



UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE DE GUAYAQUIL

DEPARTAMENTO DE POSGRADO

**MAESTRÍA EN: INGENIERÍA CIVIL MENCIÓN CONSTRUCCIÓN
CIVIL SUSTENTABLE**

TRABAJO DE TITULACIÓN

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN INGENIERÍA
CIVIL MENCIÓN CONSTRUCCIÓN CIVIL SUSTENTABLE**

TEMA

**UTILIZACIÓN DE CAUCHO RECICLADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
UNA CARPETA ASFÁLTICA SUSTENTABLE EN UNA VÍA DE TERCER
ORDEN.**

Autor: Ing. Civil Edwin Daniel Tapia Barzola

Tutor: Ing. Kleber Alberto Moscoso Riera M.Sc.

GUAYAQUIL-ECUADOR

2022



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS

TÍTULO Y SUBTÍTULO:

Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden

AUTOR/ES:

Tapia Barzola Edwin Daniel

REVISORES O TUTORES:

Moscoso Riera Kleber Alberto

INSTITUCIÓN:

Universidad Laica Vicente
Rocafuerte de Guayaquil

Grado obtenido:

Magíster en Ingeniería Civil Mención Construcción
Civil Sustentable

DEPARTAMENTO DE

POSGRADO:

Maestría en Ingeniería Civil

COHORTE:

I

FECHA DE PUBLICACIÓN:

2022

N. DE PAGES:

140

ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción

PALABRAS CLAVE: Efecto invernadero, betún asfáltico, betún modificado, caucho, contaminación, desecho, impacto ambiental, mitigación, reciclaje.

RESUMEN:

La innegable contaminación que sufre nuestro planeta y que va en auge día a día nos lleva a investigar el ¿Por qué? de ella para luego investigar y encontrar soluciones amigables con el medio ambiente. Una de las grandes causas que generan esta contaminación son los denominados gases de efecto de invernadero con su principal componente contaminante el dióxido de carbono. Por otro lado, existe un desecho que presenta un gran indicador de crecimiento, se trata de los neumáticos vehiculares que cada día van en aumento debido a su gran producción por el crecimiento poblacional y por ende vehicular. Mientras tanto la gestión política y ambiental para neutralizar este desecho es muy débil, por lo que, esta investigación se basa en buscar soluciones en diseños de carreteras ecológicas con carpetas asfálticas modificadas con la adición de miga de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso.

La reciclabilidad del caucho granulado y su buen desempeño en el empleo de material para carpetas asfálticas modificadas, justifica la implementación de nuevas tecnologías y estudios de laboratorio que demuestren la mejora estructural de la carpeta asfáltica y permitan crear nuevas políticas regulatorias para la gestión de este residuo, ayudando de esta manera a mitigar la contaminación ambiental por el gran impacto al medio ambiente generado por la quema indiscriminada de neumáticos fuera de uso que no tienen ya espacios en los centros de acopio existentes.

N. DE REGISTRO (en base de datos):**N. DE CLASIFICACIÓN:**

DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	
ADJUNTO PDF:	SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: Tapia Barzola Edwin Daniel	Teléfono: 0982679715
	E-mail: danieltapia91@outlook.com etapiab@ulvr.edu.ec
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Mg. Eva Marjoriet Guerrero López, PhD. Teléfono: (04)2596500 Ext. 170 E-mail: eguerrerol@ulvr.edu.ec Directora del Departamento de Posgrado Mg. Ing. Civil Kleber Alberto Moscoso Riera Teléfono: (04)2596500 Ext. 170 E-mail: kmoscosor@ulvr.edu.ec Coordinador de maestría

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación:

A mi madre la Licenciada Liria Lourdes Barzola Miranda, a quien no solo quiero agradecerle por darme la vida, sino también por permanecer junto a mí en cada meta que me propuse a lo largo de mi vida e inculcarme valores, y convicciones orientadas a ser una mejor persona tanto en el ámbito personal como profesional; sé que formarme no fue una misión sencilla, pero puede estar segura que dedicaré cada día de mi vida para hacerla sentir orgullosa de mi.

A mi padre el Ingeniero Zootecnista Edwin Oswaldo Tapia Moreno, MSc quien me inspiró a tener un espíritu ganador de perseverancia, a nunca darme por vencido y siempre proponerme una nueva meta día a día. Cada logro en mi vida será también dedicado a usted papá, a usted que lo llevo en mis venas.

A mis hermanos Daniela y Miguel quienes con sonrisas en los buenos y malos momentos han sabido permanecer junto a mi dándome apoyo.

Al Ing. Arq. Fernando Abad Montero Msc. quien es mi amigo, docente, colega y a quien considero parte de mi familia.

A la persona que está a mi lado en este momento forjando cada día un mejor presente, Obstetra María Fernanda Arcalli Figueroa.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento:

Por sobre todas las cosas a Dios por darme la oportunidad de vivir día a día para cumplir cada una de mis metas.

A mi hermana Daniela Tapia una de las mujeres que más adoro en la vida, por brindarme su apoyo en esta difícil, pero bonita etapa de mi vida realizando a mi lado los respectivos ensayos de laboratorio de asfalto.

Al Ingeniero Civil, Arquitecto, Magíster Fernando Abad Montero por su gran apoyo a lo largo de mi vida estudiantil y profesional, mis gratos agradecimientos por formar mis cimientos como persona, como profesional y por compartir sus conocimientos y revisiones durante este proceso de formación académica.

Al Ing. Douglas Iturburu, MSc decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas en la Universidad de Guayaquil, por haber apoyado al crecimiento profesional permitiéndome ejecutar mis ensayos en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto. Cabe mencionar el orgullo que siento de formar parte de la Universidad de Guayaquil.

A la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil por haberme formado como profesional de cuarto nivel. Y a mí tutor de tesis Ing. Kleber Moscoso Riera, MSc.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO URKUND

TESIS EDWIN TAPIA

INFORME DE ORIGINALIDAD

8 %	9 %	1 %	8 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	avina.livestudio.ec Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.uide.edu.ec Fuente de Internet	2 %
3	www.ecotec.edu.ec Fuente de Internet	1 %
4	docplayer.es Fuente de Internet	1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
6	issuu.com Fuente de Internet	1 %
7	www.ambiente.gob.ec Fuente de Internet	1 %

Excluir citas Apagado Excluir coincidencias < 1%
Excluir bibliografía Apagado

Atentamente,



Mg. Ing. Civil Kleber Alberto Moscoso Riera
C.I.: 0908960628

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Guayaquil, 22 de febrero del 2022

Por medio del presente, el suscrito Ing. Daniel Tapia Barzola con C.I. 1207169598 en calidad de maestrante de la Maestría en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable - cohorte I realizada en la Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, declaro bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, **Utilización de caucho reciclado para la construcción de carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden**, corresponde totalmente a mi autoría y me responsabilizo con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma manera, cedo los derechos patrimoniales y de titularidad a la **Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil**, según los establece la normativa vigente.

Atentamente,

Ing. Civil Daniel Tapia Barzola
RUC: 1207169598001
email: danieltapia91@outlook.com

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DE TUTOR

Guayaquil, 22 de febrero del 2022

Certifico que el proyecto de investigación, **Utilización de caucho reciclado para la construcción de carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden**, ha sido elaborado por el **In. Edwin Daniel Tapia Barzola** bajo mi tutoría, y que el mismo reúne los requisitos para ser defendido ante el tribunal examinador que se designe al efecto.

Atentamente,



Mg. Ing. Civil Kleber Alberto Moscoso Riera
C.I.: 0908960628

TABLA DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	1
Planteamiento del problema.....	1
Formulación del problema	2
Delimitación del problema de investigación.....	2
Delimitación de la investigación	2
Línea de investigación Institucional.....	3
Objetivos	3
Objetivo general.	3
Objetivos específicos.	3
Justificación de la investigación.....	4
Hipótesis.....	5
Definición de las variables.	6
Variables independientes.	6
Variable dependiente.....	6
CAPÍTULO 2 MARCO TEÓRICO	7
Gestión Sostenible Huella de Carbono, Ecológica e Hídrica.....	8
Auge y aplicaciones de los Neumáticos fuera de uso (NFU) en el mundo.....	10
Aplicación de los neumáticos fuera de uso en carpetas asfálticas	17
Análisis e Influencia de Materiales Reciclados en Mezclas Asfálticas	18
Pavimentos asfálticos y su incidencia en el desarrollo de un país.	25
Tecnologías y técnicas en la gestión de pavimentos.....	26
Uso de materiales reciclados, impacto económico y medio ambiental.....	28
MARCO CONCEPTUAL.....	31
Efecto invernadero	31
Betún asfáltico.....	31
Betún modificado con caucho reciclado	31
Impermeabilidad	32
Reciclaje	32
Responsabilidad ambiental.....	32
Compuesto elastomérico	32
Impacto ambiental.....	32
Mitigación del cambio climático.....	33
MARCO LEGAL	33
CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE.....	34
Artículo 3. – Fines., numerales:	34
Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.	34
Artículo 9.- Principios ambientales.	35
Título III - Régimen De Responsabilidad Ambiental	35
Artículo 16.- De la educación ambiental.....	35
Título V - Gestión integral de residuos y desechos - Capítulo I - Disposiciones generales.	35

Artículo 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos.	35
Título VI - Producción y consumo sustentable	36
Artículo 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable.....	36
Libro cuarto del cambio climático - Título I del cambio climático - Capítulo I	
Disposiciones generales	37
Artículo 248.- Fines.	37
Capítulo II - Instrumentos para la gestión del cambio climático.	38
Artículo 252.- Planificación territorial y sectorial para el cambio climático.	38
Título II – De la adaptación y mitigación del cambio climático - Capítulo I.	38
Artículo 258.- Criterios para las medidas de adaptación	38
Artículo 259.- Criterios para las medidas de mitigación.....	38
Artículo 260.- De los gases de efecto invernadero.	39
Capítulo II – Medidas mínimas para adaptación y mitigación.	39
Artículo 261.- De medidas mínimas.	39
REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE.....	40
Título VII – Gestión integral de residuos y desechos – Capítulo I Disposiciones generales.	40
Artículo 561.- Principios.....	40
Artículo 562.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos.	40
Capítulo I – Análisis de riesgo climático	40
Artículo 721.- Análisis de riesgo climático.....	40
INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS.	41
Artículo 3.	41
Artículo 15.	41
Artículo 25.	41
Artículo 26.	42
Disposiciones Transitorias.	42
INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN	43
Norma Ecuatoriana NTE INEN 2515:2010	43
Norma Ecuatoriana NTE INEN 2515: Enmienda 1	43
Norma Ecuatoriana NTE INEN 2061:2009	43
Norma Ecuatoriana NTE INEN 2680:2013	43
CAPÍTULO 3 MARCO METODOLÓGICO	44
Enfoque de la investigación	44
Alcance de la investigación.....	44
Tipo de investigación.	45
Métodos, y técnicas de investigación.....	45
Metodología específica.	52
Población.....	52

Muestra.....	53
CAPÍTULO 4 INFORME TÉCNICO.....	54
Título.....	54
Objetivos	54
Objetivo General	54
Objetivos Específicos.....	54
Exposición de los hechos.....	54
Análisis de tráfico proyectado a 20 años.....	55
Tráfico promedio diario semanal (TPDS).....	55
Tráfico promedio diario anual (TPDA).....	56
Tráfico generado (TG)	59
Tráfico por desarrollo (TD).....	60
Tráfico futuro (TF).....	60
Composición del trafico	60
Proyección del tráfico	61
Proyección del tráfico a 20 años (TP).....	62
Determinación del paquete estructural de la vía en estudio.....	63
Fuente de información.....	63
Materiales a usar	63
Agregados – cantera constructora Luzagui	64
Miga de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU)	74
Procedimiento y técnicas de análisis.....	79
Diseño Marshall de la mezcla asfáltica.....	79
Elaboración de briquetas	79
Equipo utilizado	80
Materiales	81
Procedimiento de elaboración de briquetas.....	81
Proceso de ensayo.....	84
Determinación de los pesos específicos bulk.....	84
Determinación de la estabilidad y flujo.....	85
Determinación de la densidad máxima teórica.....	86
Ensayo de Rice.....	86
Determinación, pero específico promedio de los agregados.....	87
Diseño de la mezcla asfáltica con la adición de CR de NFU.....	91
Elaboración de briquetas - Proceso por vía seca.....	92
Procedimiento de elaboración de briquetas.....	93
Resultados Obtenidos.....	96
Resultados de ensayo de Rice con CR.....	96
Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 1% de Caucho.....	97
Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 3% de Caucho.....	97
Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 5% de Caucho.....	98
Resultados de curvas vs Porcentaje de asfalto modificado.....	98
Análisis y discusión de resultados.....	104

Análisis de resultados para una mezcla con el 5 % de cemento asfáltico.....	105
Análisis de resultados para una mezcla con el 5,7 % de cemento asfáltico.	106
Análisis de resultados para una mezcla con el 6,5 % de cemento asfáltico.	108
Conclusiones.	109
Recomendaciones.....	112
Lista de referencias	114
Referencias	114
Anexos.....	117

Lista de tablas

Tabla 1 – Línea de investigación institucional.	3
Tabla 2 – Resumen tráfico promedio diario anual.	55
Tabla 3 – Tráfico promedio diario semanal.	58
Tabla 4 – Composición del tráfico promedio diario semanal y tráfico futuro.	61
Tabla 5 – Tasa de crecimiento.	62
Tabla 6 – Proyección del tráfico a 20 años.	62
Tabla 7 – Diseño estructural del pavimento	63
Tabla 8 – Diseño de la capa de rodadura	64
Tabla 9 – Granulometría de los agregados	65
Tabla 10 – Control de diseño	65
Tabla 11 – Granulometría de agregado ½”	66
Tabla 12 – Gravedades específicas de agregado ½”	67
Tabla 13 – Granulometría de agregado 3/8”	68
Tabla 14 – Gravedades específicas de agregado 3/8”	69
Tabla 15 – Granulometría de agregado Cisco	70
Tabla 16 – Gravedades específicas de agregado Cisco	71
Tabla 17 – Granulometría de agregado arena natural	72
Tabla 18 – Gravedades específicas de agregado arena natural	73
Tabla 19 – Graduación combinada de agregados	73
Tabla 20- Composición de los neumáticos en la Unión Europea	76
Tabla 21 - Composición química de los neumáticos usados	76
Tabla 22 – Dosificación de mezcla tradicional	80
Tabla 23 – Resultados de ensayo de Rice.	87
Tabla 24 – Resultados de la mezcla asfáltica.	88
Tabla 25 – Porcentaje óptimo de asfalto	91
Tabla 26 – Principales aplicaciones del polvo de NFU	92
Tabla 27 – Dosificación de mezcla adicionando caucho al 1, 3 y 5%.	92
Tabla 28 – Resultados de ensayo de Rice con CR.	96
Tabla 29 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 1% de Caucho.	97
Tabla 30 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 3% de Caucho.	97
Tabla 31 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 5% de Caucho.	98
Tabla 32 – Porcentaje óptimo de asfalto modificado.	104
Tabla 33 – Resumen de resultados.	105
Tabla 34 – Cantidades de agregados.	111

