

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



**DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MODIFICADOS CON ALAMBRE DE NEUMÁTICOS FUERA DE
USO Y LIMADURA METÁLICA RECICLADOS CON LIGANTE
ASFÁLTICO**

Por:

VELÁSQUEZ GARZÓN EDSSON ROBERTO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para
optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

SEMESTRE I-2019

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 MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE
MODIFICADOS CON ALAMBRE DE NEUMÁTICOS FUERA DE
USO Y LIMADURA METÁLICA RECICLADOS CON LIGANTE
ASFÁLTICO”**

Por:

VELÁSQUEZ GARZON EDSSON ROBERTO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

SEMESTRE I - 2019

TARIJA – BOLIVIA

.....
M. Sc. Ing. Ernesto Roberto Álvarez Gozalvez
DECANO

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

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

**FACULTAD DE CIENCIAS Y
TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL

.....
Ing. Eusebio Ortega Alvarado

.....
Ing. Marcelo Pacheco Núñez

.....
Ing. Laura Karina Soto Salgado

RESUMEN

En los últimos años el planeta tierra está cada vez más contaminado y el deterioro creciente del medio ambiente, la preservación de los recursos naturales se ha convertido en una preocupación general para todos los sectores productivos del mundo.

el presente proyecto “diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con alambre de neumático fuera de uso y limadura metálica reciclados con ligante asfáltico” tiene como finalidad brindar una alternativa en el uso de materiales reciclados al ser utilizados como material constitutivo de mezclas asfálticas, detallando su composición, eficiencia, dosificación, ventajas y desventajas de su adición en mezclas asfálticas en caliente obteniendo resultados que proporcionan pequeños o nulos beneficios a pavimentos asfálticos con un menor costo y una vida de servicio más larga.

Para su fabricación se utiliza cemento asfáltico de penetración 85-100, con un porcentaje óptimo de cemento asfáltico de 5.56 % para la mezcla convencional, las mezclas modificadas de estudio contienen 0.5%, 1 %, 1.5 %, 2% y 2.5 % de material metálicos reciclados (limadura metálica y alambre metálico de neumático fuera de uso), lo cual brinda mayor estabilidad, resistencia y mejor deformación frente a una mezcla convencional.

En conclusión, se establece que la mezcla asfáltica adicionando limadura metálica mejora notablemente sus características físicas y mecánicas al agregar un porcentaje de 1.04 % con un costo elevado al convencional. Asimismo, la mezcla asfáltica adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso mejora notablemente sus características físicas y no mecánicas al agregar un porcentaje de 1.51 % con un costo considerablemente elevado.

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a Dios por su amor infinito, a los dos grandes guerreros que eligió como mis padres, Justina Garzón y Roberto Velásquez que han sido el pilar fundamental en todo tiempo y ante toda circunstancia, mi querida mamá Lucia Villa y mis hermanos queridos Carlitos y Maribel, su amor y entrega incondicional han hecho posible que llegue hasta este punto de mi vida, que será el inicio de muchos caminos nuevos por seguir.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y permitir que llegue a cumplir este anhelado objetivo.

A mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron sus sacrificios, su cariño y por el ejemplo que de una u otra manera me dieron.

A la universidad Autónoma Juan Misael Saracho por acogerme en todo este tiempo de formación académica.

A todos mis docentes que cariñosamente y desinteresadamente me impartieron todos sus conocimientos.

A mi familia y amigos que con su apoyo contribuyeron a la finalización del presente proyecto.

A mi novia Karla Tapia por haberme apoyado en mi avance y desarrollo universitario

PENSAMIENTO

La preparación es clave, la mayoría de las cosas que nos pasan en la vida no controlamos, pero entre más fuertes tengamos los cimientos, se podrá confrontar los obstáculos de la vida. El conocimiento es el arma bélica del nuevo mundo que nos ayudara en un futuro.

