

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DEPARTAMENTO TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN



**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON LA ADICIÓN DE
POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO”**

Por:

ROBERTO ANDRES ORELLANO CASTILLO

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 I – 2023

TARIJA-BOLIVIA

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

**“DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE MEZCLAS
ASFÁLTICAS EN CALIENTE MODIFICADAS CON LA ADICIÓN DE
POLVO DE NEUMÁTICO RECICLADO”**

Por:

ROBERTO ANDRES ORELLANO CASTILLO

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 I - 2023

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto de grado a mis padres Roberto Orellano y Carola Castillo por ser los pilares fundamentales en mi crecimiento como persona; a mis abuelos Alejandro, Elena y Zulema que desde niño me llenaron de consejos y cariño. Finalmente, a mi hermano Diego Orellano que este trabajo pueda animarle a seguir adelante.

INDICE

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

Pág.

Introducción:	1
1.1 Antecedentes	2
1.2 Justificación.....	2
1.3. Diseño teórico	3
1.3.1. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1.1. Situación problemática.....	3
1.3.1.2. Determinación del problema	5
1.4. Objetivos	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Definición de variables independientes y dependientes.....	6
1.6.1. Variable independiente.....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.6.3. Conceptualización y operacionalización de variables.....	7
1.7. Diseño metodológico	8
1.7.1. Componentes.....	8
1.7.1.1. Unidades de estudio y decisión muestral	8
1.7.1.2. Unidad de estudio.....	8
1.7.1.3. Población.....	8
1.7.1.4. Muestra.....	8

1.7.1.5. Muestreo.....	9
1.8 Método y técnicas empleadas.....	9
1.8.1. Métodos.....	9
1.8.3 Ensayos previos a realizar.....	10
1.8.3. Metodología.....	11
1.9. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	11
1.10. Alcance de la investigación.....	12

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

	Pág.
2.1 cemento asfáltico.....	14
2.1.1. Definición.....	14
2.1.2. Refinación del petróleo para la obtención de cemento asfáltico.....	15
2.1.3. Composición química de asfalto.....	16
2.1.4. Clasificación de mezclas asfálticas.....	17
A) Por fracciones del agregado pétreo en la mezcla.....	17
b) Temperatura de la mezcla en la puesta en obra.....	17
c) Proporción de vacíos en la mezcla asfáltica.....	18
d) Por el tamaño máximo del agregado pétreo.....	19
e) Por la granulometría.....	19
f) Por la estructura del agregado pétreo.....	19
2.1.5. Ensayos para caracterizar el cemento asfáltico.....	20
2.1.5.1 penetración (ASTM D 5; AASHTO T49-97).....	20
2.1.5.2. Ductilidad (ASTM D 113; AASHTO T51-00).....	21
2.1.5.3. Punto de inflamación y combustión en la copa abierta de cleveland.....	22

2.1.5.4. Viscosidad (AASHTO T201; ASTM D 2170).....	22
2.1.5.5. Solubilidad	22
2.1.5.6. Peso específico.....	23
2.2. Áridos.....	23
2.2.1. Tipos de agregados utilizados en mezclas asfálticas.....	24
2.2.1.1. Agregado grueso	24
2.2.1.2. Agregado fino.....	24
2.2.1.3. Filler.....	25
2.2.2. Propiedades de los áridos	26
2.2.2.1. Granulometría	26
2.2.2.2. Material fino que pasa el tamiz no 200	27
2.2.2.3. Módulo de finura (mf).....	27
2.2.2.4. Contenido orgánico	29
2.2.2.5. Resistencia a la abrasión	29
2.2.2.6. Gravedad específica y densidad.....	29
2.2.2.7. Absorción y humedad superficial.....	30
2.2.2.8. Peso unitario y porcentaje de vacíos	30
2.2.3. Control de calidad de los agregados.....	30
2.2.4. Ensayos realizados a los agregados.....	31
2.2.4.1. Granulometría (ASTM E 40; AASHTO T27-99).....	31
2.2.4.2. Densidad real, densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos y finos.	32
2.2.4.3. Equivalente de arena (ASTM D 2419; AASHTO T176-00)	32
2.2.4.4. Desgaste mediante la máquina de los ángeles (AASHTO T96-99).....	32
2.2.4.5. Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88; AASHTO T104-99).....	33