Lista de figuras

Figura 1 – Cantidad de neumáticos fabricados anualmente - Fuente: RECICLANIP	11
Figura 2 – Producción de neumáticos del 2008 en unidades - Fuente: Cámara de la industria del neumático de Argentina	12
Figura 3 - Resumen de usos del Caucho Reciclado – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).....	16
Figura 4 – Generación de neumáticos NFU (tn) - Fuente: Cámara de la industria del neumático de Chile	18
Figura 5 - Ventas anuales (camiones) – Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	47
Figura 6 - Ventas anuales (buses) - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	47
Figura 7 - Ventas anuales de vehículos motorizados en general - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)	48
Figura 8 - Importación anual de neumáticos (2004 - 2018) - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE).....	48
Figura 9 - Crecimiento Vehicular en Ecuador – Elaborado por: Tapia (2021)	49
Figura 10 - Crecimiento vehicular en la Provincia del Guayas – Elaborado por: Tapia (2021).....	50
Figura 11 – Estadísticas de la red vial estatal de septiembre 2019 – Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.....	50
Figura 12 – Estadísticas de la red vial estatal de abril 2020 – Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.	51
Figura 13 - Curva granulométrica agregado ½” - Fuente: Cantera Luzagui	66
Figura 14 - Curva granulométrica agregado 3/8” - Fuente: Cantera Luzagui	68
Figura 15 - Curva granulométrica agregado cisco - Fuente: Cantera Luzagui	70
Figura 16 - Curva granulométrica agregado arena natural - Fuente: Cantera Luzagui	72
Figura 17 - Curva granulométrica combinada - Fuente: Cantera Luzagui	74
Figura 18 - Composición de neumáticos - Fuente: Euromaster.....	77
Figura 19 - Componentes de neumáticos – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).	77
Figura 20 - Composición CR y las proporciones medias de los componentes – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).	78
Figura 21 – Polvo de neumático – Fuente: ECO-CAUCHO	78
Figura 22 – Polvo de neumático de (0 a 1)mm – (1 a 3)mm – Fuente: ECO-CAUCHO.....	79
Figura 23 – Peso en seco. Elaborado por: Tapia (2021).....	81
Figura 24 – Determinación de peso de los agregados de la briqueta. Elaborado por: Tapia (2021).....	82
Figura 25 – Preparación de la mezcla. Elaborado por: Tapia (2021)	82
Figura 26 – Elaboración de briquetas de ensayo. Elaborado por: Tapia (2021).....	83

Figura 27 – Briquetas. Elaborado por: Tapia (2021)	83
Figura 28 – Dimensionamiento de la briquetas. Elaborado por: Tapia (2021).....	84
Figura 29 – Pesos al aire, sumergidos. Elaborado por: Tapia (2021)	84
Figura 30 – Pesos superficialmente saturados. Elaborado por: Tapia (2021).....	85
Figura 31 – Especímenes en baño maría. Elaborado por: Tapia (2021)	85
Figura 32 – Ensayo Marshall de Estabilidad y Flujo. Elaborado por: Tapia (2021)	86
Figura 33 – Ensayo Rice. Elaborado por: Tapia (2021)	87
Figura 34 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	88
Figura 35 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	89
Figura 36 – Curva de vacíos en agregados minerales vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	89
Figura 37 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	89
Figura 38 – Curva de flujo vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021) .	90
Figura 39 – Agregados mezclados homogéneamente. Elaborado por: Tapia (2021)	93
Figura 40 – Determinación de temperatura de los agregados. Elaborado por: Tapia (2021).....	94
Figura 41 –Adición de polvo de caucho. Elaborado por: Tapia (2021).....	94
Figura 42 – Aumento de temperatura del caucho. Elaborado por: Tapia (2021)	94
Figura 43 – Preparación de la mezcla modificada. Elaborado por: Tapia (2021)	95
Figura 44 – Elaboración de las briquetas. Elaborado por: Tapia (2021)	95
Figura 45 – Especímenes con la adición de CR al 1, 3, 5 %. Elaborado por: Tapia (2021).....	96
Figura 46 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	98
Figura 47 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	99
Figura 48 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	99
Figura 49 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	99
Figura 50 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	100
Figura 51 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	100
Figura 52 – Curva de vacíos en agregados minerales vs porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	100
Figura 53 – Curva de vacíos en agregados minerales vs porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	101
Figura 54 – Curva de vacíos agregados minerales vs porcentaje de caucho – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)	101

Figura 55 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	101
Figura 56 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	102
Figura 57 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	102
Figura 58 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 5% asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	102
Figura 59 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	103
Figura 60 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5% asfalto. Elaborado por: Tapia (2021).....	103

Lista de Anexos

Anexo A – Encuesta de investigación para medir la percepción social y técnica en el medio ingenieril, ambiental y vial del uso de caucho reciclado en mezclas asfálticas...	117
Anexo B – Certificado de validación del suministro de agregados (áridos y cemento asfáltico) y la supervisión técnica para su caracterización.	119
Anexo C – Certificado de validación - Autorización para la disposición del laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, y de seguimiento académico de los respectivos ensayos.	120
Anexo D – Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo “Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”	121
Anexo E – Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo “Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”	122

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

Planteamiento del problema.

En la actualidad nuestro planeta está sufriendo una muy alta contaminación ambiental la cuál es alarmante, el dióxido de carbono cada día va en aumento en la atmósfera que posteriormente se trasforma en gases de efecto invernadero (GEI), tanto a nivel doméstico como industrial; se puede presenciar las consecuencias negativas que generan cambios climáticos en el planeta. (Ballester, Díaz, & Moreno, 2016), indican que ante esta problemática tan amplia a nivel mundial los organismos internacionales han tomado ya decisiones direccionadas a disminuir el cambio climático existente para de esta manera reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como uno de los parámetros que influyen en gran parte en la contaminación. Estas iniciativas se han plasmado en el Protocolo de Kioto en el año que los países se comprometieron a reducir los GEI.

Como se mencionó en el párrafo anterior los diversos parámetros citados tienen gran incidencia en el planeta un punto por ejemplo es la afectación a la temperatura del mismo de una manera significativa y preocupante, lo podemos notar en ciudades donde su temperatura se ha elevado o disminuido a escala no vista antes. Es necesario investigar posibles medidas para mitigar el efecto ya expuesto sin dejar de lado el crecimiento de los países tanto en vías de desarrollo como países desarrollados. Si bien es cierto, que el mencionado efecto invernadero es un proceso natural que se genera a lo largo del tiempo, las actividades humanas han permitido que se acelere a una escala insostenible.

Las medidas que se puedan aplicar dependen mucho de los dirigentes de cada nación y el poco interés e inversión en políticas de estado apropiadas como el RTR – MB; Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens (Betún modificado con caucho reciclado), como un claro ejemplo se muestra que no se ha plasmado la aplicación de esta tecnología en nuestras carpetas asfálticas (Lo Presti, 2013). Para reafirmar lo mencionado, cabe recalcar que las mezclas de asfaltos que adicionan pavimento recuperado o caucho reciclado, no tienen la aplicación suficiente en las respectivas obras civiles a pesar de las múltiples ventajas mostradas en investigaciones realizadas en muchos países, siendo primordial tomarlo en cuenta como una medida para mitigar la contaminación ambiental sin dejar de lado las propiedades y portantes de la carpeta asfáltica, es decir, disminuir su efecto ambiental negativo y mejorando las ventajas del uso del asfalto en las vías.

Formulación del problema

¿Cómo la adición de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en una carpeta asfáltica mejoraría su capacidad estructural y permitiría mitigar la contaminación ambiental?

Delimitación del problema de investigación

Propuesta de diseño de una carpeta asfáltica para una vía de tercer orden con la adición de caucho reciclado en la provincia del Guayas.

Delimitación de la investigación

Delimitación Espacial: Ecuador, provincia del Guayas, Cantón Santa Lucía, zona rural.

Área: Diseños de carpetas asfálticas.

Delimitación amplia del conocimiento: Ingeniería, Ingeniería ambiental y Construcción.

Delimitación específica del conocimiento: Ingeniería y Construcción.

Línea de investigación Institucional

Tabla 1 – Línea de investigación institucional.

<i>Dominio</i>	<i>Línea Institucional</i>	<i>Línea de Facultad</i>
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de la construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables.	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción

Elaborado por: Tapia (2021)

Objetivos

Objetivo general.

Analizar la influencia tanto estructural como ambiental del uso de caucho reciclado para una carpeta asfáltica.

Objetivos específicos.

Establecer los beneficios ambientales del uso de caucho reciclado para una carpeta asfáltica en el cantón Santa Lucía de la provincia del Guayas.

Analizar las características de una carpeta asfáltica mediante la adición de miga de caucho reciclado, empleando datos cuantitativos de laboratorio.

Realizar un informe técnico con propuestas sustentables para la implementación de carpetas asfálticas, mediante el uso de caucho reciclado.

Justificación de la investigación.

Hoy en día se están implementando diversas tecnologías para dar soluciones óptimas y mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, estas emisiones son en su mayoría generadas por el dióxido de carbono que se libera al ambiente; tanto en el sector energético como de la construcción produciéndose gran nivel de contaminación. Los pavimentos flexibles de las vías tienen como parte de su estructura la carpeta asfáltica, la misma que contiene un derivado del petróleo, en función de lo expuesto y para contribuir de manera eficiente al medio ambiente es un gran avance implementar nuevas tecnologías, con la finalidad de disminuir el mencionado efecto invernadero; además, estas acciones son de vital importancia para el presente y futuro de nuestro planeta (Vásquez, Carrillo, Tona, Galíndez, Macías & Esposito, 2017).

En los estudios de (Mao et al., 2017) se indica la necesidad de enfocarse en reducir las emisiones de dióxido de carbono en la construcción de carreteras para conseguir un futuro más estable hablando en términos ambientales, para lo cual debemos poner especial énfasis en los materiales ya que, entre el acero, concreto y el asfalto completan el 70% total de la huella de carbono existente por el uso de estos materiales en la construcción de vías. Por lo anteriormente expuesto se concluye que la reducción de materiales contaminantes y la inserción de nuevas tecnologías e innovaciones que ayuden a mitigar la contaminación es de vital importancia para nuestro medio.

La tendencia a incrementar la cantidad de transporte tanto público como privado debido a la expansión poblacional y territorial influye en gran manera en las emisiones de gases de efecto invernadero, analizando la cantidad de neumáticos reciclados que se genera cada año en el mundo, es indiscutible y se demuestra el creciente e imparable desarrollo de cada país, a pesar de la visible contaminación. Sin embargo, es posible mitigar este efecto mediante el uso de tecnologías tales como la adición de caucho reciclado de neumáticos en las carpetas asfálticas de los pavimentos flexibles en el caso de Ecuador.

(Eskandarsefat, Sangiorgi, Dondi & Lamperti, 2018) en su estudio de revisión de la literatura pertinente aporta poniendo el conocimiento de que las tecnologías estudiadas actualmente relacionadas con las especificaciones en cuanto a la producción, manejo, almacenamiento y aplicación del caucho reciclado mejorado para el uso de carpetas asfálticas, está en la fase ser aplicado en todo el mundo, aunque la falta de información y la oposición cultural a los cambios retarda el uso de estas tecnologías. Además, cabe mencionar que nuestro gobierno debería apoyar estas medidas y tomar acciones su aplicación en nuestro país.

Hipótesis.

El uso de asfalto con contenido de caucho reciclado aportará a las carpetas asfálticas mejoras estructurales, además de la disminución de emisiones de dióxido de carbono, así como menores costos en la producción a gran escala para grandes obras viales.

Al finalizar el presente estudio y darse a conocer para su posterior aplicación, lograremos que los profesionales en la ingeniería civil y las entidades estatales tengan más

énfasis en la aplicación de estas tecnologías amigables con el ambiente y así mismo se proporcionará un apoyo útil para el proceso de formulación de políticas ambientales en nuestro país.

El presente planteamiento nos brindará estudios experimentales de las propiedades y eficiencia en el rendimiento con que trabajará una carpeta asfáltica con la adición de caucho reciclado de neumáticos, los resultados obtenidos se compararán con los valores relativos de una carpeta asfáltica tradicional.

Definición de las variables.

Variables independientes.

Contaminación ambiental generada por los neumáticos fuera de uso.

Aumento de la temperatura a nivel mundial y su inminente polución.

Cantidad de neumáticos desechados en la Provincia del Guayas con incidencia en en el Cantón Santa Lucía.

Características físico – mecánicas de la miga de caucho reciclado.

Crecimiento vehicular en la Provincia del Guayas.

Crecimiento de ventas de vehículos en Ecuador.

Kilómetros aproximados de vías con carpeta asfáltica.

Variable dependiente.

Propuesta de diseño para una Carpeta Asfáltica Sustentable en una Vía de Tercer Orden.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

Alrededor del 90% de la infraestructura vial en el planeta está conformada por mezclas asfálticas, el restante por pavimentos rígidos (cemento portland), esto tiene su razón lógica en el sentido de presupuestos porque los pavimentos flexibles son más económicos que los pavimentos rígidos. Entre otros argumentos el pavimento rígido genera una contaminación al ambiente que es 2.6 veces más que el pavimento flexible, es decir, que los pavimentos flexibles tienen una huella de carbono de menor valor. La generación en cuanto a las emisiones de gases de efecto invernadero para las mezclas de asfalto en caliente dieron como resultado un 68.9 % menores que para el pavimento de cemento portland (Thives & Ghisi, 2017).

El gran efecto negativo que se está dando sobre el planeta debido a la contaminación ambiental (gases de efecto invernadero) afecta a nivel mundial, y se necesita por tanto analizar posibles medidas para solucionar el crecimiento constante de este parámetro. Si bien es cierto que el mencionado efecto invernadero es un proceso natural que se genera a lo largo del tiempo, las actividades humanas han permitido que se acelere a una escala insostenible. Todos los productos ya sean bienes o servicios afectan de manera significativa al medio ambiente y cada vez es mayor, por lo que es importante llevar a cabo medidas de mitigación para los gases de efecto invernadero en países en progreso, los cuales podrían proyectar a futuro un desarrollo sostenible ambientalmente hablando (Quezada, 2013; Ferraro, 2012).

Como profesionales sabemos que, entre los mayores desafíos a nivel mundial tenemos que solventar la demanda existente en cuanto a la ingeniería de pavimento mediante tecnologías nuevas que sean ambientalmente sostenibles; para esta finalidad tenemos que uno de los materiales reciclados que han ganado gran campo en la ingeniería de pavimentos es la miga de caucho de neumáticos reciclados junto con el pavimento asfáltico recuperado. Las partículas de caucho reciclado aportan a la carga estructural (resistencia de la carpeta asfáltica) con una mejor respuesta elástica. Además, el uso de caucho reciclado nos ofrece un menor gasto de energía; por ende, una disminución en la emisión de efectos de gases de invernadero (Farina, Chiara Zanetti, Santagata, & Blengini, 2016)

Gestión Sostenible Huella de Carbono, Ecológica e Hídrica.

Para realizar una gestión sostenible es necesario conocer las tres huellas que afectan al ambiente: Huella ecológica, tiene la función de controlar las cuantías de agua y tierra que se requieren para absorber los residuos tóxicos; Huella hídrica, controla el uso de agua que se emplea para los diferentes procesos industriales, construcción, etc. y Huella de Carbono, que es la cantidad de gases de efecto invernadero que tiene un producto o servicio (Chacón, Pinzón, Ortégón, & Rojas, 2016). Lo citado anteriormente evidencia el efecto negativo que podría generar la construcción de vías en el Ecuador, en cuanto al perjuicio ecológico, uso de agua y efecto del asfalto al ambiente; (se cita el tema del asfalto debido a que el presente estudio está orientado a las carpetas asfálticas en vías de tercer orden). Sin embargo, no podemos tener un desarrollo como país sin el progreso vial.