(Anónimo)

Resumen
Dedicatoria
Agradecimientos
Pensamiento

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Pág.
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	2
1.3. DISEÑO TEÓRICO	3
1.3.1. Planteamiento del problema	3
1.3.1.1. Situación del problema	3
1.3.1.2. Determinación del problema	3
1.4. OBJETIVOS	3
1.4.1. Objetivo general	3
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. HIPÓTESIS	4
1.6. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DEPENDIENTES E INDEPENDIENTES	4
1.6.1. Variables independientes	4
1.6.2. Variables dependientes	4
1.6.3. Conceptualización y operación de variables	5
1.7. DISEÑO METODOLÓGICO	5
1.7.1. Componentes	5
1.7.1.1. Unidad de estudio	5
1.7.1.2. Población	5

	Pág.	
1.7.1.3.	Muestra	6
1.7.1.4.	Muestreo	6
1.8.	MÉTODO Y TÉCNICAS EMPLEADAS	6
1.9.	METODOLOGÍA	9
1.9.1.	Diagrama metodológico	9
1.10.	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	13

CAPÍTULO II

MEZCLAS ASFÁLTICAS

	Pág.	
2.1.	MEZCLAS ASFÁLTICAS	15
2.1.1.	Definición	15
2.1.2.	Clasificación de mezclas asfálticas	16
2.1.3.	Propiedades de las mezclas asfálticas	18
2.2.	AGREGADOS EN MEZCLA ASFÁLTICA	20
2.2.1	Definición	20
2.2.2	Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas	21
2.2.2.1.	Agregado grueso	21
2.2.2.2.	Piedra triturada	21
2.2.2.3.	Grava triturada	21
2.2.2.4.	Arena	22
2.2.2.5.	Filler	22
2.2.3.	Ensayos para calidad de los agregados	23
2.3.	ASFALTO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS	25
2.3.1.	Definición de asfalto	25
2.3.2.	Cualidades de los ligantes asfálticos	26
2.3.2.1.	Poder aglomerante	26
2.3.2.2.	Agente estabilizante	27

	Pág.	
2.3.2.3.	Agente impermeabilizante	27
2.3.2.4.	Manejabilidad	27
2.3.3.	Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico	28
2.4.	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS	29
2.4.1.	Peso específico de los agregados	29
2.4.2.	Densidad máxima real de la mezcla	30
2.4.3.	Densidad máxima teórica	31
2.4.4.	Vacíos de la mezcla	32
2.4.5.	Vacíos del agregado mineral V.A.M. %	33
2.4.6	Relación betumen vacíos	35
2.4.7	Estabilidad de la mezcla	36
2.4.8.	Fluencia de la mezcla	37
2.4.9.	Relación de estabilidad-fluencia	37
2.4.10.	Durabilidad de la mezcla asfáltica	39
2.4.11.	Impermeabilidad de la mezcla asfáltica	40
2.4.12.	Trabajabilidad de la mezcla asfáltica	41
2.4.13.	Flexibilidad de la mezcla asfáltica	42
2.4.14.	Resistencia a la fatiga	42
2.4.15.	Resistencia al deslizamiento	43
2.5.	DISEÑO DE MARSHALL DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	44
2.5.1.	Descripción	44
2.5.2.	Preparación para efectuar los procedimientos Marshall	45
2.5.3.	Selección de las muestras de material	45
2.5.4.	Preparación del agregado	45
2.5.5.	Preparación de las muestras de ensayo	46
2.5.6.	Especificaciones de Marshall	47
2.5.7.	Análisis de los resultados del ensayo Marshall gráficos de los resultados	51
2.6.	MODIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	52

	Pág.
2.7. GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA	56
2.7.1. Generación de residuos en Bolivia	56
2.7.1.1. Marco normativo nacional	57
2.7.2. Generación de residuos en departamento de Tarija	58
2.7.2.1. Marco normativo departamental	60
2.7.2.2. Presupuesto e Ingresos por la prestación de los servicios de aseo urbano	61
2.7.2.3. Costos del servicio de barrido y limpieza	61
2.8. FIBRA METÁLICA DE NEUMÁTICA FUERA DE USO	62
2.8.1. Justificación del reciclaje de fibra metálica de neumático fuera de uso	62
2.8.2. Descripción	64
2.8.3. Composición y características de los alambres de los neumáticos	65
2.8.3.1. Composición del alambre de neumáticos	65
2.8.3.2. Características del alambre para ceja de neumático	66
2.8.4. Maquinaria de extracción y separación de alambre de neumático fuera de uso	67
2.8.5. Características de la fibra de neumático que ha de tomarse en cuenta para decidir que forme parte de la mezcla asfáltica	71
2.9. LIMADURA METÁLICA	72
2.9.1. Justificación de reciclaje de limadura metálica	72
2.9.2. Descripción	74
2.9.3. Composición y características de limadura metálica	75
2.9.4. Proceso del reciclaje	76
2.9.5. Tipos de materiales reciclados	77
2.9.6. Propiedades del material reciclado	78
2.10. ANÁLISIS DE PRESUPUESTO	79
2.10.1. Introducción	79
2.10.2. Precios unitarios	79
2.10.3. Elementos de los precios unitarios	79

