

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



**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA ADICIÓN EN
DIFERENTES PORCENTAJES DE RESIDUO DE CAUCHO EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES ”**

Por:

MARIA RENE MENDIVIL VELÁSQUEZ

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 II- 2016

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA ADICIÓN EN
DIFERENTES PORCENTAJES DE RESIDUO DE CAUCHO EN
MEZCLAS ASFÁLTICAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES ”**

Por:

MARIA RENE MENDIVIL VELÁSQUEZ

SEMESTRE II- 2016

TARIJA - BOLIVIA

.....
M.Sc.Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc.Ing. Silvana Paz Ramírez
VICEDECANA
FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGIA

TRIBUNAL:

.....
Ing. Luis Alberto Yurquina F.

.....
Ing. Moisés Díaz Ayarde

.....
Ing. Luis Aguilar Velásquez

ADVERTENCIA

El Tribunal Calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo esto responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS:

Esta tesis de la dedico a Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, dándome fortaleza para continuar.

A mi mamita; María Abundia Velásquez Vargas por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su sacrificio, amor, apoyo y ser ejemplo de perseverancia en mi vida.

A mis hermanos y hermanas; por el cariño y confianza y a mi hijita Alexia Kenia Mendivil Sigler quien ha sido y es mi motivación, inspiración y felicidad en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A mi mamita María Abundía Velásquez Vargas a quien jamás encontrare la forma de agradecer su apoyo, confianza y comprensión.

Un agradecimiento especial al: Ing. Fernando Ernesto Mur Lagraba por su apoyo incondicional en toda la etapa del proyecto, le estaré eternamente agradecida.

A mi hermano Ing. Manuel Alexander Mendivil Velásquez que me brindó su apoyo, y palabras de aliento para poder concluir con esta etapa en mi vida.

Al SEDECA por haberme brindado el laboratorio de asfaltos para poder realizar mis ensayos.

A los trabajadores del SEDECA: Ing. Luis Vargas, a los técnicos Samuel Rocabado y Celso Velásquez por haberme brindado su apoyo en los ensayos.

PENSAMIENTO:

“El único lugar donde tus sueños son imposibles es en tus pensamientos”

Robert H. Schulle.

INDICE DE CONTENIDO

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPITULO I

	pág.
1 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 PROBLÉMICA	3
1.3.1.2 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA	4
1.4 OBJETIVOS	4
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	4
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 HIPOTESIS	5
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES	5
1.6.1 Variable independiente	5
1.6.2 Variable dependiente	5
1.6.3 Conceptualización y Operacionalización de Variables	5
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO	6
1.7.1 COMPONENTES	6
1.7.1.1 Unidades de Estudio y Decisión Muestral	6
1.7.1.2 Unidad de Estudio	6

1.7.1.3	Población	6
1.7.1.4	Muestra	6
1.7.1.5	Muestreo	7
1.8	MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS	8
1.8.1.	Metodología	9
1.8.2	Descripción de Equipos e Instrumentos	10
1.8.3	Procedimiento de Aplicación	11
1.8.4	Preparación previa	12
1.9	PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN	12
1.10	ALCANCE DE LA INVESTIGACION	13

CAPITULO II CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

2.1	EL CEMENTO ASFÁLTICO	15
	2.1.1 Definición	15
2.2	REFINACIÓN DEL PETROLEO CRUDO PARA LA OBTENCIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO	16
2.3	COMPOSICIÓN QUIMICA DEL ASFALTO	17
2.4	ENSAYOS PARA CARACTERIZAR EL CEMENTO ASFALTICO	18
2.5	AGREGADOS PARA EL USO EN MEZCLAS ASFALTICAS	18
	2.5.1 Generalidades	18
	2.5.2. Tipos de Agregados Utilizados en Mezclas Asfálticas	19
	2.5.2.1 Agregado Grueso	19
	2.5.2.2 Piedra Triturada	19
	2.5.2.3 Grava Triturada	20
	2.5.2.4 Agregado Fino	20
	2.5.2.5 Arena	20
	2.5.2.6 Filler	21
	2.5.3 Ensayos en la Calidad de los Agregados	22
2.6	TIPOS DE MEZCLAS ASFALTICAS	23
	2.6.1 Mezclas Asfálticas en Caliente	23
	2.6.2 Mezclas Asfálticas en Frio	23
	2.6.3 Mezclas Porosas Drenantes	24
	2.6.4 Micro aglomerados	24
	2.6.5 Masillas	25
	2.6.6 Mezclas de Alto Modulo	25
2.7	CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS	26
	2.7.1 Peso Específico de los Agregados	26

