una temperatura de 190 °C a.m.	80
Tabla 3.30: 6to ensayo a una temperatura de 200 °C a.m.	81
Tabla 3.31: 7mo ensayo a una temperatura de 210 °C a.m.	81
Tabla 3.32: Constantes de área correspondientes al material retenido	85
Tabla 3.33: Índice asfáltico.....	85
Tabla 3.34: Contenido mínimo de asfalto.....	86
Tabla 3.35: Curva de dosificación ASTM	87
Tabla 3.36: Dosificación mezcla asfáltica	88
Tabla 3.37: Planilla Marshall con asfalto convencional	89
Tabla 3.38 : Porcentaje óptimo de asfalto convencional	93
Tabla 3.39: Resumen características Marshall con asfalto convencional.....	93
Tabla 3.40: Planilla Marshall con asfalto modificado	94
Tabla 3.41: Porcentaje óptimo de asfalto modificado	98
Tabla 3.42: Resumen características Marshall con asfalto modificado.....	98
Tabla 3.43: Dosificación de la mezcla con cemento asfáltico espumado (85-100).....	99
Tabla 3.44: Dosificación de la mezcla con cemento asfáltico espumado (85-100).....	100
Tabla 3.45: Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado (85-100) .	101
Tabla 3.46: Planilla de mezclas asfálticas con cemento asfáltico espumado(60-85)	102
Tabla 4.1 : Comparación de densidad real.....	96

Tabla 4.2 : Comparación de estabilidad.....	97
Tabla 4.3: Comparación de fluencia	99
Tabla 4.4: Comparación de % de vacíos mezcla total	100
Tabla 4.5 : Comparación de densidad real.....	101
Tabla 4.6 : Comparación de estabilidad.....	103
Tabla 4.7 : Comparación de fluencia	104
Tabla 4.8: Comparación de % de vacíos mezcla total	106

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1: Sección transversal de componentes de Pavimento rígido.....	16
Figura 2.2: Sección transversal de pavimento rígido.....	16
Figura2.3: Distribución de esfuerzos en Pavimentos Rígidos	17
Figura 2.4: Sección transversal de Pavimento flexible.....	18
Figura 2.5: Disipación de tensiones en Pavimentos flexibles.....	19
Figura 2.6: Disipación de tensiones en Pavimentos articulados	19
Figura 2.7: Disipación de cargas en Pavimentos semirrígidos	20
Figura 2.8: Diferencia entre pavimento flexible y rígido	21
Figura 2.9: Asfaltos.....	24
Figura 2.10: Clasificación de mezclas asfálticas por su temperatura	29
Figura 2.11: La tecnología en 1995 despertó definitivamente el interés en los expertos.	37
Figura 2.12: Sistema de producción del asfalto espumado.....	38
Figura 2.13: Con la ayuda del equipo de laboratorio WLB 10 S se pueden realizar series de mediciones para determinar las propiedades del betún espumado.	39
Figura 2.14: Es posible producir con facilidad diferentes clases de betún espumado para luego determinar la composición ideal.....	40