2.10.4.	Costos directos	Pág. 79
---------	-----------------	------------

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS, CEMENTO ASFÁLTICO, MATERIALES METÁLICOS RECICLADOS

		Pág.
3.1.	INTRODUCCIÓN	80
3.2	OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	80
3.2.1.	Justificación de selección de agregados pétreos	82
3.3	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	82
3.3.1	Granulometría (ASTM 136)	82
3.3.2	Peso específico para agregado GRUESO (ASTM 128)	86
3.3.3	Peso específico para agregado fino (ASTM C 127)	86
3.3.4	Porcentaje de caras fracturadas (ASTM D-5821)	87
3.3.5	Determinación del desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C 131)	88
3.3.6	Equivalente de arena (ASTM D 2419)	89
3.4	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	90
3.4.1.	Justificación de selección de cemento asfáltico	91
3.4.2.	Punto de inflamación (ASTM D-5821)	93
3.4.3.	Penetración (ASTM D-5)	93
3.4.4.	Peso específico (ASTM D-70)	94
3.4.5.	Pérdida de masa (ASTM-1754)	94
3.4.6.	Punto de ablandamiento del asfalto (ASTM D-36)	95
3.4.7.	Ductilidad (ASTM D-113)	96
3.4.8.	Viscosidad Saybolt-Furol (ASTM E-102)	96

		Pág.
3.5	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES RECICLADOS	96
3.5.1	Obtención y caracterización de alambre de neumático fuera uso	96
3.5.1.1	Obtención de la muestra	98
3.5.1.2	Características de neumático fuera de uso	100
3.5.1.3	Peso específico de neumático fuera de uso	100
3.5.2	Obtención y caracterización de limadura metálica	101
3.5.2.1	Obtención de la muestra	102
3.5.2.2	Características de limadura metálica	103
3.5.2.3	Peso específico de limadura metálica	104

CAPÍTULO IV
DISEÑO, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA
CONVENCIONAL, CON LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CON ADICIÓN DE LOS
MATERIALES METÁLICOS RECICLADOS

		Pág.
4.1.	DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE	105
4.1.1	Método Marshall	105
4.1.2	Procedimientos requeridos por el método Marshall	106
4.2	DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	121
4.3	DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO LIMADURA METÁLICA	124
4.4.	DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO ALAMBRE METÁLICO DE NEUMÁTICO FUERA DE USO	132
4.5.	COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS ENTRE MEZCLAS ASFÁLTICAS DISEÑADAS POR EL MÉTODO MARSHALL CONVENCIONAL Y USANDO MATERIALES RECICLADOS METÁLICOS	140

	Pág.	
4.5.1.	Análisis de vacíos de aire de las mezclas diseñadas	141
4.5.2.	Análisis de vacíos en el agregado mineral de las mezclas diseñadas	142
4.5.3.	Análisis de contenido de asfalto de las mezclas diseñadas	143
4.5.4.	Análisis de estabilidad de las mezclas diseñadas	144
4.5.5.	Análisis de flujo de las mezclas diseñadas	145
4.6	ANÁLISIS DE COSTOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DISEÑADAS	146
4.6.1	Análisis de costo de la mezcla asfáltica convencional	146
4.6.2	análisis de costo de la mezcla asfáltica adicionando con limadura metálica	149
4.6.3	Análisis de costo de la mezcla asfáltica adicionando con fibras metálicas de neumático fuera de uso	151
4.7	COMPARACIÓN DE COSTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DISEÑADAS CON REFERENCIA AL COSTO DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL	153
4.8.	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS DISEÑOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS	154
4.8.1.	Validación y análisis de error de mezcla asfáltica adicionando limadura metálica con valores estabilidad del diseño 2.0	155
4.8.2.	Validación y análisis de error de mezcla asfáltica adicionando con fibras metálicas de neumático fuera de uso con valores estabilidad del diseño 3.0	159