2.7.2	Densidad Máxima Real de la Mezcla	27
2.7.3	Densidad Máxima Teórica	27
2.7.4	Vacíos de la Mezcla	28
2.7.5	Vacíos del Agregado Mineral	30
2.7.6	Relación Betumen de Vacíos	34
2.7.7	Estabilidad de la Mezcla	34
2.7.8	Fluencia de la Mezcla	36
2.7.9	Relación Estabilidad - Fluencia	36
2.8	OBJETIVO DE LA MEZCLA ASFALTICA	37
2.8.1	Durabilidad	37
2.8.2	Impermeabilidad	37
2.8.3	Trabajabilidad	38
2.8.4	Flexibilidad	38
2.8.5	Resistencia a la Fatiga	38
2.9	CAUCHO	38
2.9.1	Definición	38
2.9.2	Caucho Natural	38
2.9.3	Caucho Sintético	39
2.9.4	Diferencias entre el Caucho Sintético y Caucho Natural	39
2.9.5	Polvo de Caucho	39
2.9.6	Incorporación de Residuo de Caucho a Mezclas Asfálticas	40
2.9.6.1	Vía Seca	40
2.9.6.2	Vía Húmeda	41
2.10	DISEÑO MARSHALL DE MEZCLAS ASFALTICAS	41
2.10.1	Descripción	41
2.10.2	Análisis de Resultados Ensayo Marshall	44
2.11	CRITERIOS DE DISEÑO NORMALIZADO	46
2.12	ANÁLISIS DE PRESUPUESTO	49
2.12.1	Introducción	49
2.12.2	Precios Unitarios	50

2.12.3 Elementos de los Precios Unitarios	50
2.12.3.1 Costos Directos	50

CAPITULO III

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, CEMENTO ASFÁLTICO Y RESIDUO DE CAUCHO

3.1	INTRODUCCIÓN	51
3.2	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES	51
3.3	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	52
3.3.1	Granulometria (AASHTO T – 27)	53
3.3.2	Peso específico (AASHTO T – 84)	56
3.3.3	Caras Fracturadas	57
3.3.4	Desgaste de los Ángeles (AASHTO T – 96)	58
3.3.5	Equivalente de Arena (AASHTO T – 176)	60
3.3.6	Durabilidad Método de los Sulfatos (AASHTO T – 104)	61
3.3.7	Límites de Atterberg (AASHTO T – 89)	62
3.4	ENSAYO DE CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO	63
3.4.1	Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T – 72)	64
3.4.2	Punto de Inflamación (AASHTO T – 48)	65
3.4.3	Penetración (AASHTO T – 49)	66
3.4.4	Ductilidad (AASHTO T – 51)	68
3.4.5	Peso Específico (AASHTO T – 228)	69
3.5	ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DEL CAUCHO	70
3.5.1	Granulometria (AASHTO T – 27)	72
3.5.2	Densidad del Residuo de Caucho	74
3.5.3	Adherencia del Residuo de Caucho	74