Figura 2.15: Una pequeña cantidad de agua provoca un aumento instantáneo del volumen del betún caliente (betún espumado).	41
Figura 2.16: Cámara de expansión.....	42
Figura 2.17: Proceso de optimización de la razón de expansión y la vida media.....	44
Figura 2.18: Asfaltado in situ con asfalto espumado	45
Figura 2.19: El material tratado con betún espumado destaca por su solidez y su capacidad de carga óptimas.	46
Figura 2.21: Carretera pavimentada haciendo uso del asfalto espumado	48
Figura 2.22: Betún espumado y su uso en todo el mundo.	49
Figura 3.1: Granulometría del agregado fino.....	50
Figura 3.2: Granulometría del agregado grueso	52
Figura 3.3: Granulometría del agregado grueso	53
Figura 3.4: Eliminación de vacíos de la muestra	55
Figura 3.5: Saturación de la grava	56
Figura 3.6: Secado superficial de la gravilla.....	57
Figura 3.7: Preparando la máquina de desgaste de los ángeles	58
Figura 3.8: Vaciado de la gravilla luego de usar la máquina de desgaste de los ángeles	59
Figura 3.9: Observando la suspensión de la arcilla en el equivalente de arena	60
Figura 3.10: Ajuste de la aguja para ensayar la penetración.....	61
Figura 3.11: Preparando las muestras a ensayar para el peso específico	62
Figura 3.12: Ajustando el termómetro para el punto de inflamación	63
Figura 3.13: Controlando la temperatura para el punto de ablandamiento.....	64
Figura 3.14: Controlando la temperatura para la ductilidad	65
Figura 3.15: Controlando la temperatura del aceite para introducir el viscosímetro	66
Figura 3.16: Control de temperatura del asfalto en la cámara de expansión	72

INDICE DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 3.1: Curva granulométrica promedio del agregado fino	51
Grafica 3.2: Curva granulométrica promedio (grava ¾").....	52
Grafica 3.3: Curva granulométrica promedio (gravilla 3/8").....	54
Grafico 3.4: Relación de expansión vs vida media a 150 °C asfalto convencional.....	72
Grafico 3.5: Relación de expansión vs vida media a 160 °C asfalto convencional.....	73
Grafico 3.6: Relación de expansión vs vida media a 170 ° asfalto convencional	74
Grafico 3.7: Relación de expansión vs vida media a 180 °C asfalto convencional.....	75
Grafico 3.8: Relación de expansión vs vida media a 150 °C asfalto modificado.....	78
Grafico 3.9: Relación de expansión vs vida media a 160 °C asfalto modificado.....	78
Grafico 3.10: Relación de expansión vs vida media a 170 °C asfalto modificado.....	79
Grafico 3.11: Relación de expansión vs vida media a 180 °C asfalto modificado.....	80
Grafico 3.12: Relación de expansión vs vida media a 190 °C asfalto modificado.....	80
Grafico 3.13: Relación de expansión vs vida media a 200 °C asfalto modificado.....	81
Grafico 3.14: Relación de expansión vs vida media a 210 °C asfalto modificado.....	82
Grafico 3.15: 'Curva de diseño granulométrico - método Marshall '(ASTM D 3515)	88
Gráfico 3.16: Densidad vs % C.A. asfalto convencional.....	90
Gráfico 3.17:: Estabilidad vs % C.A. asfalto convencional.....	90
Gráfico 3.18: Fluencia vs % C.A. asfalto convencional	91
Gráfico 3.19: V.A.M vs % C.A. asfalto convencional	91
Gráfico 3.20: R.B.V. vs % C.A. asfalto convencional.....	92
Gráfico 3.21: Vacíos mezcla vs % C.A. asfalto convencional	92
Gráfico 3.22: Densidad vs % C.A. asfalto modificado.....	95
Gráfico 3.23: Estabilidad vs % C.A. asfalto modificado	95

Gráfico 3.24: Fluencia vs % C.A. asfalto modificado	96
Gráfico 3.25: V.A.M vs % C.A. asfalto modificado.....	96
Gráfico 3.26: R.B.V. vs % C.A. asfalto modificado.....	97
Gráfico 3.27: Vacíos mezcla vs % C.A. asfalto modificado	97
Grafica 4.1 : Comparación de la densidad	97
Grafica 4.2: Comparación de la estabilidad.....	98
Grafica 4.3: Comparación de la fluencia	99
Grafica 4.4: Comparación de % de vacíos mezcla total	101
Gráfica 4.5: Comparación de la densidad real	102
Gráfica 4.6: Comparación de la estabilidad.....	104
Gráfica 4.7: Comparación de fluencia	105
Gráfica 4.8: Comparación de % de vacíos mezcla total	106