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Pág.	
5.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	164
5.1.1	Conclusiones	164
5.1.2	Recomendaciones	166

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.	
Figura N° 1.1.	Esquema metodológico	9
Figura N° 2.1.	Mezcla asfáltica puesta en obra	15
Figura N° 2.2.	Comparación en capas de rodadura	18
Figura N° 2.3.	Diagrama de componentes en una mezcla asfáltica	34
Figura N° 2.4.	Alambres de llanta durante su producción	66
Figura N° 2.5	Estructura de una llanta	67
Figura N° 2.6.	Destalonadora	68
Figura N° 2.7.	Trituradora primaria	68
Figura N° 2.8.	Trituradora secundaria	69
Figura N° 2.9.	Granulador primario	69
Figura N° 2.10.	Separador magnético	70
Figura N° 2.11.	Granulador secundario	71
Figura N° 2.12.	Alambre de llanta	72

ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág.	
Imagen N° 2.1.	Relleno sanitario de la ciudad de Tarija	64
Imagen N° 2.2.	Corte transversal del neumático en des uso	65
Imagen N° 2.3.	Alambre de llanta cortada manualmente en 1 cm. aprox.	72
Imagen N° 2.4.	Desechos metálicos en metalúrgica	74
Imagen N° 2.5.	Equipo de corte con sierra circular	75
Imagen N° 2.6.	Limadura metálica reciclada	75
Imagen N° 3.1.	Ubicación de la planta de asfaltos y trituradora de agregados de SEDECA	81

	Pág.
Imagen N° 3.2. Planta de agregados pétreos de SEDECA lugar San José de Charaja	81
Imagen N° 3.3. Ubicación de la Secretaria de Obras y Servicios Públicos de Gobierno Municipal de Tarija	90
Imagen N° 3.4. Alcaldía Municipal de la ciudad de Tarija	91
Imagen N° 3.5. Ubicación de la reencauchadora “Gareca”	97
Imagen N° 3.6. Entrada a la reencauchadora “Gareca”.	97
Imagen N° 3.7. Maquina reencauchadora	98
Imagen N° 3.8. Neumático desgastado en el talón y el cinturón de acero	98
Imagen N° 3.9. Alambre metálico recogido del suelo mediante imán	99
Imagen N° 3.10. Alambre metálico	99
Imagen N° 3.11. Ubicación de la metalúrgica “Montellanos”	101
Imagen N° 3.12. Entrada a la metalúrgica “Montellanos”	102
Imagen N° 3.13. Sierra circular	102
Imagen N° 3.14. Limadura metálica	103
Imagen N° 4.1. Agregado pétreo seleccionado según tamaño	111
Imagen N° 4.2. Moldes precalentados en el horno	112
Imagen N° 4.3. Adición de ligante asfáltico al mix de agregados	112
Imagen N° 4.4. Mezclando el mix de agregados con ligante asfáltico	113
Imagen N° 4.5. Agregando la mezcla a los moldes precalentados	114
Imagen N° 4.6. Control de temperatura de la mezcla	114
Imagen N° 4.7. Compactación de briquetas Marshall	115
Imagen N° 4.8. Extractor de muestra Marshall	116
Imagen N° 4.9. Numeración y ordenamiento de briquetas	116
Imagen N° 4.10. Peso de cada muestra seca	117
Imagen N° 4.11. Briqueta sumergida en agua a 25 °C	118
Imagen N° 4.12. Registro del peso sumergido	118
Imagen N° 4.13. Briquetas sumergidas a 60 °C	119
Imagen N° 4.14. Ensayo Marshall de estabilidad-flujo	120

	Pág.	
Imagen N° 4.15.	Agregados pétreos adicionando limadura metálica	125
Imagen N° 4.16.	Mezcla de agregados, ligante asfáltico y limadura metálica	126
Imagen N° 4.17.	Briqueta elaborada adicionando limadura metálica	126
Imagen N° 4.18.	Agregados pétreos adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso	133
Imagen N° 4.19.	Mezcla de agregados, ligante asfáltico y alambre metálico	134
Imagen N° 4.20.	Briqueta elaborada adicionando alambre metálico	134
Imagen N° 4.21.	Ubicación recicladora “Reciclajes Tarija”	133
Imagen N° 4.22.	Entrada recicladora “Reciclajes Tarija”	133