2.2.4.6. Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)	33
2.2.4.7. Porcentaje de partículas planas y alargadas (ASTM D4791).....	33
2.2.5. Especificaciones que deben cumplir los agregados	33
2.2.5.1. Agregado grueso	33
2.2.5.2. Agregado fino.....	34
2.3. Mezclas asfálticas.....	35
2.3.1. Tipos de mezclas asfálticas	35
2.3.1.1. Mezclas asfálticas en caliente	35
2.3.1.2. Mezclas asfálticas en frío.....	36
2.3.1.3. Mezclas porosas drenantes.....	36
2.3.1.4. Micro aglomerados.....	37
2.3.1.5. Masillas	37
2.3.1.6. Mezclas de alto módulo	37
2.3.2. Propiedades de las mezclas asfálticas	38
2.3.2.1. Peso específico de los agregados	38
2.3.2.2. Densidad máxima real de la mezcla (gr/cm ³).....	38
2.3.2.3. Densidad máxima teórica (gr/cm ³).....	39
2.3.2.4. Vacíos de la mezcla (%).....	40
2.3.2.5. Vacíos del agregado mineral v.a.m.%	41
2.3.2.6. Relación betumen vacíos (%).....	44
2.3.2.7. Estabilidad de la mezcla (lb)	45
2.3.2.8. Fluencia de la mezcla (1/100").....	46
2.3.2.9. Relación estabilidad – fluencia	46
2.4. Cauchos y Neumáticos.....	47

2.4.1. Procesos para la fabricación de neumáticos:.....	50
2.5. Polvo de llanta.....	51
2.6. Pavimentos con polvo de llanta.....	60
2.7. Preparación de las muestras (probetas) de ensayo	61
2.8. Procedimiento del ensayo Marshall	62
2.8.1. Determinación del peso específico total (AASHTO T 166)	62
2.8.2. Ensayos de estabilidad y fluencia	62
2.8.3. Valor de estabilidad Marshall	63
2.8.4. Valor de fluencia Marshall.....	63
2.8.5. Análisis de densidad y vacíos	63
2.8.6. Análisis de vacíos.....	64
2.8.7. Análisis de VMA.....	64
2.9. Criterios de diseño normalizado.....	65
2.9.1 Requisitos del agregado pétreo	67

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, CEMENTO ASFÁLTICO Y RESIDUO DE CAUCHO

	Pág.
3.1. Introducción	69
3.2. Selección de materiales	69
3.2.1. Ubicación	69
3.2.2. Obtención del material pétreo y cemento asfaltico	70
3.2.3. Obtención del polvo de caucho reciclado	71
3.2.3.1. Material polvo de caucho	71
3.2.1 Planteamiento de la investigación.....	72

3.3. Ensayos de caracterización de agregados.	73
3.3.1. Granulometría (AASHTO T – 27).....	73
3.3.2. Peso específico (AASHTO T – 84).....	77
3.3.3. Caras fracturadas ASTM D-5821.....	78
3.3.4. Desgaste de los Ángeles (AASHTO T – 96)	79
3.3.5. Equivalente de arena (AASHTO T – 176).....	81
3.4. Ensayos de caracterización del cemento asfáltico.	82
3.4.1. Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T – 72).....	82
3.4.2. Punto de inflamación (AASHTO T – 48).....	83
3.4.3. Penetración (AASHTO T – 49).....	85
3.4.5. Peso específico (AASHTO T – 228).....	87
3.4.6. Resultados de la caracterización del cemento asfáltico	89
3.5. Ensayos de caracterización del polvo de caucho reciclado.....	89
3.5.1. Granulometría (AASHTO T – 27).....	91

CAPITULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

	Pág.
4.1. Descripción de la investigación	93
4.2. Procedimiento marshall convencional	93
4.2.1. Contenido mínimo de cemento asfáltico.....	93
4.2.1.1. Método basado en la distribución de tamaño de la partícula	94
4.2.2. Contenido optimo de cemento asfáltico.....	95
4.2.2.1. Diseño de la mezcla asfáltica convencional.....	95
4.2.2.2. Resultados de la mezcla asfáltica convencional.....	104
4.3 procedimiento marshall a briquetas con adición de polvo de caucho	109

4.3.0. Metodología de puesta en obra de mezclas asfálticas modificadas	109
4.3.1. Dosificación de briquetas modificadas con la adición de polvo de caucho.	116
4.3.1.1. Diseño granulométrico	116
4.3.2. Resultados de la mezcla asfáltica convencional.....	124
4.3.3. Precios unitarios para carpeta asfáltica convencional	136
4.3.4. Precios unitarios para carpeta asfáltica modificada con 1% de polvo	137
4.3.5. Precios unitarios para carpeta asfáltica modificada con 2% de polvo	138
4.3.6. Precios unitarios para carpeta asfáltica modificada con 3% de polvo	139
4.3.7. Precios unitarios para carpeta asfáltica modificada con 4% de polvo	140
4.3.8. Síntesis de resultados	141
4.3.8.1. Porcentaje de polvo de caucho recomendado	145
4.3.9. Factibilidad técnica, económica, socio-ambiental:	146

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Pág.

5.1. Conclusiones	151
5.2. Recomendaciones.....	152

Bibliografía

ANEXOS

Anexo 1	Fotografías de la caracterización del material granular
Anexo 2	Fotografías de la caracterización del cemento asfáltico
Anexo 3	Elaboración de briquetas
Anexo 4	Documentación

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1 Esquema metodológico.....	11
Figura 2 Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.	16
Figura 3 Ensayo normal de penetración.....	21
Figura 4 Ensayo de ductilidad.....	22
Figura 5 Diagrama de partículas en la mezcla asfáltica.....	43
Figura 6 Extracción del caucho.....	49
Figura 7 Producción mundial del caucho por país.....	50
Figura 8 Composición de los neumáticos de automóviles.....	51
Figura 9 Esquema del proceso para la obtención del polvo de llanta.....	54
Figura 10 Proceso de trituración primaria.....	55
Figura 11 Máquinas granuladoras primarias.....	56
Figura 12 Separador magnético de acero.....	56
Figura 13 Maquina granuladora secundaria.....	57
Figura 14 Producto final del proceso.....	57
Figura 15 Granos de diferentes granulometrías (entre 0,5 y 3 mm).....	59
Figura 16 Polvo de llanta.....	59
Figura 17 Ubicación del estudio.....	70
Figura 18 Ubicación del banco de material.....	70
Figura 19 Polvo de caucho producido por Ingoqui.....	72
Figura 20 Curva granulométrica grava.....	74
Figura 21 Curva granulométrica gravilla.....	75
Figura 22 Curva granulométrica arena.....	76
Figura 23 Caracterización del polvo de caucho reciclado.....	89

Figura 24 Curva granulométrica "polvo de caucho"	92
Figura 25 Contenido mínimo de cemento asfáltico	94
Figura 26 Curva densidad vs % de asfalto	106
Figura 27 Curva estabilidad vs % asfalto.....	106
Figura 28 Flujo vs % asfalto	107
Figura 29 Curva vacíos vs % asfalto.....	107
Figura 30 Curva % de rbv vs % asfalto.....	108
Figura 31 Curva vacíos agregado mineral vs % asfalto	108
Figura 32 Curva densidad vs % de polvo de caucho	141
Figura 33 Curva estabilidad vs % polvo de caucho	142