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRESUPUESTO

4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	76
4.2	PROCEDIMIENTO MARSHALL	76
4.3	MÉTODO MARSHALL	84
4.3.1	Diseño De La Mezcla Asfáltica Convencional	84
4.3.1.1	Resultados De La Mezcla Asfáltica Convencional	85
4.3.1.2	Tratamiento Estadístico Básico	88
4.3.2	Diseño de la Mezcla Asfáltica con el 1% de Residuo de Caucho	90
4.3.2.1	Tratamiento Estadístico Básico al 1% de Residuo De Caucho	91
4.3.3	Diseño de la Mezcla Asfáltica con el 2% de Residuo De Caucho	93
4.3.3.1	Tratamiento Estadístico básico al 2% de Residuo De Caucho	94
4.3.4	Diseño de la Mezcla Asfáltica con el 3% de Residuo De Caucho	97
4.3.4.1	Tratamiento Estadístico Básico al 3% de Residuo De Caucho	98
4.3.5	Diseño de la Mezcla Asfáltica con el 4% de Residuo De Caucho	101
4.3.5.1	Tratamiento Estadístico Básico al 4% de Residuo De Caucho	102
4.4	RESUMEN DE LOS RESULTADOS FINALES CON CADA PORCENTAJE DE RESIDUO DE CAUCHO	105
4.4.1	Análisis de Figuras	106
4.4.2	Análisis de Resultados	109

4.4.2.1	Análisis de resultados del Método Marshall con Diferentes Porcentajes Residuos de Caucho	109
4.5	PRESUPUESTO	124
4.5.1	Precios Unitarios Mezcla Asfáltica Convencional	125
4.5.2	Precios Unitarios Mezcla Asfáltica con Residuo de Caucho	127
4.5.3	Analisis de Comparación Costo Mezcla Asfáltica Convencional Vs Costo Mezcla con Residuo de Caucho	129

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES	130
5.2	RECOMENDACIONES	131

Bibliografía

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

		pág.
Tabla 1.1	Conceptualización y Operacionalización de Variables	5
Tabla 1.2	Cantidad de ensayos de caracterización	8
Tabla 1.3	Cantidad de ensayos de resistencia de la estabilidad Marshall	8

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

Tabla 2.1	Composición química del asfalto	18
Tabla 2.2	Grados Estándar del Filler Mineral	21
Tabla 2.4	Valores Recomendados para los V.A.M	31
Tabla 2.5	Composición Ponderal de los Neumáticos	39
Tabla 2.6	Ensayos de laboratorio Normalizados para Agregados	46
Tabla 2.7	Ensayos de laboratorio Normalizados para Asfaltos	47
Tabla 2.8	Requisitos de calidad del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.	48
Tabla 2.9	Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa.	48
Tabla 2.10	Requisitos de calidad para cemento asfáltico, clasificado por viscosidad dinámica a 60°C.	49

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, CEMENTO ASFÁLTICO Y
RESIDUO DE CAUCHO

Tabla 3.1	Granulometria Material Grueso	53
Tabla 3.2	Granulometria Material Fino (Arena)	54
Tabla 3.3	Granulometria Material Fino (Filler)	55
Tabla 3.4	Peso Específico del Agregado Grueso	57
Tabla 3.5	Caras Fracturadas Material 3/4	58
Tabla 3.6	Caras Fracturadas Material 3/8	58
Tabla 3.7	Desgaste de los Ángeles Material 3/4	59
Tabla 3.8	Desgaste de los Ángeles Material 3/8	60
Tabla 3.9	Equivalente de Arena	61
Tabla 3.10	Durabilidad de los Asfaltos (Agregado Grueso)	62
Tabla 3.11	Durabilidad de los Asfaltos (Agregado Fino)	62
Tabla 3.12	Limite Liquido	63
Tabla 3.13	Resultados de Viscosidad Saybolt Furol	65
Tabla 3.14	Resultados del Punto de Inflamación	66
Tabla 3.15	Resultados de Ensayos de Penetración	68
Tabla 3.16	Resultado de Ensayo de Ductilidad	69
Tabla 3.17	Resultado de Ensayo de Peso Específico	70
Tabla 3.18	Granulometria Agregado Fino (Residuo de Caucho)	73
Tabla 3.19	Densidad Residuo de Caucho	74
Tabla 3.20	Adherencia del Residuo de Caucho con Gravilla	74
Tabla 3.21	Adherencia del Residuo de Caucho con Grava	75