El presente documento de investigación desarrollará soluciones sostenibles para mejorar la infraestructura vial sin daños ambientales en la medida de lo posible. Según (Carballo, García, & Quesada, 2009) la sostenibilidad y la gestión de la huella de carbono y ecológica, se logra mediante métodos para evaluar el desempeño ambiental en las empresas y productos ejecutados.

La huella de carbono (HC) actúa como un indicador de la cantidad de gases de efecto invernadero que pueden generar productos o servicios en general, estos gases retienen la energía que llega a la tierra logrando de esta manera que mientras más gases se encuentren, mayor será la energía que absorberán; provocando el llamado calentamiento global. Estas emisiones de gases son provocadas por el dióxido de carbono, óxido nitroso, metano, entre los más importantes (Valderrama, 2011c; Valderrama, 2011b; Córdova, 2018). Además, según (Espíndola, Valderrama & Quezada, 2011a) indican en su estudio, que es necesario la inclusión de conceptos de la HC en cursos y carreras de Ingeniería y Ciencias para tener mejores bases profesionales y una mejor gestión.

El análisis prioritario de la huella de carbono por encima de las demás huellas, se debe a la influencia en supremacía que tiene debido a que en el diseño y/o construcción de una vía la afectación ambiental principal es en la estructura del pavimento, es decir, parámetros como puentes que podrían afectar la parte hídrica y ecológica se ve solo en casos donde existen afluentes hidráulicos lo que no se ve en un 100% en las vías y solo en contados casos. Pero en una carpeta asfáltica es inherente la influencia negativa que tiene sobre medio, es decir, el conocimiento conceptual de la huella de carbono es un parámetro

de evidente importancia que justifica realizar investigaciones de materiales a usar un pavimento flexible y que mitiguen este efecto adverso para el ambiente, tema del que nos vamos a centrar en este estudio.

La responsabilidad ambiental se enfoca principalmente en las empresas encargadas de su producción y a todo el entorno administrativo necesario para crear el producto, pero no solo debe ser responsabilidad de empresas sino también de cada uno de nosotros, que como profesionales creamos un producto a nivel ingenieril, comercial, tecnológico y otras diversas áreas. En Latinoamérica se está tomando iniciativas de responsabilidad ambiental voluntaria por parte de algunos países, lo cual da una perspectiva positiva al respecto. Además, un aporte ambiental por parte del estado mediante normativas legales mejora tanto la productividad como competitividad de nuestro país a nivel global (Chacón et al., 2016).

Auge y aplicaciones de los Neumáticos fuera de uso (NFU) en el mundo.

La empresa Rubber Manufactures Association indicó que en Estados Unidos de América existía un total de 300 millones de unidades de NFU, y de acuerdo la página NATURAMEDIO AMBIENTAL da a conocer que en el 2011 se redujeron a 76 millones de unidades dando lo cual quiere decir, que este país tiene uno de los programas de reciclaje más exitosos del planeta y digno de replicarse en todo el mundo.

De acuerdo a los análisis desarrollados para una buena gestión de los NFU mostró una disminución del 3% en Europa en el 2019 respecto al 2018. Aproximadamente 1,88 millones de toneladas de NFU se reciclaron con el fin de recuperar este material, las toneladas enviadas a granulación fueron 1,34 millones de toneladas, para recuperación de

los componentes del neumático, caucho, acero y textil fueron destinadas 458.000 toneladas y 82.300 toneladas para aplicaciones de ingeniería civil (EUROPA TYRE RUBBER manufacturer`s association, 2019).

España gestiona alrededor de 238.080 toneladas de NFU, siendo reciclados el 100% de los cuales 158.125 toneladas se procesaron para recuperación del material, 79.753 toneladas se destinaron a recuperación energética y 202 toneladas a ingeniería civil. Un porcentaje muy pequeño de los neumáticos reciclados (1,67%) se implementan en asfaltos modificados, estos asfaltos ofrecen grandes mejoras como la reducción de distancia de frenado y disminución de sonido (EUROPA TYRE RUBBER manufacturer`s association, 2019).

Brasil es uno de los países en latinoamérica con mayor cantidad de NFU eliminados apropiadamente para el ambiente, en el año 2020 fueron 380.000 toneladas de llantas de desechadas, cabe mencionar que entre 1999 - 2020, se almacenaron y trataron más de 5,6 millones de toneladas de llantas de desecho valor equivalente a 1.100 millones de unidades de llantas (RECICLANIP, 2021).

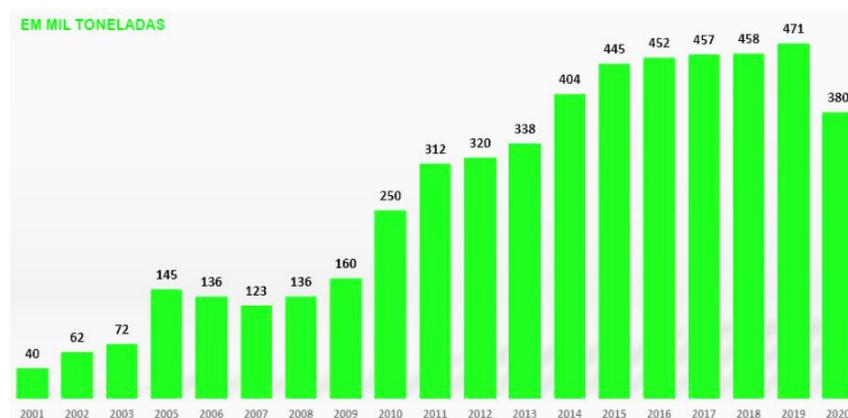


Figura 1 – Cantidad de neumáticos fabricados anualmente - Fuente: RECICLANIP

Según datos la Cámara de la industria del neumático de Argentina se obtienen 135.000 toneladas de NFU cada año, las cifras estimadas ascienden a un promedio de 40.000 toneladas correspondientes a la ciudad autónoma de Buenos Aires y Gran Buenos Aires. Los NFU son transportados a procesos de trituración, molienda y separación de sus componentes y luego usados en canchas deportivas de césped sintético y asfalto modificado (Cámara de la industria del neumático de Argentina, 2021).

Año 2008				
MES	AUTOMÓVIL Y CAMIONETA	CAMIONES	AGRICOLAS INDUSTRIALES Y OTROS	TOTAL
Enero	877.879	48.897	14.424	941.200
Febrero	677.808	26.459	7.226	711.493
Marzo	1.042.663	38.771	13.608	1.095.042
Abril	1.026.896	43.009	11.774	1.081.679
Mayo	1.013.449	41.428	10.304	1.065.181
Junio	1.041.451	39.992	11.614	1.093.057
Julio	664.424	29.925	6.897	701.246
Agosto	763.872	35.050	9.715	808.637
Septiembre	918.939	41.775	13.615	959.747
Octubre	926.208	37.195	11.149	974.552
Noviembre	868.911	33.385	13.518	915.814
Diciembre	717.541	21.201	6.914	745.656
ACUMULADO	10.525.459	437.087	130.758	11.093.304

Figura 2 – Producción de neumáticos del 2008 en unidades - Fuente: Cámara de la industria del neumático de Argentina

Hay muchas variables que justifican la creación o disposición de normativas y/o soluciones para tener una aplicación técnica y económicamente factible para los NFU,

China por ejemplo enfrenta graves consecuencias por la generación de NFU cada año, tanto así que se estima para el 2023 una producción de 88,06 millones de toneladas tomamos en cuenta la capacidad que tienen para el reciclaje de este producto se puede prever que otros 50 millones de neumáticos desechados no se logrará reciclar. Así que el problema que conlleva este país asciende aproximadamente a 110 millones de toneladas de neumáticos desechados para el 2023. Por lo tanto, los gobiernos no solo en China sino también a nivel mundial deben crear políticas y normativas que permitan mitigar este efecto adverso para el medio ambiente y a la población en general (Quing-zhou, Nan-Nan, Ming-Lang, Yu-Mang & Ning-Li, 2019).

Cada día en nuestro planeta se ven más amenazados nuestros recursos naturales no renovables, el indudable agotamiento en este caso del petróleo, combustibles fósiles y demás nos conlleva a generar políticas y soluciones que permitan conservarlos; sin embargo, no solo es un parámetro a tomar en cuenta este desgaste sino también la evidente contaminación que generan esos recursos al transformarlos en materiales a usarse en una carpeta asfáltica. De acuerdo a la Actividad y Plan estratégico de SIGNUS (Sistema Colectivo de Gestión de Neumáticos Fuera de Uso), en el año 2016 se realizó la respectiva estadística en cuanto al uso que se le dieron a los NFU dando como resultado que hubo 189.259 toneladas de NFU distribuidas en función de uso de la siguiente manera: a) 23.629 toneladas reutilizados para reencauche; b) 144 toneladas para obra civil; c) 66.048 toneladas para el coproceso en la fabricación de cemento; d) 2.432 toneladas en la generación de energía eléctrica (Pérez & Saiz, 2018).

El mercado español está consolidado mediante la entidad SIGNUS para generar aplicaciones del caucho reciclado de neumáticos en sus áreas económicas, entre los más importantes están: i) rellenos para ambientes de césped artificial, ii) pavimentos para juegos infantiles, iii) como material modificador en mezclas asfálticas, iv) fabricación de piezas moldeadas. En España el uso del CR (Caucho Reciclado) para mezclas asfálticas se ha visto disminuido por diferentes razones, por lo cuál es necesario realizar investigaciones que corroboren los grandes beneficios que conlleva la adición de CR y que los países en el mundo empiecen a aplicarlo con mayor énfasis (Pérez & Saiz, 2018). Cabe mencionar que Ecuador está lejos de adoptar estas medidas ambientales, pero con soluciones e investigaciones técnica y económicamente viables se puede mejorar nuestra cultura ambiental.

Arabia Saudita al igual que muchos otros países se ha visto apresurado por el gran crecimiento poblacional y por ende su producción de residuos peligrosos es cada vez mayor; no cuentan con un programa óptimo de recolección de estos residuos que terminan en grandes vertederos contaminando de manera acelerada el medio ambiente. Aproximadamente el 44 % de sus carreteras son diseños con pavimentos asfálticos, esto indica la gran incidencia que tienen las mezclas asfálticas en relación al medio ambiente; por lo que el Ministerio de Transporte recomienda el uso de modificadores en el asfalto, tales como polietileno de baja y alta densidad, azufre y caucho de miga de neumáticos. El uso de CR aporta grandes beneficios al medio ambiente y a la estructura de una carpeta asfáltica (M.Khan, Kabir, Alhussain & Almansoor, 2016).

Además, no solo se ha demostrado la conveniencia del uso de neumáticos con miga de CR, ya sea triturada o pulverizada. Las investigaciones demuestran que es necesario realizar análisis tanto a los NFU como a otros componentes como el tipo de suelo y por ejemplo de esta manera se puedan recomendar diferentes usos del neumático entero en obras civiles u otras; entre los diferentes usos tenemos los siguientes: a) concreto recubierto de CR; b) Concretos diseñados para climas marinos; c) suelo estabilizado; d) Pavimentos; e) rellenos; f) aislamientos sísmicos; g) mantenimientos ferroviarios; h) neumáticos íntegros para formar terraplenes; i) para minimizar los lixiviados; j) sistemas de drenaje, etc (Mohajerani et al., 2019).

La infraestructura vial no solo está conformada por vías o pistas de aeropuertos, el desarrollo vial en países de primer nivel llega hasta el transporte ferroviario y sigue avanzando a niveles increíbles dando parámetros de velocidad, comodidad, eficiencia, y demás, en busca de la sostenibilidad ambiental y económica. Análisis han determinado el uso de CR como una capa elástica sobre piedras ya estudiadas para la estructura de transporte ferroviario, brindando mejoras técnicas como, por ejemplo: a) mejoras en el asentamiento; b) aumento de la resistencia de la sección; c) reducción de tensión en las capas estructurales; d) disminución en los tiempos de mantenimiento (Sol, Moreno, Saiz & Rubio, 2019).

El proceso de la cuna a la cuna tiene como desafío la creación de productos sostenibles para el ambiente integrando acciones como reducir, reutilizar, reciclar; logrando de esta manera generar estrategias para la reducción del impacto ambiental en la

actualidad y no solo a futuro. Los fragmentos de CR son empleados para los diseños de carreteras con carpetas asfálticas para ser más precisos un beneficio importante es la reducción de energía y GEI; prolongando la vida útil de la vía y reduciendo el tiempo en los cronogramas de mantenimiento de un pavimento asfáltico (Hosahally & Prapoorna, 2019).

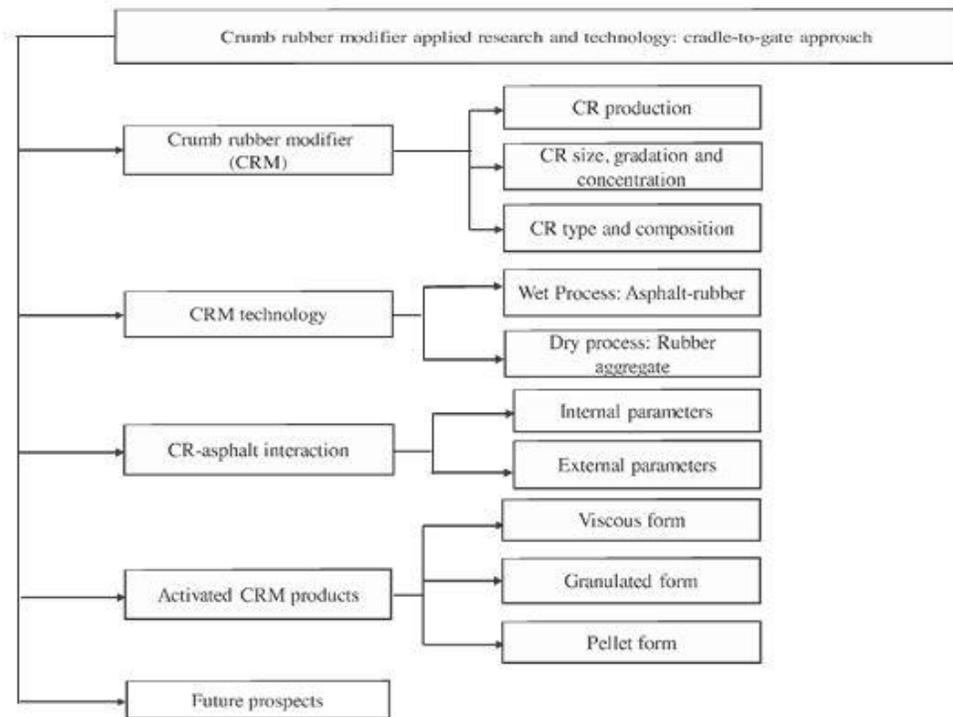


Figura 3 - Resumen de usos del Caucho Reciclado – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).