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1	Conceptualización y operacionalización de variables	7
Tabla 2	Ensayos de caracterización	10
Tabla 3	Composición química del asfalto.....	17
Tabla 4	Clasificación de las mezclas asfálticas de acuerdo a su granulometría	19
Tabla 5	Grados estándar del filler mineral.....	25
Tabla 6	Propiedades de los áridos.....	26
Tabla 7	Condiciones de humedad de las partículas de los áridos	30
Tabla 8	Distribución de esfuerzos.....	31
Tabla 9	Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	32
Tabla 10	Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.....	34
Tabla 11	Especificaciones que debe cumplir el agregado fino	34
Tabla 12	Graduación del agregado fino de acuerdo a aashto 29.....	35
Tabla 13	Valores recomendados para los v.a.m. (vacíos de agregado mineral)	42
Tabla 14	Granulometría grava	74
Tabla 15	Granulometría gravilla.....	75
Tabla 16	Granulometría arena.....	76
Tabla 17	Peso específico grava.....	77
Tabla 18	Peso específico gravilla.....	78
Tabla 19	Peso específico arena	78
Tabla 20	Caras fracturadas-grava.....	79
Tabla 21	Caras fracturadas-gravilla	79
Tabla 22	Desgaste de los ángeles-grava.....	80
Tabla 23	Desgaste de los ángeles-gravilla	80

Tabla 24 Equivalente de arena	81
Tabla 25 Resultados viscosidad saybolt furol.....	83
Tabla 26 Resultados del punto de inflación	84
Tabla 27 Resultados ensayo de penetración.....	86
Tabla 28 Resultados ensayo de ductilidad	87
Tabla 29 Resultados de ensayo de peso específico.....	88
Tabla 30 Composición ponderal aproximada de los neumáticos de turismo y camión ...	90
Tabla 31 Trituración de neumáticos.....	90
Tabla 32 Granulometría material fino (residuo de caucho)	91
Tabla 33 Diseño granulométrico convencional método marshall astm d 1535	95
Tabla 34 Curva granulométrica método marshall convencional.....	96
Tabla 35 Dosificación para contenido mínimo de cemento asfáltico	97
Tabla 36 Planilla marshall para mezcla asfáltica convencional.....	105
Tabla 37 Determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico	109
Tabla 38 Diseño granulométrico con polvo de caucho método astm d 1535	116
Tabla 39 Curva granulométrica método marshall convencional.....	117
Tabla 40 Dosificaciones de briquetas para polvo de caucho del 0% al 10%	118
Tabla 41 Planilla marshall para briquetas modificadas con polvo de caucho.....	125

INDICE DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1 Recolección del material	71
Imagen 2 Preparación de material granular para elaboración de briquetas	98
Imagen 3 Pesado de cemento asfáltico en taras	99
Imagen 4 Calentado simultáneo de material granular y cemento asfáltico.....	100
Imagen 5 Calentado de cemento asfáltico.....	100
Imagen 6 Vertido de cemento asfáltico al material granular (160°C).....	101
Imagen 7 Engrasado de moldes previo vertido de material	101
Imagen 8 Vaciado de material en moldes	102
Imagen 9 Colocado de briquetas al compactador mecánico	102
Imagen 10 Volteo de briquetas	103
Imagen 11 Desmoldeado de briquetas mediante gato hidráulico.....	103
Imagen 12 Sumergido de briquetas en agua a temperatura deseada.....	104
Imagen 13 Colocado de briquetas en la mordaza marshall.....	104
Imagen 14 Mezclado de materiales en la elaboración de briquetas	122
Imagen 15 Equipo de protección respiratoria	122
Imagen 16 Briqueta al 9% de polvo de caucho que se fracturo en el manejo.....	123
Imagen 17 Briquetas elaboradas con la adición de polvo de caucho	123