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRESUPUESTO

Tabla 4.1	Resumen de Resultados Método Marshall Convencional	89
Tabla 4.2	Resumen de resultados del método Marshall añadiendo 1 % De Residuo de Caucho	92
Tabla 4.3	Resumen de resultados del método Marshall añadiendo 2 % De Residuo de Caucho	96
Tabla 4.4	Resumen de resultados del método Marshall añadiendo 3 % <i>De Residuo de Caucho</i>	100
Tabla 4.5	Resumen de resultados del método Marshall añadiendo 4 % De Residuo de Caucho	104
Tabla 4.6	Resumen de resultados finales por cada porcentaje	102
Tabla 4.7	Valores de Marshall	122

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1.1	Población	6
Figura 1.2	Esquema Metodológico	9

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

Figura 2.1	Proceso de refinación del petróleo para obtención del asfalto.	17
Figura 2.2	Distribución de esfuerzos	23
Figura 2.3	Distribución de Volúmenes en una Mezcla Asfáltica	30
Figura 2.4	Diagrama de partículas en la mezcla asfáltica	32
Figura 2.5	Trituración de llantas usadas	40
Figura 2.6	Rejilla de control de tamaños en el triturados	40

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, CEMENTO ASFÁLTICO Y RESIDUO DE CAUCHO

Figura 3.1	Curva Granulometrica Material Grueso	54
Figura 3.2	Curva Granulometria – Material Fino (Arena)	55
Figura 3.3	Curva Granulométrica - Material Fino (Arena Filler)	56

Figura 3.4	Limite Liquido	63
Figura 3.6	Curva Granulometria – Material Fino (Residuo de Caucho)	73

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRESUPUESTO

Figura 4.1	Curva Densidad vs % de Asfalto	85
Figura 4.2	Curva Estabilidad vs % Asfalto	85
Figura 4.3	Flujo vs % Asfalto	86
Figura 4.4	Curva % de Vacíos vs % Asfalto	86
Figura 4.5	Curva % de RBV vs % Asfalto	87
Figura 4.6	Curva Vacíos Agregado Mineral vs % Asfalto	87
Figura 4.7	Estabilidad Y Flujo Del Cemento Asfaltico Convencional	88
Figura 4.8	Estabilidad y Flujo con El 1% de Residuo de Caucho	91
Figura 4.9	Estabilidad y Flujo con el 2% de Residuo de Caucho	95
Figura 4.10	Estabilidad y Flujo con el 3% de Residuo de Caucho	99
Figura 4.11	Estabilidad y Flujo con el 4% de Residuo de Caucho	103
Figura 4.12	Densidad vs % de Residuo de Caucho	106
Figura 4.13	Estabilidad vs % de Residuo de Caucho	106
Figura 4.14	Flujo vs % de Residuo de Caucho	107
Figura 4.15	% de Vacíos de las Mezclas vs % de Residuo de Caucho	107
Figura 4.16	% Relación Betún Vacíos vs % de Residuo de Caucho	108
Figura 4.17	% de Vacíos de Agregado Mineral vs % de Residuo de Caucho	108
Figura 4.18	Comparación de los Resultados de la ESTABILIDAD	109
Figura 4.19	Comparación de los Resultados del Flujo	110
Figura 4.20	Comparación de los Resultados del % de Vacíos	111
Figura 4.21	Comparación de los Resultados de Densidad	112

Figura 4.22	Comparación de los Resultados de Relación de Betún Vacíos	113
Figura 4.23	Comparación de los Resultados del % de Vacíos de Agregado Mineral	114
Figura 4.24	Proyección y Explicación de la Definición del Porcentaje de Residuo de Caucho	115

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO, CEMENTO ASFÁLTICO Y RESIDUO DE CAUCHO