Como se ha mencionado previamente el caucho reciclado proveniente de NFU tiene muchas aplicaciones, desde productos no estructurales hasta materiales de construcción en grandes obras civiles, este uso implica investigaciones que certifiquen aquello para que nuestras políticas y normativas estén orientadas a fomentar su uso. (Hernández, Barluenga, Parga, Bollati & Witoszek, 2006) demuestran mediante estudios de laboratorio que al

aplicar CR en una mezcla de hormigón para la construcción de pavimentos rígidos, presenta beneficios con un 95 % de confiabilidad, es decir, la inminente viabilidad de este material para el uso en la construcción de carreteras es notoria.

Aplicación de los neumáticos fuera de uso en carpetas asfálticas

En abril del 2015 la coordinación interinstitucional entre los ministerios de Transporte y Obras Públicas (MTO) y del Ambiente (MAE), dieron un pequeño paso de desarrollo ambiental en nuestro país con la colocación de 600 ml de mezcla asfáltica modificada con caucho reciclado, esta prueba piloto se dió en la vía Pifo – Papallacta, en el sector el Tambo de la Provincia de Pichincha. Este avance tuvo como intermediarios a empresas como Rubberaction quien donó el polvo de caucho, la empresa IMPTEK y la compañía China Bridge Corporation (CRBC) quien facilitó sus instalaciones. Es un avance ya que se buscaba aplicar esta mezcla asfáltica modificada en la vía Colimes – Olmedo.

En Chile desde el 2016 se desarrollan tramos de prueba de carpetas asfálticas usando tecnologías que contemplan la adición de polvo de caucho por vía semi húmeda permitiendo mejorar la durabilidad y vida de los pavimentos en este país, este desarrollo se ejecuta mediante la colaboración de varias empresas e instituciones públicas y privadas, además, el sector académico tiene un importante impulso positivo dando a conocer a las futuras generaciones toda la información requerida para fomentar tecnologías medio ambientales. La empresa constructora es SACYR construyó este hito en una de las calles más transitadas de Santiago de Chile.

		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2108	2019	
		Generación de neumáticos usados (NU)									
Reemplazo	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732	6.864	6.533	
	AUTO Y CAMIONETA	24.705	25.248	29.329	30.350	33.160	35.752	37.949	33.992	31.752	
	CAMION Y BUS	47.780	54.075	52.995	47.373	55.946	54.966	50.461	51.580	50.092	
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184	38.098	46.271	
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840	1.548	1.410	
	Total NU por reemplazo	114.477	125.632	137.283	121.872	130.238	124.281	132.166	132.082	136.059	
Vehículos fuera de uso	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL										
	AUTO Y CAMIONETA	1.852	2.251	3.740	5.152	7.834	5.036	6.897	7.553	9.160	
	CAMION Y BUS	430	4.000	5.903	3.207	6.263	3.166	4.103	3.746	6.264	
	MINERIA Y CONSTRUCCION										
	OTROS										
	Total NU por vehículos fuera de uso	2.282	6.251	9.643	8.359	14.097	8.202	11.000	11.299	15.423	
Total Generación de neumáticos usados	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732	6.864	6.533	
	AUTO Y CAMIONETA	26.557	27.499	33.069	35.502	40.994	40.788	44.846	41.545	40.912	
	CAMION Y BUS	48.210	58.075	58.898	50.580	62.209	58.132	54.564	55.326	56.356	
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184	38.098	46.271	
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840	1.548	1.410	
	Total generación de NU	116.759	131.883	146.926	130.231	144.335	132.483	143.166	143.381	151.482	
		Recauchaje									
Recauchaje	CAMION Y BUS	14.183	15.152	13.147	11.523	10.860	9.726	8.306	8.252	6.462	
		Generación de Neumáticos Fuera de Uso (NFU)									
Total Generación NFU	AGRICOLA FORESTAL E INDUSTRIAL	6.135	6.756	5.705	5.568	6.088	6.819	6.732	6.864	6.533	
	AUTO Y CAMIONETA	26.557	27.499	33.069	35.502	40.994	40.788	44.846	41.545	40.912	
	CAMION Y BUS	34.027	42.923	45.751	39.057	51.350	48.406	46.257	47.074	49.894	
	MINERIA Y CONSTRUCCION	34.591	37.746	47.696	36.897	33.308	25.081	35.184	38.098	46.271	
	OTROS	1.266	1.807	1.558	1.683	1.734	1.663	1.840	1.548	1.410	
	Total generación de NFU	102.576	116.732	133.779	118.707	133.475	122.757	134.860	135.129	145.020	

Figura 4 – Generación de neumáticos NFU (tn) - Fuente: Cámara de la industria del neumático de Chile

Análisis e Influencia de Materiales Reciclados en Mezclas Asfálticas

La ejecución de un proyecto vial incluye una cuantía de procesos desde el origen de sus materiales hasta el mantenimiento vial una vez construida la carretera. La explotación de material de construcción tiene una repercusión negativa por alterar el ambiente como lo son los rubros de desbroce y limpieza, excavaciones, transporte, procesamiento de los agregados (Hernández, Ulloa, Almaguer, & Ferrer, 2013). Cabe mencionar que nuestro tema no está relacionado a la estructura del pavimento sino a la carpeta asfáltica sin dejar de mencionar la necesidad de estudiar en otros proyectos cada uno de los materiales que influyen para contaminar el ambiente.

El reciclado de Pavimento Asfáltico y caucho de neumáticos tiene su beneficio por la reducción de materiales en este caso de asfalto y por ende disminución de contaminación, pero no debemos dejar de lado y tener en cuenta la capacidad, trabajabilidad y rendimiento del mismo; para lo cual se exige un análisis profundo de materiales y comportamientos de

mezclas asfálticas con adición de materiales reciclados. Se cree que el aglutinante envejecido en RAP influye en los daños térmicos en el asfalto y agrietamiento por fatiga, mientras que estudios indican que los agentes rejuvenecedores se encuentran en Ground Tire Rubber (GTR - Caucho de neumático). Las metodologías de usar CR (Caucho Reciclado) es mediante procesos tanto en seco como en húmedos. Resultados de ensayos en sitio arrojan que las mezclas asfálticas en seco modificadas con CR tienen un margen bajo de rendimiento a comparación con el proceso en húmedo que muestra mejor desempeño, lo cual nos deja la inquietud y necesidad de realizar más estudios para obtener una información más concreta al respecto (Eskandarsefat et al., 2018).

La finalidad de realizar estudios para el reciclaje de pavimento asfáltico y caucho de neumáticos es de comprender de una manera óptima los beneficios aportados a una mezcla asfáltica, para así poder incluir este parámetro como una solución a los efectos ambientales que genera una carpeta asfáltica. (Eskandarsefat, et al., 2018) informa los siguientes resultados destacados del estudio: a) El uso óptimo de caucho reciclado fino a una mezcla graduada densa no varía las características de volumen, incluso disminuyen los vacíos que derivan a un asfalto poroso. b) La adición de caucho reciclado disminuye la sensibilidad térmica. c) La incorporación de CR suma de manera no directa el valor de ITS de las mezclas a diferencia con las mezclas no recubiertas de caucho, mientras que los valores de ITS (Resistencia Indirecta a la Tracción) dan muestras condicionadas en estado húmeda. Se puede denotar que los resultados obtenidos son positivos y es un claro indicio de los beneficios que tendríamos al incluir estos factores en los diseños de ingeniería de

pavimentos en nuestro país y aportar al planeta sin dejar de lado el desarrollo sostenible de la nación.

Es alarmante el gran porcentaje de neumáticos desechados cada año a nivel mundial, pero las tasas de recuperación mediante la gestión de los ELT (llantas al final de su vida útil) incrementa la posibilidad de usar caucho reciclado para asociarlo en el diseño de carpetas asfálticas recubiertas de caucho para la construcción de vías. Si analizamos al caucho de neumático como un material adaptable a la ingeniería tenemos que está formado por: i) compuesto elastomérico, b) tela, c) acero, al procesarlo se crea un producto capaz de asegurar la durabilidad, rendimiento y seguridad de la carpeta asfáltica. Mientras que la influencia estructural de un neumático está conformada por la banda de rodadura, el cuerpo, las paredes laterales y los talones (Lo Presti, 2013).

Dentro del contexto ambiental, varios estudios han confirmado que el método de evaluación del ciclo de vida puede llegar a ser muy útiles para tomar decisiones en cuanto a las soluciones de pavimentaciones, analizar no solo en función de su efecto económico, sino de su entorno e impacto ambiental. La llamada carga ecológica en la construcción de pavimentos asfálticos realizados mediante mezclas bituminosas tradicionales se reduce (en un 23%) ejecutando el uso de aglutinantes de caucho asfáltico, las conclusiones evidencian que el uso de caucho asfáltico mediante métodos de tecnología húmeda ofrece muchos beneficios en razón de ahorro de energía, impacto ambiental, salud humana, preserva la flora y fauna, y mitiga el uso de recursos en la medida de lo posible (Farina et al., 2016).

El ciclo de vida de los neumáticos una vez que llegaron al final de su vida útil, es decir, después que pasó por los procesos de vida del neumático que son: extracción, producción, consumo, recolección de neumáticos usados y gestión de residuos; se reducen las partículas de caucho a un tamaño idóneo para ser aprovechado en la industria ingenieril para ser más precisos (industria del asfalto y construcción de pavimentos). Además, desde las décadas de los años 60, McDonald ya había notado la necesidad de usar aglomerantes de asfalto modificados como es el CR de neumático, para lo que encontramos numerosas tecnologías que nos permiten disminuir el estado final de vida útil de un neumático en Miga modificador de goma para ser reutilizada, entre estas tecnologías están las siguientes: I) Molienda ambiental, este proceso se desintegra el neumático desechado a una temperatura promedio; II) Molienda Criogénica, este método hace uso de nitrógeno líquido con la finalidad de congelar el RTR (caucho reciclado de neumáticos), una vez que se vuelve frágil se procede a crear las partículas (miga); III) Otros procesos, además; existen otros procesos que tienen menor impacto para reducir la RTR en migas o polvo fino para así ser reutilizados (Presti, 2013; Venudharan, 2016).

El uso de caucho reciclado de neumáticos en asfaltos está siendo muy empleado en diferentes estados de los EEUU, ya que se ha demostrado que esta técnica no solo tiene una mejoría ambiental, sino que, además, ofrece beneficios como una mejor firmeza al deslizamiento, flexibilidad, agrietamiento y reducción del ruido del tráfico. “Dos estados en Australia (Nueva Gales del Sur y Victoria) adoptaron el proceso húmedo para la

aplicación limitada de asfalto recubierto de caucho, principalmente como una capa resistente a la fisuración” (Presti, 2013, p.868).

En Europa, se ha aplicado con éxito el asfalto de goma húmeda en pavimentos al igual que en otras partes del mundo también están aplicando el uso de CR, por ejemplo, Taiwán adoptó las mezclas asfálticas recubiertas de caucho de Arizona DOT y de grado abierto para la rehabilitación del pavimento flexible mostrando de esta manera una considerable mejora ambiental, el asfalto recubierto de caucho se aplicó en Beijing para varios proyectos. Esto es un claro indicador que, en Latinoamérica, Ecuador no puede quedarse atrás con esta tecnología, dado que Brasil también ya está invirtiendo en este sector; se debe poner énfasis en el requerimiento de la norma ASTM D6114, para producir asfalto adicionando caucho. El caucho debe contar con ciertos parámetros como: menos de 0.75% de humedad y flujo libre; gravedad específica de 1.15 ± 0.05 ; no hay partículas visibles de metales no ferrosos; no más del 0,01% en peso de partículas de metales ferrosos el contenido de fibra no debe exceder el 0.5% en peso (para aplicaciones de aglutinante de mezcla en caliente); además, recomienda que todas las partículas de caucho pasen por el tamiz No. 8 (2.36 mm) (Lo Presti, 2013).

China como uno de los países que más aporta gases de efecto invernadero al mundo, es quien más comprometido está en controlar sus emisiones de carbono y reducir hasta en aproximadamente un 50% estas emisiones para este año 2021. La prosperidad del ambiente depende en gran cantidad de la decisión y aptitud de un país para encaminarse hacia un desarrollo a futuro, bajo en carbono, (Mao, 2017, p.2) indica lo siguiente, “La construcción

y mantenimiento de infraestructuras de transporte, especialmente de infraestructura vial, consumen energía y materias primas. Esto podría resultar en una gran cantidad de cuantificación de carbono”. En la actualidad existe un gran crecimiento de población, migración de personas a las grandes ciudades y desarrollo, por lo que la necesidad del desarrollo de transporte (construcción de carreteras) es inevitable, siendo así un factor importante a poner énfasis para buscar soluciones ambientales y mejorar la sustentabilidad en las construcciones de carreteras con pavimento asfáltico principalmente (Mao et al., 2017).

Las entidades gubernamentales ante el evidente crecimiento vial, aconsejan la aplicación de polímeros como aditivos a las carpetas asfálticas para poder estar dentro de los parámetros ambientales que se buscan hoy en día respecto a la contaminación por gases de efectos invernadero. Para modificar el diseño de la superficie de rodadura se pueden usar materiales como polietileno de baja y alta densidad, azufre y caucho de miga reciclado de neumáticos; además, se reduce la formación de daños en los pavimentos mediante la implementación de asfalto recuperado a la mezcla. (M.Khan et al., 2016) concluyen lo siguiente:

Como resultado, se puede concluir que la adición de desechos plásticos, como el polietileno de baja densidad (LDPE) y el polietileno de alta densidad (HDPE), y el caucho de miga (CR) al aglomerante puro puede desempeñar un papel importante en la mejora del comportamiento elástico de aglomerante para extender la vida útil de los pavimentos en términos de susceptibilidad reducida

a la formación de surcos y agrietamiento. Además, el uso de estos desechos reciclados desempeñará un papel importante en la reducción del uso de recursos no renovables, en la construcción de pavimentos sostenibles y en la reducción de los impactos ambientales de la eliminación de desechos en los vertederos (p.1563).

Cabe recalcar el uso de diversas metodologías y tecnologías en el pavimento se han convertido cada vez más reconocidas por los múltiples beneficios que proporcionan, entre ellas está la citada ya anteriormente mezclas AR-Gap; los beneficios más importantes están a) disminución en el mantenimiento vial, b) reciclado de neumáticos, c) economía en función del ciclo de vida, d) mejor capacidad estructural. Es importante dar a conocer que las mezclas AR-Gap se pueden adaptar a los diseños de carpetas asfálticas de todo el mundo, tomando en cuenta que estas mezclas superaron a las tradicionales con relación a su capacidad estructural y en cuanto al impacto positivo que genera con el medio ambiente (Venudharan, Prapoorna, Sousa, & Way, 2016).

La importancia de la interacción betún – caucho en la infraestructura vial y mezclas asfálticas está asentada en múltiples estudios que corroboran lo mencionado, tal es el caso de (López, Candelas, Hernández, Witoszek, Alonso, 2013) indican que el pavimento asfáltico resulta mejorado al aplicar metodologías de betún modificado con polímeros (CR), este análisis se llevo a cabo observando la variabilidad ante un pavimento tradicional.

(Flores, García, Hajirasouliha, Pilakoutas, Guadagnini, Raffoul, 2018) mencionan en su artículo una revisión comparativa entre un hormigón tradicional con un hormigón

adicionando en su diseño CR, dando como resultado que la capacidad aportada por el CR es positiva, en otras palabras permitió reducir la fragilidad en el hormigón, mejorando sus índices de amortiguación y capacidad de absorción ante impactos. Además, se puede concluir influenciado en ensayos de laboratorio que si el concreto contiene aproximadamente 40% de caucho la fragilidad puede tender a cero.