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla N° 1.1.	Conceptualización y operación de variables	5
Tabla N° 1.2.	Normas y ensayo de aplicación	8
Tabla N° 1.3.	Número de muestras para obtener el porcentaje óptimo de cemento asfáltico para la mezcla asfáltica convencional	11
Tabla N° 1.4.	Número de muestras para obtener el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica añadiendo limadura metálica reciclada	11
Tabla N° 1.5.	Número de muestras para obtener el porcentaje óptimo de la mezcla asfáltica añadiendo alambre de neumático fuera de uso	12
Tabla N° 2.1.	Clasificación de mezclas asfálticas	17
Tabla N° 2.2.	Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas	19
Tabla N° 2.3.	Propiedades técnicas de las mezclas asfálticas	20
Tabla N° 2.4.	Ensayos de laboratorio normalizados para agregados	24
Tabla N° 2.5.	Requisitos de calidad del material pétreo de granulometría densa	25

	Pág.	
Tabla N° 2.6.	Ensayos de laboratorio normalizados para el asfalto	28
Tabla N° 2.7.	Requisitos específicos para cemento asfáltico clasificado por penetración	29
Tabla N° 2.8.	Causas y efectos de inestabilidad en el pavimento	38
Tabla N° 2.9.	Causas y efectos de una poca durabilidad	40
Tabla N° 2.10.	Causas y efectos de la permeabilidad	41
Tabla N° 2.11.	Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad	42
Tabla N° 2.12.	Causas y efectos de una mala resistencia a la fatiga	43
Tabla N° 2.13.	Causas y efectos de poca resistencia al deslizamiento	44
Tabla N° 2.14.	Graduaciones propuestas para mezclas cerradas	48
Tabla N° 2.15.	Criterios del instituto de asfalto para el diseño Marshall	49
Tabla N° 2.16.	Mínimo porcentajes de vacíos de agregado mineral VAM	50
Tabla N° 2.17.	Cantidad y cobertura en peso de residuos sólidos recolectado por semana y por año	58
Tabla N° 2.18.	Composición física de los residuos sólidos	58
Tabla N° 2.19.	Promedios ponderados de PPC por categoría poblacional	59
Tabla N° 2.20.	Potencial de residuos sólidos aprovechables en los municipios analizados en ton/día	59
Tabla N° 2.21.	Municipios que cuentan con reglamentos y ordenanzas municipales relacionadas al manejo de residuos sólidos	60
Tabla N° 2.22.	Presupuesto e ingresos por la prestación de los servicios de aseo	62
Tabla N° 2.23.	Costo mensual del cobro de aseo	62
Tabla N° 3.1.	Curva granulométrica de agregado grueso 3/4"	83
Tabla N° 3.2.	curva granulométrica de gravilla 3/8"	84
Tabla N° 3.3.	Curva granulométrica de arena	85
Tabla N° 3.4.	Peso específico del agregado grueso 3/4"	86
Tabla N° 3.5.	Peso específico del agregado grueso 3/8"	86

	Pág.	
Tabla N° 3.6.	Peso específico del agregado fino	87
Tabla N° 3.7.	Cara fracturada material de 3/4"	87
Tabla N° 3.8.	Cara fracturada material de 3/8"	88
Tabla N° 3.9.	Desgaste de los Ángeles material de 3/4"	88
Tabla N° 3.10.	Desgaste de los Ángeles material de 3/8"	88
Tabla N° 3.11.	Equivalente de arena	89
Tabla N° 3.12.	Resultado de equivalente de arena comparando con el mínimo según norma ASTM D 2419	89
Tabla N° 3.13.	Penetración recomendable para diversos tipos de betunes asfálticos	92
Tabla N° 3.14.	Resultado del ensayo de punto de inflamación	93
Tabla N° 3.15.	Resultado del ensayo de penetración	93
Tabla N° 3.16.	Resultado de ensayo de peso específico	94
Tabla N° 3.17.	Resultado de ensayo de pérdida de masa	95
Tabla N° 3.18.	Resultado de ensayo de punto de ablandamiento del asfalto	95
Tabla N° 3.19.	Resultado de ensayo de ductilidad	96
Tabla N° 3.20.	Resultado de ensayo de viscosidad Saybolt-Furol	96
Tabla N° 3.21.	Peso específico de neumático fuera de uso	101
Tabla N° 3.22.	Peso específico de limadura metálica	104
Tabla N° 4.1.	Graduaciones propuestas para mezclas asfálticas	107
Tabla N° 4.2.	Dosificación de materiales pétreos	108
Tabla N° 4.3.	Dosificación de mezcla asfáltica convencional diseño 1.0	110
Tabla N° 4.4.	Datos de la mezcla asfáltica convencional diseño 1.0	121
Tabla N° 4.5.	Valores con el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica convencional	123
Tabla N° 4.6.	Pesos y proporciones exactas para la mezcla asfáltica convencional diseñada	124
Tabla N° 4.7.	Dosificación de mezcla asfáltica adicionando limadura metálica diseño 2.0	127