Imagen 3.1	Ubicación de la planta de SEDECA	52
------------	---	-----------

CAPÍTULO IV

DISEÑO, EVALUACIÓN, ANÁLISIS DE RESULTADOS Y PRESUPUESTO

Imagen 4.1	Pesado de la Mezcla	78
Imagen 4.2	Pesado del Residuo de Caucho de acuerdo al porcentaje que se empleara	78
Imagen 4.3	Residuo de Caucho	79
Imagen 4.4	Agregado y Cemento Asfáltico	79
Imagen 4.5	Elaboración de la Mezcla	80
Imagen 4.6	Elaboración de briquetas a temperatura de 135°C	80
Imagen 4.7	Compactación con martillo con 75 golpes por cara	81
Imagen 4.8	Desmoldado de briquetas después de un reposo mínimo de 2 hrs.	81
Imagen 4.9	Briquetas sumergidas en agua a 10°C	82

Imagen 4.10	Colocado de briquetas en la mordaza Marshall	83
Imagen 4.11	Lectura del dial de Estabilidad (dentro del anillo Marshall) y el dial de Deformación para el Flujo	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

CAPÍTULO II

CONCEPTUALIZACIÓN DEL TEMA

Ec. 2.1	Peso específico de los agregados	26
Ec. 2.2	Densidad Máxima Real de la Mezcla	27
Ec. 2.3	Densidad Máxima Teórica	28
Ec. 2.4	Vacíos de la Mezcla	29
Ec. 2.5	Vacíos del Agregado Mineral	33
Ec. 2.6	Relación Betumen-Vacíos	34

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1

IMAGENES

- A.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**
 - A.1.1.1. Granulometría (AASHTO T – 27)**
 - A.1.1.2. Peso específico (AASHTO T – 84)**
 - A.1.1.3. Desgaste de los Ángeles (AASHTO T – 96)**
 - A.1.1.4. Equivalente de Arena (AASHTO T – 176)**
 - A.1.1.5. Durabilidad Método de los Sulfatos (AASHTO T – 104)**
 - A.1.1.6. Límites de Atterberg (AASHTO T – 89)**

ANEXO 2

- A.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO**
 - A.1.2.1. Punto de Inflamación (AASHTO T – 48)**
 - A.1.2.2. Penetración (AASHTO T – 49)**
 - A.1.2.3 Viscosidad Saybolt Furol (AASHTO T – 72)**
 - A.2.3.3. Punto De Ablandamiento (Aparato Del Anillo y Esfera) AASHTO: T 53-92**

ANEXO 3

A.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DE CAUCHO

- A.1.3.1. Granulometría (AASHTO T – 27)**

A.1.3.2. Densidad

A.1.3.3 Adherencia

ANEXO 4

A.1.4. DISEÑO MARSHALL ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

A.1.4.1. Agregado Separado Por Tamices

A.1.4.2. Residuo de Caucho para la Dosificación

A.1.4.3. Pesando Material para la Mezcla Asfáltica

A.1.4.4. Añadiendo el Residuo de Caucho para la Mezcla

A.1.4.5. Preparando la Mezcla para la Briqueta

A.1.5.6. Golpeado de las Briquetas

A.1.5.7. Desmoldado de las Briquetas

A.1.5.8 Colocado de Briquetas en la Mordaza Marshall

ANEXO 5

MEMORIA DE CALCULO

A.1.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

A.1.5.1. Contenido de Humedad en Estado Natural.

A.1.5.2. Granulometría (AASHTO T – 27)

A.1.5.3. Peso específico del Agregado Grueso (AASHTO T – 84)

A.1.5.4. Peso específico del Agregado Fino (AASHTO T – 84)

A.1.5.5. Desgaste de los Ángeles (AASHTO T – 96)

A.1.5.6. Equivalente de Arena (AASHTO T – 176)

ANEXO 6

A.1.6. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

A.1.6.1. Punto de Inflamación por el Vaso Abierto de Cleveland.

A.1.6.2. Ensayo de Penetración

A.1.6.3. Punto de Ablandamiento

ANEXO 7

A.1.7. DISEÑO MARSHALL ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL

**A.1.7.1. Procedimiento de Análisis y Compactación de Muestras
Aplicación**

A.1.7.2. Mezcla Asfáltica con Porcentajes de Residuo de Caucho

**A.1.7.3. Determinación de la Densidad, Estabilidad y Fluencia
Marshall.**

ANEXO 8

DOCUMENTACIÓN DE RESPALDO