Pavimentos asfálticos y su incidencia en el desarrollo de un país.

Las decisiones de conservación y el tiempo de vida útil de los pavimentos dependen de la condición estructural tanto de la base hasta la superficie de rodadura, mantener un buen estado en la infraestructura vial es importante para evitar los sobrecostos de mantenimiento. Las fallas o deterioros en la superficie de rodadura (carpeta asfáltica) tiene un impacto negativo para la seguridad vial e incrementa los costos de operación, para ello se proveen metodologías que logran integrar la caracterización estructural y los niveles de severidad de deterioro (Macea, 2015; Calvo, 2013).

En Colombia se analiza un aumento en cuanto a la inversión para obras en el transporte ferroviario por ser de gran importancia en el desarrollo económico del país, al igual que el transporte terrestre tienen incidencia en la economía de un país dando movimiento a todo el sector del comercio; la infraestructura vial brinda parámetros como la velocidad, seguridad y distancias entre puntos portuarios (Márquez, 2017). En el año 2020 Ecuador y el mundo entero vivió y sigue viviendo una crisis de salud que ha llegado a niveles de pandemia, si bien es cierto es indispensable seguir los lineamientos médicos y de bioseguridad para evitar la propagación de este virus, pero también es una realidad que

el sector del transporte no puede detenerse en su totalidad, transportar alimentos e insumos médicos es de vital importancia en estos momentos y demuestra lo imprescindible que es tener vías en buen estado que fomenten la seguridad y economía de un país.

Tecnologías y técnicas en la gestión de pavimentos.

Las tecnologías y técnicas para una mejor adaptabilidad a los cambios climáticos existentes no solo dependen de los pavimentos sino de los múltiples sectores, entre uno de ellos está el sector industrial. La gestión en cuanto al uso de energía nos permite crear soluciones para reducir el gasto energético y recursos naturales sin afectar la productividad. Entre las medidas a promulgar está la determinación de las consecuencias ambientales que se generan por el consumo desmedido de los recursos naturales. Los calificadores a tomar en cuenta tenemos las plantas de carbón, petróleo y gas, entre otros recursos naturales que según estudios se ha confirmado que son las fuentes más contaminantes, debido a la emisión de gases de efecto invernadero (Vásquez et al., 2017). La gestión de los sectores productivos de una nación y en general a nivel mundial es que el petróleo influye significativamente en la contaminación del ambiente por medio de los gases de efectos invernadero, los pavimentos como parte de su estructura cuentan con una carpeta asfáltica la cual está formada por asfalto que es un derivado del petróleo.

Uno de los análisis que influye en la propuesta de un diseño sustentable para carpetas asfálticas es el ACV (Análisis del ciclo de vida), el mismo que es ejecutado para conocer la huella de carbono en estructuras viales asfálticas. Se han ejecutado ensayos en el laboratorio de la Universidad Politécnica de Madrid a mezclas asfálticas para definir el

beneficio técnico de las mezclas en caliente, debido al Pavimento Asfáltico Reciclado que en sus siglas en inglés es RAP y al uso de caucho reciclado originario de neumáticos desechados a la escoria. El rendimiento de este análisis nos lleva a tener en cuenta parámetros como la durabilidad y reciclabilidad (Del Val, Gallego, Querol, & Del Pozo, 2012).

Para analizar el ciclo de vida (ICV) de una mezcla asfáltica, se deben analizar individualmente varios parámetros que intervienen durante las etapas de la ejecución de la mezcla hasta su puesta en uso. a) En toda construcción vial el primer paso es la elección de materiales áridos, en la metodología propuesta está enlazada a los datos obtenidos de los porcentajes de áridos utilizados de forma natural y cuanto porcentaje proviene de RAP para de esta forma tener una reducción en cuanto a las respectivas emisiones de este rubro. b) El uso reciclado de fíller en los casos que sea posible, esta acción es muy ventajosa ya que si se logra reciclar este material sus emisiones ambientales negativas son nulas. c) El asfalto, se estudió y confirmó que la Eurobitume (Asociación europea de fabricantes de asfalto) tiene mayor impacto negativo en cuanto a la sustracción, traslado y manejo del crudo; para el análisis del ciclo de vida es necesario estudiar el porcentaje de asfalto, en conjunto, sobre la mezcla asfáltica, y los aditivos empleados. d) Planta Asfáltica, el análisis de las plantas es de suma importancia para fiscalizar el consumo energético y todas las emisiones contaminantes que se generen incluidos parámetros como la humedad de los áridos. e) Puesta en obra, en esta fase incluye estudiar todos los procesos necesarios para poner en ejecución o en obra la mezcla asfáltica, desde su transporte de materiales hasta el

uso de toda la maquinaria. f) Conservación, demolición (mantenimiento vial) y transporte antes mencionado (Del Val et al., 2012).

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior (Del Val et al., 2012), indica que la finalidad del Análisis de Ciclo de vida consiste en incluir porcentajes de RAP y caucho de NFU (Neumáticos fuera de uso) para acentuar la confiabilidad estructural de las mezclas en caliente mediante el uso de los materiales mencionados. Por lo tanto, la adición de RAP y el uso de NFU en las mezclas asfálticas mitigan de manera considerable las emisiones de Dióxido de Carbono.

La adición de caucho reciclado o pavimento de asfalto recuperado en una mezcla asfáltica tiene beneficios ambientales considerables, debido a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero medida a través de la cantidad de CO₂ que se ahorra usando este material; da como conclusión que un ahorro ambiental es de vital importancia para nuestra infraestructura vial y el desarrollo tecnológico del país (Sampedro et al., 2012).

Uso de materiales reciclados, impacto económico y medio ambiental.

Se ha demostrado que la urgencia de crear políticas ambientales que permitan reducir los gases de efecto de invernadero y de esta manera la contaminación ambiental es un punto clave para futuras generaciones, pero los líderes políticos a nivel mundial tienen un criterio económico que sobrellevar, es decir, se necesita demostrar un beneficio no solo ambiental sino también económico del uso de materiales de reciclado con la finalidad de no afectar la economía. China ha demostrado que el caucho reciclado en mezclas asfálticas tiene un excelente ahorro de energía y reducción en cuanto a los GEI se refiere, además,

de importantes beneficios económicos en la construcción de carreteras (Quing-zhou et al., 2019).

De acuerdo a estudios de proyecciones y estimaciones en china, el uso de caucho reciclado en mezclas asfálticas puede economizar 21,99 millones de toneladas de carbón estándar anualmente, es decir, reducirá el CO₂ que se genera en ese país en aproximadamente 30,33 millones de toneladas. Hablando de temas económicos entre el 2019 y 2023 se podrían optimizar las inversiones en construcciones de vías asfaltadas entre un 8,6% a 9,4%, en términos de moneda estamos hablando de por lo menos USD 211.550 cada año (Quing-zhou et al., 2019).

La infraestructura ferroviaria abarca un impacto económico considerable en países desarrollados, el factor tiempo es indispensable en el avance económico de una nación. No obstante, el deterioro inevitable de estas vías demanda un mantenimiento a lo largo de los años de vida de la estructura, es decir, la necesidad de buscar nuevas metodologías que solventen este parámetro es evidente; y de esta manera tener una mejora económica y ambiental. El empleo de CR demostró mejoras técnicas de gran valor, además, de un mejor desempeño en el ámbito económico disminuyendo los tiempos de mantenimiento de la vía y con ellos disminución de la energía requeridas por las máquinas y demás materias primas (Sol et al., 2019).

(Arroyo et al., 2018), concluyen en su artículo que la adición de neumáticos fuera de uso transformados en miga de CR para el diseño de carpetas asfálticas, es totalmente viable; tanto en el ámbito económico como ambiental. Tres aspectos sugieren esta

tendencia de reciclaje: a) mejora en el tiempo de vida útil antes de observar daños en la capa de rodadura de una vía, es decir, serán menos costosas las obras de mantenimiento vial; b) los GEI se verán disminuidos al tener una salida reutilizable de los NFU; c) la mezcla de carpetas asfálticas con CR son menos costosas en relación a una tradicional; denotamos que el impacto ambiental y económico es positivo para la sociedad.

El uso de caucho reciclado en carpetas asfálticas mejora ambientalmente nuestro planeta con la mitigación ligera, pero importante de GEI a lo largo del ciclo de vida de la mezcla asfáltica modificada. Además, tenemos disminución del índice de regularidad o rugosidad internacional como beneficio de este tenemos mayor comodidad y seguridad en la vía, minimiza el ruido generado por los vehículos; todos estos parámetros son factores que mejoran la parte ambiental (Arroyo et al., 2018).

Hosahally & Prapoorna, (2019) certifican los grandes progresos ambientales que tenemos con el uso de caucho reciclado en carpetas asfálticas verdes sustentables, el alcance analizado ofrece mejoras estructurales a la infraestructura del pavimento ya que mejora las propiedades de su capa de rodadura, otro punto a mencionar es la disminución en cuanto a la extracción de materia prima ó agregados a conmutar.

La latente mitigación de emisiones de dióxido de carbono usando miga de caucho reciclado de NFU es un gran aporte para una adecuada gestión ecológica y sostenible de los desechos. Esta gestión es un método invaluable, eficiente y amigable ambientalmente, además nos brinda una economía circular y cada día una menor vinculación con los recursos no renovables. Las mezclas asfálticas modificadas con CR brindan un ahorro de

energía, reducción de emisiones de dióxido de carbono y aportan inmensamente a la lucha contra la contaminación ambiental que sufrimos día a día (Quing-zhou et al., 2019).

MARCO CONCEPTUAL

Efecto invernadero

Es un efecto que ocurre de manera natural, mientras suceda así y sin excesos es ventajoso para nosotros pues sin este efecto la temperatura promedio de la tierra sería de - 18 grados Centígrados. Determinados gases existentes en nuestra atmosfera hacen la función de retener parte de la radiación térmica recibida por la superficie terrestre luego de ser calentada por el sol, logrando de esta manera una temperatura en el planeta adecuada para el desarrollo de la vida. Los gases naturales que nos permiten retener calor son Nitrógeno (78,10 %) - Oxígeno (20,9 %) – Argón (0,93 %) total 99,93%.

Betún asfáltico

Es el material que tiene como función aglomerar y dar cohesión a las mezclas bituminosas empleadas en asfaltado de vías, llamado también ligante.

Betún modificado con caucho reciclado

Se usa caucho pulverizado de los NFU para incorporar a distintos tipos de betunes para obtener mejores propiedades a las convencionales.

Impermeabilidad

Las mezclas deben ser en lo posible totalmente impermeables, de manera que el agua superficial no pueda atravesar hacia las capas inferiores, evitando con ello que éstas puedan perder capacidad de soporte.

Reciclaje

Proceso de transformación de residuos o desechos en materia prima virgen para el proceso de producción (asfáltica) para obtener un nuevo producto.

Responsabilidad ambiental

Este término nace de la insostenible contaminación ambiental existente en nuestro planeta y busca estudiar nuevas tecnologías y soluciones que nos permitan detener este efecto negativo al medio ambiente.

Compuesto elastomérico

El compuesto elastomérico es específicamente diseñado para lograr máxima resistencia a la abrasión en los ambientes de molienda más agresivos, usados en neumáticos para vehículos entre otros usos.

Impacto ambiental

Son todas las alteraciones, positivas, negativas, directas, indirectas, ocasionadas por una actividad de obra, proyecto público o privado, que generen cambios excesivos sobre el medio ambiente y sus componentes.

Mitigación del cambio climático

La aplicación de las políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como el fomento de cambios, reemplazos o adición de tecnologías que reducen las emisiones de gases de efecto invernadero o que en su defecto disminuya la utilización de componentes contaminantes.

MARCO LEGAL

De acuerdo con la constitución de la República del Ecuador en el artículo 14 se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados;

El artículo 15 de la Constitución de la República del Ecuador ordena que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y debajo impacto.

El artículo 72 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que la naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependen de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para

alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas;

Orientados en el Código Orgánico del Ambiente, Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Acuerdo Ministerial 98 – Instructivo para la gestión integral de neumáticos usados, INEN Instituto Ecuatoriano de Normalización, esta investigación se fundamentó analizando los siguientes artículos como prioritarios:

CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE

Artículo 3. – Fines., numerales:

9. Establecer los mecanismos que promuevan y fomenten la generación de información ambiental, así como la articulación y coordinación de las entidades públicas, privadas y de la sociedad civil responsables de realizar actividades de gestión e investigación ambiental, de conformidad con los requerimientos y prioridades estatales;

10. Establecer medidas eficaces, eficientes y transversales para enfrentar los efectos del cambio climático a través de acciones de mitigación y adaptación.

Artículo 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano.

El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;

7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;

8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;

Artículo 9.- Principios ambientales.

2. Mejor tecnología disponible y mejores prácticas ambientales. El Estado deberá promover en los sectores público y privado, el desarrollo y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto, que minimicen en todas las fases de una actividad productiva, los riesgos de daños sobre el ambiente, y los costos del tratamiento y disposición de sus desechos. Deberá también promover la implementación de mejores prácticas en el diseño, producción, intercambio y consumo sostenible de bienes y servicios, con el fin de evitar o reducir la contaminación y optimizar el uso del recurso natural.

5. In dubio pro natura. Cuando exista falta de información, vacío legal o contradicción de normas, o se presente duda sobre el alcance de las disposiciones legales en materia ambiental, se aplicará lo que más favorezca al ambiente y a la naturaleza. De igual manera se procederá en caso de conflicto entre esas disposiciones.

Título III - Régimen De Responsabilidad Ambiental

Artículo 16.- De la educación ambiental.

La educación ambiental promoverá la concienciación, aprendizaje y enseñanza de conocimientos, competencias, valores deberes, derechos y conductas en la población, para la protección y conservación del ambiente y el desarrollo sostenible. Será un eje transversal de las estrategias, programas y planes de los diferentes niveles y modalidades de educación formal y no formal.

Título V - Gestión integral de residuos y desechos - Capítulo I - Disposiciones generales.

Artículo 225.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos.

Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas generales:

1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;

4. El fortalecimiento de la educación y cultura ambiental, la participación ciudadana y una mayor conciencia en relación al manejo de los residuos y desechos;

5. El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;

6. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;

7. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;

Título VI - Producción y consumo sustentable

Artículo 245.- Obligaciones generales para la producción más limpia y el consumo sustentable.

Todas las instituciones del Estado y las personas naturales o jurídicas, está obligadas según corresponda, a:

1. Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código;

2. Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas;
4. Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto;
5. Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones;
6. Promover con las entidades competentes el acceso a la educación para el consumo sustentable;
7. Promover el acceso a la información sobre productos y servicios en base a criterios sociales, ambientales y económicos para la producción más limpia y consumo sustentable.

Libro cuarto del cambio climático - Título I del cambio climático - Capítulo I
Disposiciones generales

Artículo 248.- Fines.

Los fines del Estado en materia de cambio climático serán:

1. Prevenir y evitar la ocurrencia de los daños ambientales y con ello reducir los efectos del cambio climático;
2. Desarrollar programas de educación, investigación, innovación, desarrollo, desagregación y transferencia de tecnología sobre el cambio climático;
3. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos del cambio climático;
4. Regular y controlar las acciones y medidas para la adaptación y mitigación del cambio climático;
6. Impulsar el desarrollo sostenible en los modelos de gestión y planificación territorial a nivel local, regional y nacional;

8. Garantizar el acceso oportuno a la información necesaria para gestionar adecuadamente el riesgo a través de medidas de adaptación y mitigación.