	Pág.	
Tabla N° 4.8.	Datos mezcla asfáltica adicionando limadura metálica diseño 2.0	128
Tabla N° 4.9.	Valores con el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica adicionando limadura metálica	130
Tabla N° 4.10.	Pesos y proporciones exactas para la mezcla adicionando limadura metálica diseñada	131
Tabla N° 4.11.	Dosificación de mezcla asfáltica adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso diseño 3.0	135
Tabla N° 4.12.	Datos mezcla asfáltica adicionando alambre de neumático fuera de uso diseño 3.0	136
Tabla N° 4.13.	Valores con el porcentaje óptimo de mezcla asfáltica adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso	138
Tabla N° 4.14.	Pesos y proporciones exactas para la mezcla adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso diseñada	139
Tabla N° 4.15.	Resultados óptimos de la mezcla diseñada	140
Tabla N° 4.16	Volúmenes en 1 m ³ de mezcla asfáltica convencional	146
Tabla N° 4.17.	Análisis de precios unitarios, mezcla asfáltica convencional	148
Tabla N° 4.18.	Volúmenes en 1 m ³ de mezcla asfáltica adicionando con limadura metálica	149
Tabla N° 4.19.	Análisis de precios unitarios, mezcla asfáltica adicionando limadura metálica	150
Tabla N° 4.20.	Volúmenes En 1 m ³ de mezcla asfáltica adicionando con alambre de neumático fuera de uso	151
Tabla N° 4. 21.	Análisis de precios unitarios, mezcla asfáltica adicionando alambre metálico de neumático fuera de uso	152
Tabla N° 4.22.	Costo unitario de mezclas asfálticas	153
Tabla N° 4.23.	Valores del ensayo Marshall de estabilidad de las mezclas modificadas con residuos metálicos reciclados	154

INDICE DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 2.1. Sitios de disposición final en Bolivia	57
Gráfico N° 2.2. Estructura presupuestaria de gastos en la gestión y prestación del servicio de aseo en la ciudad de Tarija	61
Gráfico N° 3.1. Curva granulométrica de agregado grueso 3/4"	83
Gráfico N° 3.2. Curva granulométrica de agregado grueso 3/8"	84
Gráfico N° 3.3. Curva granulométrica de arena	85
Gráfico N° 4.1. Granulometría definida para mezcla asfáltica	108
Gráfico N° 4.2. Gráficas ensayo Marshall de mezcla asfáltica convencional diseño 1.0	122
Gráfico N° 4.3. Gráficas ensayo Marshall de la mezcla asfáltica adicionando limadura metálica diseño 2.0	129
Gráfico N° 4.4. Gráficas ensayo Marshall de mezcla asfáltica adicionando alambre de neumático fuera de uso diseño 3.0	137
Gráfico N° 4.5. Comparación de los resultados de porcentaje de vacíos de aire de las mezclas diseñadas	141
Gráfico N° 4.6. Comparación de los resultados de porcentaje de vacíos en el agregado mineral de las mezclas diseñadas	142
Gráfico N° 4.7. Comparación de los resultados contenidos de asfalto con porcentajes óptimos	143
Gráfico N° 4.8. Comparación de los resultados de estabilidad con porcentajes óptimos	144
Gráfico N° 4.9. Comparación de los resultados de flujo con porcentajes óptimos	145

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS
ANEXO 2.	CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO
ANEXO 3	CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS RECICLADOS
ANEXO 4.	DISEÑO ENSAYO MARSHALL
ANEXO 5.	TABLA DE DISTRIBUCIÓN PARA NIVEL DE CONFIANZA Y ANÁLISIS DE ERROR