Capítulo II - Instrumentos para la gestión del cambio climático.

Artículo 252.- Planificación territorial y sectorial para el cambio climático.

Deberán incorporarse obligatoriamente criterios de mitigación y adaptación al cambio climático en los procesos de planificación, planes, programas, proyectos específicos y estrategias de los diferentes niveles de gobierno y sectores del Estado.

Título II – De la adaptación y mitigación del cambio climático - Capítulo I.

Artículo 258.- Criterios para las medidas de adaptación

Para el desarrollo de las medidas de adaptación al cambio climático se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

2. Considerar los escenarios actuales y futuros del cambio climático en los instrumentos de planificación territorial, el desarrollo de infraestructura, el desarrollo de actividades productivas y de servicios, los asentamientos humanos y en la protección de los ecosistemas;

3. Establecer escenarios óptimos y aceptables derivados de los modelos de variabilidad climática actual y futura que deberán incluirse en los planes de desarrollo nacionales y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados para garantizar la calidad de vida de la población y la naturaleza; y,

4. Otras que determine la Autoridad Ambiental Nacional.

Artículo 259.- Criterios para las medidas de mitigación.

Para el desarrollo de las medidas de mitigación al cambio climático se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

1. Promover patrones de producción y consumo que disminuyan y estabilicen las emisiones de gases de efecto invernadero;

2. Contribuir a mejorar la calidad ambiental para fortalecer la protección y preservación de la biodiversidad, los ecosistemas, la salud humana y asentamientos humanos;

3. Incentivar e impulsar a las empresas del sector público y privado para que reduzcan sus emisiones;

Artículo 260.- De los gases de efecto invernadero.

La Autoridad Ambiental Nacional podrá determinar y establecer esquemas de compensación de emisiones de gases de efecto invernadero en el ámbito nacional. Estos esquemas de compensación serán reconocidos por la Autoridad Ambiental Nacional o compatibles con instrumentos ratificados por el Estado y la política nacional de cambio climático.

Los inventarios de gases de efecto invernadero, la contabilidad de reducción de emisiones y los esquemas de compensación serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional.

Capítulo II – Medidas mínimas para adaptación y mitigación.

Artículo 261.- De medidas mínimas.

La Autoridad Ambiental Nacional, como ente rector, coordinará con las entidades intersectoriales priorizadas para el efecto y en base a las capacidades locales, lo siguiente:

12. La promoción de la reutilización de residuos orgánicos e inorgánicos, así como el aprovechamiento de su potencial energético.

REGLAMENTO AL CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE.

Título VII – Gestión integral de residuos y desechos – Capítulo I Disposiciones generales.

Artículo 561.- Principios.

El ejercicio de la gestión integral de residuos y desechos, además aquellos establecidos en el Código Orgánico del Ambiente, se regirá por los siguientes principios:

d) De la cuna a la cuna: Procurar la calidad, eco-diseño y fabricación de productos con características que favorezcan el aprovechamiento y minimización de la generación de residuos y desechos, contribuyendo al desarrollo de una economía circular.

Artículo 562.- Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos.

Además de aquellas contempladas en el Código Orgánico del Ambiente, son políticas generales para la gestión integral de residuos y desechos, las siguientes:

a) Fomento al desarrollo de iniciativas nacionales, regionales y locales, privadas y mixtas, para la gestión de residuos y desechos.

Capítulo I – Análisis de riesgo climático

Artículo 721.- Análisis de riesgo climático.

El análisis de riesgo climático actual y futuro es un estudio que permite identificar los potenciales impactos del cambio climático en los sistemas sociales, económicos y ambientales; y que deberá tener en cuenta la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad del sistema en estudio. La vulnerabilidad deberá contemplar como variables la sensibilidad y la capacidad adaptativa.

El riesgo climático actual partirá de la información climática histórica, validada por la autoridad rectora de la información meteorológica e hidrológica, de acuerdo a los

lineamientos de la Organización Mundial de Meteorología. El riesgo climático futuro partirá de proyecciones climáticas, que se generarán con base en los escenarios de cambio climático, así como la información y modelos disponibles validados por la Autoridad Ambiental Nacional.

INSTRUCTIVO PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE NEUMÁTICOS USADOS.

Artículo 3.

Los neumáticos usados son considerados desechos especiales según el Acuerdo Ministerial No. 142 del 11 de octubre del 2012, publicado en el Registro Oficial No. 856 de 21 de diciembre del 2012.

Artículo 15.

El Programa de Gestión Integral de Neumáticos Usados debe especificar las estrategias, actividades y propuestas de reducción y minimización, así como también promover la investigación, el desarrollo e innovación para la implementación de nuevas tecnologías, identificación y aplicación de nuevas alternativas de valorización, uso de los materiales obtenidos como resultado de la gestión de neumáticos usados, ecodiseño como medida de prevención, entre otras; en todas las fases de gestión.

Artículo 25.

Son responsabilidades y obligaciones del Estado a través de las instituciones de la administración pública, empresas públicas y gobiernos autónomos descentralizados las siguientes:

1. Promover la compra y la utilización de materiales reutilizables, reciclables, biodegradables y valorizables, así como de productos fabricados con material reciclado bajo procesos que cumplan las especificaciones técnicas exigidas por la Normativa Ambiental y la Normativa Técnica Ecuatoriana INEN aplicable.

3. Generar políticas de calidad que disminuyan la generación de neumáticos usados, mediante la aplicación de normativa técnica.

4. Desarrollar normativa técnica que incluya el uso de los materiales derivados de los neumáticos usados.

Artículo 26.

Son responsabilidades y obligaciones la Autoridad Ambiental Nacional las siguientes:

7. Promover la investigación, desarrollo e innovación de nuevas alternativas y tecnologías para fomentar la prevención, el reciclaje y desarrollo de valorización y minimización de desechos sujetos de aplicación de este Acuerdo Ministerial.

Disposiciones Transitorias.

Segunda: Los importadores y/o fabricantes deben cumplir con la meta mínima de recuperación del 30%. Esta meta será calculada en base al total de neumáticos que hayan sido puestos en el mercado en el año fiscal anterior al establecimiento de la meta de recuperación. El porcentaje de recuperación será evaluado y recalculado anualmente.

Sexta: Para los importadores y/o fabricantes que hayan vendido en la provincia de Galápagos, la meta de recuperación será del 100% de los neumáticos puestos en el mercado.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN

Norma Ecuatoriana NTE INEN 2515:2010

Productos derivados del petróleo, cemento asfáltico (Clasificación por viscosidad).

Requisitos.

Norma Ecuatoriana NTE INEN 2515: Enmienda 1

Productos derivados del petróleo, cemento asfáltico (Clasificación por viscosidad).

Requisitos.

Norma Ecuatoriana NTE INEN 2061:2009

Productos derivados del petróleo, asfaltos diluidos. Requisitos.

Norma Ecuatoriana NTE INEN 2680:2013

Productos derivados del petróleo, asfalto modificado con caucho reciclado.

Requisitos e inspección.

CAPÍTULO 3

MARCO METODOLÓGICO

Enfoque de la investigación

Se desarrolló un enfoque mixto (cualitativo – cuantitativo), es decir se realizaron ensayos de laboratorio a un diseño de carpeta asfáltica con la finalidad de conocer su comportamiento ante la adición de miga de caucho reciclado, además, se revisó literatura científica que mostró una mejora estructural en carpetas asfáltica con la adición de miga de caucho reciclado, por ende de esta manera se busca obtener resultados que confirmen o no la disminución de contaminación ambiental por el uso de NFU como por la disminución en el uso de asfalto en las carpetas de rodadura para una vía.

Alcance de la investigación.

Se requiere llegar a obtener resultados precisos del comportamiento de una carpeta asfáltica con la adición de CR, es decir, obtendremos estudios de laboratorios y con ellos propiedades y eficiencia en cuanto al rendimiento con que trabajará la carpeta asfáltica, los resultados obtenidos se compararan con los valores relativos de una carpeta tradicional. Una vez establecidos los resultados se correlacionará de acuerdo a las conclusiones analizadas en los diferentes artículos investigados, es necesario realizar una cantidad limitada de ensayos de laboratorios, para comprobar los resultados obtenidos de la teoría de artículos científicos.

Tipo de investigación.

El tipo de investigación aplicada es exploratoria, puesto que los resultados investigados en literatura científica son aplicados en el exterior, por lo tanto, se precisa corroborar el comportamiento estructural de una carpeta asfáltica en la ciudad de Guayaquil, es decir, el uso de materiales de nuestro entorno para conformar la respectiva estructura.

Métodos, y técnicas de investigación.

El método de investigación adoptado es el deductivo directo de conclusión inmediata, se estudiaron resultados de laboratorio que permitan obtener una conclusión verídica y directa. El método de investigación se basó en la indagación de información orientada por un lado en la justificación de profesionales y empresas del área para el uso de caucho reciclado en carpetas asfálticas y por otro lado en la obtención de resultados de laboratorio que ratifiquen la hipótesis.

La apreciación del uso de caucho reciclado para carpetas asfálticas modificadas fue evaluada mediante una encuesta, con la finalidad de corroborar la aceptación de esta metodología por las grandes empresas de asfalto y profesionales afines. Se pudo medir la percepción profesional de esta metodología en varios niveles como la aceptación cultural al cambio, la predisposición de aportar al medio ambiente, valoración de factibilidad, el cuestionario se muestra en los anexos.

Como primer punto en este trabajo es necesario mencionar los parámetros obtenidos en el Ecuador para demostrar la incidencia negativa que ofrecen los NFU al

medio ambiente. Se procedió a indagar información eficaz y verificada; se obtuvo de instituciones públicas como el MAE (Ministerio del Ambiente), específicamente el programa PNGIDS ECUADOR “Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos; quien brindó la cantidad de neumáticos desechados anualmente en nuestro país y en la Ciudad de Guayaquil, datos reales desde hace 3 años que se implementó este programa.

Además, se incorporaron datos oficiales que se analizan de manera íntegra como son la serie histórica de vehículos matriculados en Ecuador. Esta data tiene un período comprendido entre el año 2000 y actualizado hasta el año 2018 dependiendo el caso en estudio; y es ejecutada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC) junto con la Agencia Nacional de Tránsito (ANT).

Se considera importante la labor que desempeñan las empresas automotrices en el país. El inminente crecimiento socioeconómico va de la mano con el sector del transporte y por ende con las obras públicas a nivel de infraestructura vial, por lo tanto, cada año existe un incremento en las ventas de vehículos automotrices en general lo que nos lleva a tener un mayor ingreso de neumáticos que a futuro serán potentes contaminantes manifestados en NFU. El registro de estos datos fue proporcionado por la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), el intervalo de tiempo de la data investigada es desde el año 2007 hasta el 2018.

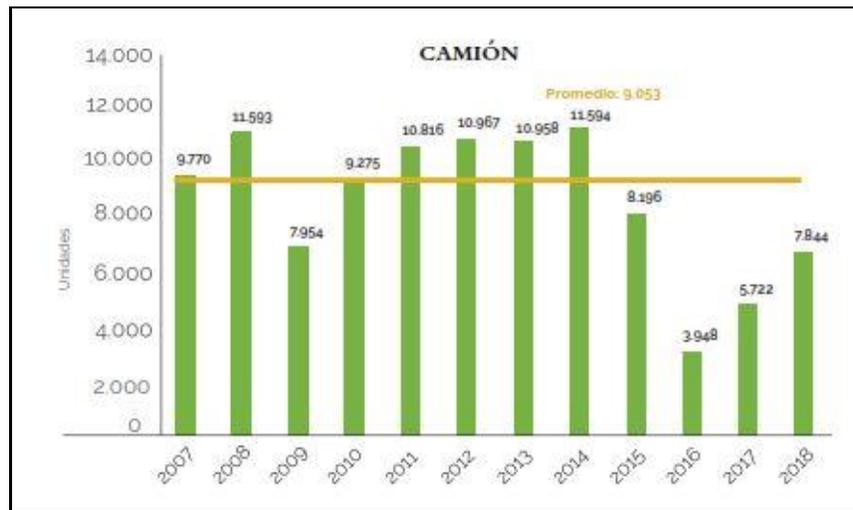


Figura 5 - Ventas anuales (camiones) – Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)



Figura 6 - Ventas anuales (buses) - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)

En la figura 5 y 6 se muestran los porcentajes de ventas anuales de camiones y buses denominados como transporte pesado, pese a que sus porcentajes de crecimiento no han aumentado respecto al año 2013, si aumentaron con respecto al año 2018. Este descenso se debe a la economía que ha mantenido el país en estos últimos años, la misma que está en recuperación, además, a medida que pase los años el país tendrá un avance económico importante, por ende, se incrementaran las ventas de estos automotores.

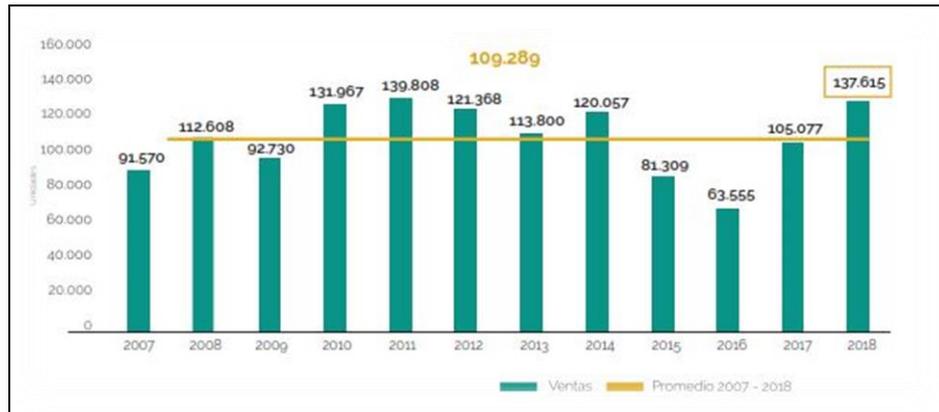


Figura 7 - Ventas anuales de vehículos motorizados en general - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)

En la figura 7 se determina el resumen de ventas anuales en el sector automotor en general, tomando énfasis en el año 2018 que creció en un 31% en relación al 2017. El análisis del crecimiento por tipo de vehículo o marca se excluye por no ser significantes en sus porcentajes, los tráileres considerados uno de los medios de transporte terrestre más influyente en la economía tiene tan solo un crecimiento del 0,55 % en función al crecimiento total.

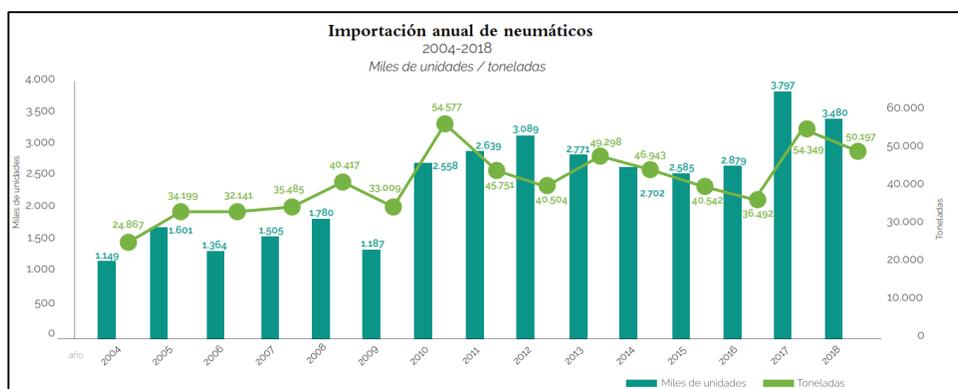


Figura 8 - Importación anual de neumáticos (2004 - 2018) - Fuente: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE)

Como punto principal de los datos obtenidos del (AEADE) tenemos la importación directa de neumáticos, los mismos que son expuestos en la figura 8, se percibe un

crecimiento no uniforme a lo largo de los años finalizando los datos registrados en el año 2018 con 3.480 unidades importadas mientras que el 2017 fue mayor con 3.797 unidades, si lo llevamos al ámbito de peso tenemos que el 2018 se importaron 50.197 tn, mientras que el 2017 fueron 54.349 tn de neumáticos; aunque este parámetro indica un descenso en las importaciones del año 2018 no deja de ser evidente la gran cantidad de neumáticos importados cada año, teniendo en cuenta que estos llegan a cumplir su vida útil para después convertirse en NFU.

Estudios realizados por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), indican que el 30 % de la escoria que contamina a los océanos está conformada por macropartículas de plásticos y neumáticos fuera de uso. En Ecuador se desechan aproximadamente 2,4 millones de neumáticos al año información que es sustentada por el PNGIDS ECUADOR, es decir, la importancia de analizar este problema es de vital influencia para el avance del presente proyecto, es necesario por lo tanto determinar el crecimiento vehicular en nuestro país.

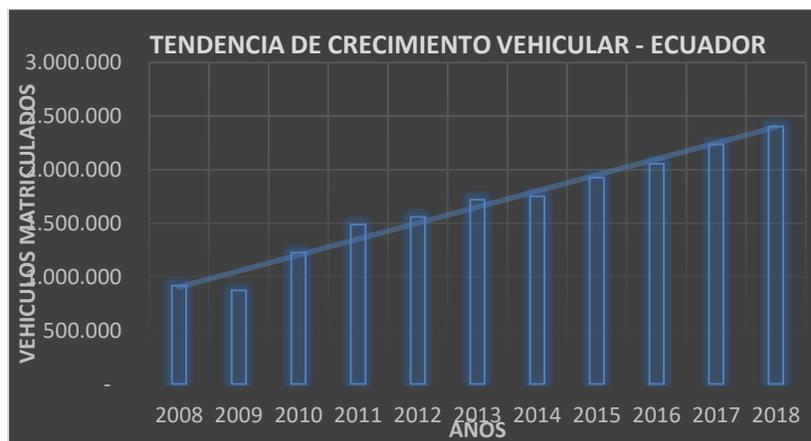


Figura 9 - Crecimiento Vehicular en Ecuador – Elaborado por: Tapia (2021)

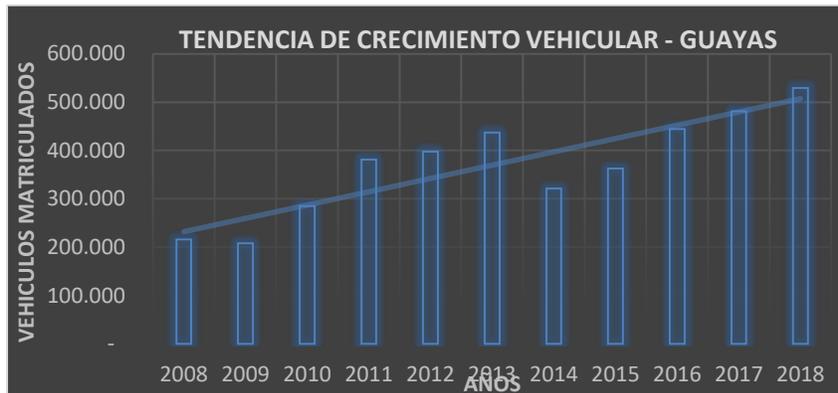


Figura 10 - Crecimiento vehicular en la Provincia del Guayas – Elaborado por: Tapia (2021)

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas junto con la Subsecretaría de Infraestructura del Transporte y la Dirección de Conservación de Infraestructura del Transporte realizaron un mapa del estado de la red vial estatal del Ecuador de septiembre 2019 y abril 2020 a continuación se muestran los datos estadísticos de km de carreteras:



Figura 11 – Estadísticas de la red vial estatal de septiembre 2019 – Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

ESTADO	LONG. (Km.)	%
BUENO	6,880.50	66.89%
CIRCULE CON PRECAUCIÓN	3,405.03	33.11%
TOTAL	10,285.53	100%



Figura 12 – Estadísticas de la red vial estatal de abril 2020 – Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas.

Podemos observar 125 Km de desarrollo de infraestructura vial en 7 meses, está es un claro ejemplo de la importancia vial para un país y su desarrollo y de la posibilidad de aplicar nuevas tecnologías ambientales a este desarrollo, de la misma manera notamos al año 2020 tenemos un 33% de vías en estado de precaución, es decir, se necesitan realizar mantenimientos.

Dada la información obtenida podemos definir qué tanto en Ecuador como en la Provincia del Guayas el crecimiento vehicular ha tenido un notable ascenso, este comportamiento es ineludible en cada país, porque la situación política siempre estará orientada hacia un futuro en pro de progresar social y económicamente y uno de los sectores que permite este avance es el de la infraestructura vial. Los datos analizados nos

muestran el crecimiento actual, pero como profesionales de esta área debemos tener en cuenta la proyección a por lo menos 20 años de este crecimiento vehicular.

Metodología específica.

Se realizaron múltiples investigaciones bibliográficas y el respectivo ensayo de laboratorio requerido para verificar la resistencia y deformación de la carpeta asfáltica. Los artículos científicos investigados confirman el uso de CR proveniente de NFU, como una solución viable para mitigar la contaminación ambiental existente en el planeta; mientras que para corroborar esos resultados en la Ciudad de Guayaquil se realizó el ensayo de Estabilidad y flujo Marshall en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, de la Universidad de Guayaquil.

Los ensayos se los realizaron con la finalidad de determinar varios parámetros técnicos y así poder tener una comparación precisa entre una carpeta asfáltica tradicional y una con la adición de CR. Entre los resultados tendremos: a) determinación del peso específico total, esencial para obtener un análisis de la densidad de vacíos; b) ensayos de estabilidad y fluencia, que nos indicó la resistencia a la deformación del espécimen y la deformación bajo carga respectivamente; c) análisis de densidad y vacíos.

Población

La población adoptada para este estudio tratándose de una investigación experimental – exploratoria, fueron empresas recicladoras de caucho de neumáticos fuera de uso, empresas dedicadas a la producción de mezclas asfálticas y profesionales de la ingeniería afines al área vial.

Las empresas y profesionales encuestados fueron Ecocaucho S.A., Biocaucho, Reciclar Cía. Ltda., Ing. Daniel Campoverde – Especialista Vial, Ing. Douglas Iturburu – Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ing. Arq. Fernando Abad Montero – Ex decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ing. Guillermo Pacheco – Presidente del Colegio de Ingenieros Civiles del Guayas, Ing. Diego Soria – Especialista Vial, Ing. David Stay – Director del Laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, entre otros.

Muestra

La presente investigación se basa en lo experimental y exploratorio, para obtener nuestra muestra se resolvió elaborar briquetas de mezcla asfáltica, mientras mayor sea el número de muestras mejores serán los resultados, tomando en cuenta que la normativa nos recomienda 3 especímenes por cada porcentaje de asfalto, se ejecutaron 36 briquetas en total, además de la mezcla tradicional se realizó adicionando 1, 3 y 5 % de caucho reciclado.

La cantera constructora Luzagui también aportó con ensayos de laboratorio realizados por ellos, siendo un número de muestras de 15 briquetas, de esta manera completamos un total de briquetas para posterior análisis de 51 muestras.

CAPÍTULO 4

INFORME TÉCNICO

Título.

Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden

Objetivos

Objetivo General

Mostrar los resultados obtenidos en el presente estudio, para su posterior análisis y redacción de conclusiones y recomendaciones.

Objetivos Específicos.

Elaborar briquetas asfálticas y efectuar los respectivos ensayos de laboratorio.

Determinar TPDA y paquete estructural de la vía en estudio.

Mostrar resultados de laboratorio para una mezcla asfáltica tradicional y una con la adición de caucho reciclado.

Analizar los respectivos resultados.

Exposición de los hechos.

Para efectos de esta investigación se tomará como inicio de los trabajos la proyección del tráfico a 20 años de un camino ubicado aproximadamente a 63 Km de la Ciudad de Guayaquil, en el cantón Santa Lucía – Provincia del Guayas. Se realizó como inicio del cálculo el respectivo aforo de tráfico para con esta información obtener

finalmente mediante cálculos el Tráfico promedio diario anual (TPDA) y la correspondiente proyección del tráfico a 20 años.

Análisis de tráfico proyectado a 20 años.

Tráfico promedio diario semanal (TPDS)

$$T.P.D.S = \frac{5}{7} * \sum \frac{Dn}{m} + \frac{2}{7} * \sum \frac{De}{m} \quad ; \text{Simbología:}$$

T.P.D.S. = Tráfico promedio diario semanal

Σ = Sumatoria

Dn = Cantidad de vehículos en días normales (lunes, martes, miércoles, jueves y viernes)

De= Cantidad de vehículos en días feriados (sábados y domingos)

M= Número de días que se realizó el conteo

Tabla 2 – Resumen tráfico promedio diario anual.

FECHA	DIA	CONTEO DIARIO DURANTE 12 H
18/09/2018	Martes	702
19/09/2018	Miércoles	573
20/09/2018	Jueves	625
21/09/2018	Viernes	1161
22/09/2018	Sábado	1198
23/09/2018	Domingo	1203
24/09/2018	Lunes	819
TOTAL		6281
T.P.D.S.		897
S		282
σ		106
A		208
T.P.D.A.		1105

Elaborado por: Tapia (2021)

$$T. P. D. S. = \frac{5}{7} * \left(\frac{702 + 573 + 625 + 1161 + 819}{5} \right) + \frac{2}{7} * \left(\frac{1198 + 1203}{2} \right)$$

$$TPDS = 897 \text{ veh. mixtos/dia/ambos sentidos}$$

Tráfico promedio diario anual (TPDA)

Para determinar el Tráfico Promedio Anual se tomará en cuentas varias alternativas de cálculo, puesto que el tráfico afecta directamente a las características del diseño geométrico del camino y considerando el hecho de que la población se mueve por hábitos y al no existir una variación en la estructura social de un país, prácticamente estas variaciones permanecerán constantes en períodos más o menos largos, por lo que en el análisis de volúmenes de tránsito, el tránsito promedio diario anual TPDA., una opción para el cálculo se estima con base a la media muestral o tránsito promedio diario semanal TPDS., según la siguiente expresión:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

Donde:

A = Máxima diferencia entre el TPDA y el TPDS.

Como se observa, el valor de A, sumando o restado del TPDS, define el intervalo de confianza dentro del cual se encuentra el TPDA.

Para un determinado nivel de confiabilidad, el valor de A es:

$$A = K x E$$

Donde:

K = Desviación estándar de conteos.

E = Error estándar de la media.

Estadísticamente se ha demostrado que las medias de diferentes muestras, tomadas de la misma población, se distribuyen normalmente alrededor de la media poblacional con una desviación estándar equivalente al error estándar, Por lo que se puede expresar:

$$E = \hat{\sigma}$$

Donde:

$\hat{\sigma}$ = Estimador de desviación estándar poblacional

El valor estimado de la desviación estándar poblacional, se determina por la siguiente expresión:

$$= \frac{S}{\sqrt{n}} \left(\sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \right)$$

Donde:

S = Desviación estándar de la distribución de los volúmenes de tránsito diario o desviación estándar muestral

n = Tamaño de la muestra en número de días de aforo.

N = Tamaño de la población en número de días del año.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TD_i - TPDS)^2}{n-1}}$$

Donde:

[[TD]]_(i) = Volumen del tránsito del día i

En la distribución normal, para niveles de confiabilidad del 90% y 95% los valores de la constante K son:

$$K = 1.64 \text{ y } K = 1.96$$

Para:

$$\begin{aligned} N &= 365 \text{ dias} \\ n &= 7 \text{ dias} \\ K &= 1.96 \text{ (96\%)} \end{aligned}$$

Tabla 3 – Tráfico promedio diario semanal.

FECHA	DIA	CONTEO DIARIO DURANTE 12 H
18/09/2018	Martes	702
19/09/2018	Miercoles	573
20/09/2018	Jueves	625
21/09/2018	Viernes	1161
22/09/2018	Sabado	1198
23/09/2018	Domingo	1203
24/09/2018	Lunes	819
TOTAL		6281
T.P.D.S.		897

Elaborado por: Tapia (2021)

TPDS = 897 veh. mixtos/dia/ambos sentidos

Se determina la desviación estándar muestral S:

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (702 - 897)^2 + (573 - 897)^2 + (625 - 897)^2 + (1161 - 897)^2 + (1198 - 897)^2 + (1203 - 897)^2 + (819 - 897)^2}{7 - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{477144}{6}}$$
$$S = 282$$

Ahora determinamos la desviación estándar poblacional estimada.

$$\hat{\sigma} = \frac{282}{\sqrt{7}} \left(\sqrt{\frac{365 - 7}{365 - 1}} \right)$$

$$\hat{\sigma} = 106$$
$$E = \hat{\sigma}$$

Se determina A

$$A = 1.96 \times 106$$
$$A = 208$$

Entonces el TPDA para un nivel de confiabilidad del 95%:

$$TPDA = TPDS \pm A$$

$$TPDA = 897 + 208 = 1105$$

$$TPDA = 897 - 208 = 689$$

$$TPDA = 1105 \text{ veh/día}$$

Tráfico generado (TG)

Es el tránsito de viajes totalmente nuevos y viajes que antes se hacían por otro medio de transporte, es el que se obtiene en forma adicional, como resultado de aquel que se va estableciendo como consecuencia de la rehabilitación y política de mantenimiento que se imponga.

Se establece como límite máximo de incremento por tráfico generado el correspondiente a un 20% del tráfico normal para el primer año de operación del proyecto. Para los restantes años del periodo de pronóstico, el tráfico generado se estima que crecerá a la misma tasa que el tráfico normal.

$$Tg = 20\% TPDA$$

$$Tg = 20\% \times 1105$$

$$Tg = 221 \text{ vehículos}$$

Tráfico por desarrollo (TD)

El incremento del volumen del tráfico debido a las mejoras de los predios adyacentes a la carretera. Forma parte del crecimiento normal del tráfico.

$$Td = 5\% TPDA = 5\% \times 1105$$

$$\mathbf{Td = 56 veh\acute{u}culos}$$

Tráfico futuro (TF)

El pronóstico del volumen de tráfico futuro, deberá basarse no solamente en los volúmenes normales actuales, sino también en los incrementos del tránsito que se espera utilicen la carretera existente.

Con los datos establecidos de TPDA, tráfico generado y tráfico por desarrollo, podemos calcular el tráfico y así realizar la proyección a 20 años.

$$TF = TPDA + Tg + Td$$

$$TF = 1105 + 221 + 56$$

$$\mathbf{TF = 1382 veh\acute{u}culos}$$

Composición del tráfico

Realizamos la composición del tráfico:

Tabla 4 – Composición del tráfico promedio diario semanal y tráfico futuro.

T.P.D.S.		
TIPO DE VEHICULO	NUMERO	%
LIVIANOS	722	80,45%
BUSES	13	1,45%
CAMIONES	162	18,10%
TOTAL	897	100,00%
T F		
TIPO DE VEHICULO	NUMERO	%
LIVIANOS	1112	80,45%
BUSES	20	1,45%
CAMIONES	250	18,10%
TOTAL	1382	100,00%

Elaborado por: Tapia (2021)

Proyección del tráfico

Para la proyección del tráfico vehicular, se procedió a procesar las series históricas del registro vehicular anual desde el año 1969 hasta el año 2008 en la Provincia del Guayas, y actualizado en base al “Anuario de Estadística y Transporte” proporcionado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), donde presenta información de los vehículos matriculados desde 1998, cuyas fuentes son: La Agencia Nacional de Tránsito, Comisión de Tránsito del Ecuador, Dirección Nacional de Control de Tránsito y Seguridad Nacional.

El procedimiento radicó en determinar las ecuaciones de regresión lineal simple porque es la que más se ajustaba a este período y luego los coeficientes de correlación para determinar la coherencia de los datos existentes. Posteriormente, contando con las ecuaciones correspondientes, se procedió a proyectar el TPDA asignado de la vía en estudio, desde el año 2018 para un período de 20 años.

Se utilizó solamente la ecuación lineal porque era la más representativa de acuerdo al incremento de la matriculación vehicular obteniendo así la tasa de crecimiento vehicular.

Tabla 5 – Tasa de crecimiento.

TASA DE CRECIMIENTO		
LIVIANO	BUSES	PESADOS
2,06%	1,71%	1,63%

Elaborado por: Tapia (2021)

Proyección del tráfico a 20 años (TP)

El tráfico proyectado se lo obtiene de la siguiente expresión:

$$Tp = Ta (1 + i)^n \text{ Donde:}$$

Tp = Tráfico futuro o proyectado

Ta = Tráfico actual equivalente

i = Tasa de crecimiento del tráfico

n = Periodo de proyección

Tabla 6 – Proyección del tráfico a 20 años.

PROYECCIÓN DEL TRÁFICO A 20 AÑOS					
AÑO	n	TIPO DE VEHICULO			
		LIVIANOS	BUSES	PESADOS	TOTAL
2018	0	1112	20	250	1382
2038	20	1672	28	345	2045

Elaborado por: Tapia (2021)

Del análisis realizado se tiene como parámetro el crecimiento vehicular en una zona de la Provincia del Guayas proyectado a 20 años, podemos observar que el tráfico promedio diario anual futuro es de 1382, mientras que al calcular su proyección a 20 años tenemos

un aumento del 48% dando como resultado un TPDA de 2045. Si hablamos en términos viales nuestro camino vecinal en estudio se transformará en una vía de tercer orden, es decir, la mayoría de nuestros caminos serán de un orden mayor a futuro no podemos simplemente tomar en cuenta la actualidad sino una proyección con visión al futuro, es por esto que los neumáticos cada día generan una mayor contaminación ambiental.

Determinación del paquete estructural de la vía en estudio

Según información brindada por la prefectura del Guayas y la empresa ACP Consultoría técnica Cía. Ltda. contratista del estudio se tiene que el paquete estructural es el siguiente:

Tabla 7 – Diseño estructural del pavimento

Paquete estructural de la vía en estudio		
Concreto asfáltico E= 440.000 psi	4"	10 cm
Base granular CBR > 80%	8"	20 cm
Sub - Base granular CBR > 30%	10"	25 cm
Mejoramiento de Subrasante IP < 10 % CBR > 20%	12"	30 cm

Fuente: ACP Consultoría Técnica Cía. Ltda.

De la tabla presentada se requiere en específico para objeto de este estudio el espesor del concreto asfáltico el cual es de 10 cm.

Fuente de información.

Materiales a usar

Para comprender de una mejor manera la presenta investigación se muestra un detalle de las características de los materiales a usar. Para evaluar la caracterización de dichos materiales se tiene que en el área de la construcción hay dos panoramas siendo estos

el de la infraestructura civil e infraestructura vial, en este documento nos vamos a enfocar en la infraestructura vial que corresponde a la caracterización, comprobación y exploración de mezclas o emulsiones asfálticas y cada uno de los materiales requeridos para la fabricación de carpetas asfálticas para pavimentos ya sean rígidos o flexibles.

Agregados – cantera constructora Luzagui

Luego de un exhaustivo análisis se decidió tomar en cuenta a la cantera constructora Luzagui para proveer agregados de calidad tanto gruesos como finos, además de ser una de las pocas canteras que cuentan con materiales para la construcción de carpetas asfálticas, además, con su propia planta de dosificación para hormigón asfáltico e hidráulico. La cantera se encuentra ubicada en el Km. 8 vía a Salitre.

A continuación, se detallan los respectivos ensayos e información facilitada que muestran la calidad y clasificación de materiales a usar en este trabajo.

Tabla 8 – Diseño de la capa de rodadura

DISEÑO DE LA CAPA DE RODADURA	
Proyecto :	Utilización de Caucho Reciclado Para la Construcción de una Carpetas Asfáltica Sustentable en una Vía de Tercer Orden.
Planta - Cantera :	Constructora Luzagui
Fecha :	Octubre del 2021
Espesor :	1"
1. Características del diseño	
A. Tamaño nominal 1/2"	
B. Tipo de material	
Agregados 1/2 "	18%
Agregados 3/8 "	30%
Cisno	32%
Arena natural	20%

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 9 – Granulometría de los agregados

C. Granulometría de los agregados						
Diametro en mm	Tamices	% pasante	Acumulada	Faja de control		Especificación Tipo A
25	3/4"	100	0	100		100
12,5	1/2"	91,2	8,8	83,2	100	90 - 100
9,5	3/8"	78,2	13	71,2	85,20	
4,75	4	57	21,2	50	64,00	44 - 74
2,36	8	42	15	36	48,00	28 - 58
1,18	16	25	17	19	31,00	
0,6	30	21,4	3,6	16,4	26,40	
0,3	50	14,9	6,5	9,9	19,90	5 - 21
0,15	100	10	4,9	6	14,00	
0,075	200	5,9	4,1	2,9	8,90	2 - 10
llenante	llenante	0	5,9			
			100,00			
Gravedad específica de masa		2,660				
Gravedad específica efectiva		2,725				
Gravedad específica aparente		2,807				
Porcentaje de asfalto absorbido		0,91 %				

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 10 – Control de diseño

D. Control de diseño			
Propiedad	Valor obtenido	Especificaciones	
		Min	Máx
% de vacíos	4	3	5
% V.M.A.	15,5	15	-
Estabilidad en Lbs	2,58	1800	-
Flujo	1,5	8	14
Contenido de asfalto %	5,7		
Relación Filler / Betún = 1,035 % Temperatura de mezcla en planta 140 - 150 °C Ensayo ASTM D - 3625 > 95 % Aceptable.			

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 11 – Granulometría de agregado 1/2”

Agregados 1/2"				
Granulometría de los agregados para mezcla asfáltica				
Diametro	Tamices	Peso retenido acumulado (gr)	% retenido	% pasante
25	3/4"	0	0,0	100,0
12,5	1/2"	2180	44,7	55,3
9,5	3/8"	4160	85,3	14,7
4,75	4	4832	99,1	0,9
Pasante No. 4	Pasante No. 4		0,0	100,0
2,36	8	45		
1,18	16	0		
0,6	30	0		
0,3	50	0		
0,15	100	0		
0,075	200	0		
Pasante No. 200	Pasante No. 200	0		
Peso Total Lavado		4877		

Capsula No.	Peso Cap. + suelo humedo	Peso Cap. + suelo seco	Peso Capsula	Contenido de humedad W %
7	120	116,7	5,8	2,98

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.



Figura 13 - Curva granulométrica agregado 1/2” - Fuente: Cantera Luzagui

Tabla 12 – Gravedades específicas de agregado 1/2”

GRAVEDADES ESPECIFICAS	
Proyecto	:
Planta -Cantera	: Constructora Luzagui
Uso	: Mezcla Asfáltica
Fecha	: Octubre del 2021
Espesor	: 1"
Material	: Agregado 1/2"
Gravedad especifica	
Agregado grueso ret. # 4	
Material que pasa el tamiz 1" y es retenido en el tamiz # 4	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	4706
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	4776
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	3129
Gravedad específica de masa	2,857
Gravedad especifica de S.S.S	2,900
Gravedad especifica aparente	2,984
% de absorción	1,49%
Gravedad especifica	
Agregado fino pas. # 4	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz # 200	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	492
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	500
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	300,9
Gravedad específica de masa	2,471
Gravedad especifica de S.S.S	2,511
Gravedad especifica aparente	2,575
% de absorción	1,63%

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 13 – Granulometría de agregado 3/8”

Agregados 3/8"				
Granulometría de los agregados para mezcla asfáltica				
Diametro	Tamices	Peso retenido acumulado (gr)	% retenido	% pasante
25	3/4"	0	0,0	100,0
12,5	1/2"	49	2,5	97,6
9,5	3/8"	350	17,5	82,5
4,75	4	1370	68,5	31,5
Pasante No. 4	Pasante No. 4		0,0	
2,36	8	1630	81,5	18,5
1,18	16	1757	87,9	12,2
0,6	30	1784	89,2	10,8
0,3	50	1825	91,3	8,8
0,15	100	1855	92,8	7,3
0,075	200	1920	96,0	4,0
Pasante No. 200	Pasante No. 200	80	4,0	0,0
Peso Total Lavado		2000		

Capsula No.	Peso Cap. + suelo humedo	Peso Cap. + suelo seco	Peso Capsula	Contenido de humedad W %
2	155	149	6	4,20

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.



Figura 14 - Curva granulométrica agregado 3/8” - Fuente: Cantera Luzagui

Tabla 14 – Gravedades específicas de agregado 3/8”

GRAVEDADES ESPECIFICAS	
Proyecto	:
Planta -Cantera	: Constructora Luzagui
Uso	: Mezcla Asfáltica
Fecha	: Octubre del 2021
Espesor	: 1"
Material	: Agregado 3/8"
Gravedad especifica	
Agregado grueso ret. # 4	
Material que pasa el tamiz 1/2" y es retenido en el tamiz # 4	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	4540
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	4626
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	3020
Gravedad específica de masa	2,827
Gravedad específica de S.S.S	2,880
Gravedad específica aparente	2,987
% de absorción	1,89%
Gravedad especifica	
Agregado fino pas. # 4	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz # 200	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	489,2
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	500
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	313,3
Gravedad específica de masa	2,620
Gravedad específica de S.S.S	2,678
Gravedad específica aparente	2,781
% de absorción	2,21%

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 15 – Granulometría de agregado Cisco

Cisco				
Granulometría de los agregados para mezcla asfáltica				
Diametro	Tamices	Peso retenido acumulado (gr)	% retenido	% pasante
25	3/4"	0	0,0	100,0
12,5	1/2"	0	0,0	100,0
9,5	3/8"	0	0,0	100,0
4,75	4	30	2,8	97,2
Pasante No. 4	Pasante No. 4			0,0
2,36	8	197	18,3	81,7
1,18	16	588	54,6	45,4
0,6	30	620	57,6	42,4
0,3	50	800	74,3	25,7
0,15	100	867	80,5	19,5
0,075	200	947	87,9	12,1
Pasante No. 200	Pasante No. 200	130	12,1	0,0
Peso Total Lavado		1077		

Capsula No.	Peso Cap. + suelo humedo	Peso Cap. + suelo seco	Peso Capsula	Contenido de humedad W %
10	133,7	128	6,2	4,68

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

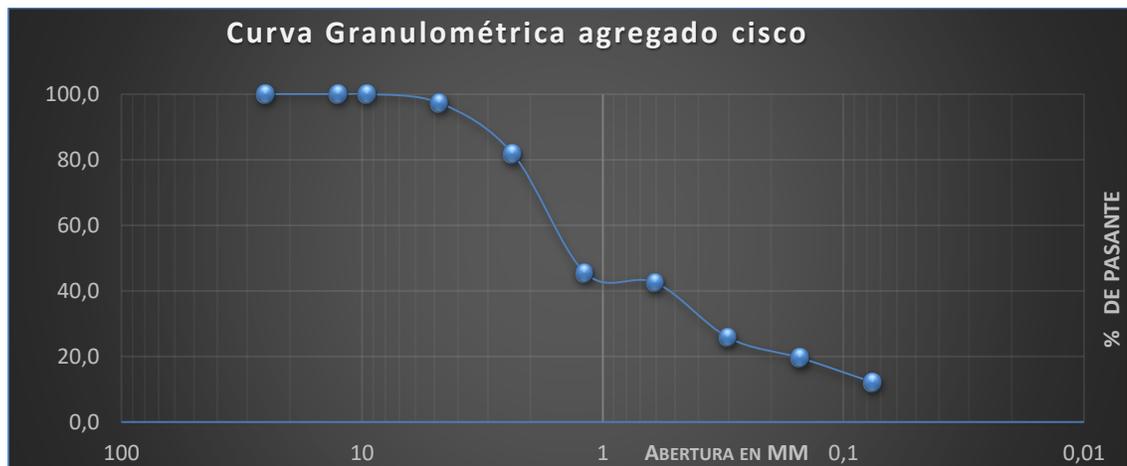


Figura 15 - Curva granulométrica agregado cisco - Fuente: Cantera Luzagui

Tabla 16 – Gravedades específicas de agregado Cisco

GRAVEDADES ESPECIFICAS	
Proyecto	:
Planta -Cantera	: Constructora Luzagui
Uso	: Mezcla Asfáltica
Fecha	: Octubre del 2021
Espesor	: 1"
Material	: Cisco
Gravedad especifica	
Agregado grueso	
Material que pasa el tamiz 1" y es retenido en el tamiz # 4	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	0
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	0
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	0
Gravedad específica de masa	0,000
Gravedad específica de S.S.S	0,000
Gravedad específica aparente	0,000
% de absorción	0,00%
Gravedad especifica	
Cisco	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz # 200	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	488
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	500
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	312
Gravedad específica de masa	2,596
Gravedad específica de S.S.S	2,660
Gravedad específica aparente	2,773
% de absorción	2,46%

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 17 – Granulometría de agregado arena natural

Agregados arena natural		Granulometría de los agregados para mezcla asfáltica		
Diametro	Tamices	Peso retenido acumulado (gr)	% retenido	% pasante
25	3/4"	0	0,0	100,0
12,5	1/2"	0	0,0	100,0
9,5	3/8"	94	6,1	93,9
4,75	4	288	18,8	81,2
Pasante No. 4	Pasante No. 4		0,0	
2,36	8	744	48,6	51,4
1,18	16	1009	65,9	34,1
0,6	30	1177	76,9	23,1
0,3	50	1222	79,9	20,1
0,15	100	1406	91,9	8,1
0,075	200	1464	95,7	4,3
Pasante No. 200	Pasante No. 200	66	4,3	0,0
Peso Total Lavado		1530		

Capsula No.	Peso Cap. + suelo humedo	Peso Cap. + suelo seco	Peso Capsula	Contenido de humedad W %
5	144	137	6,8	5,38

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

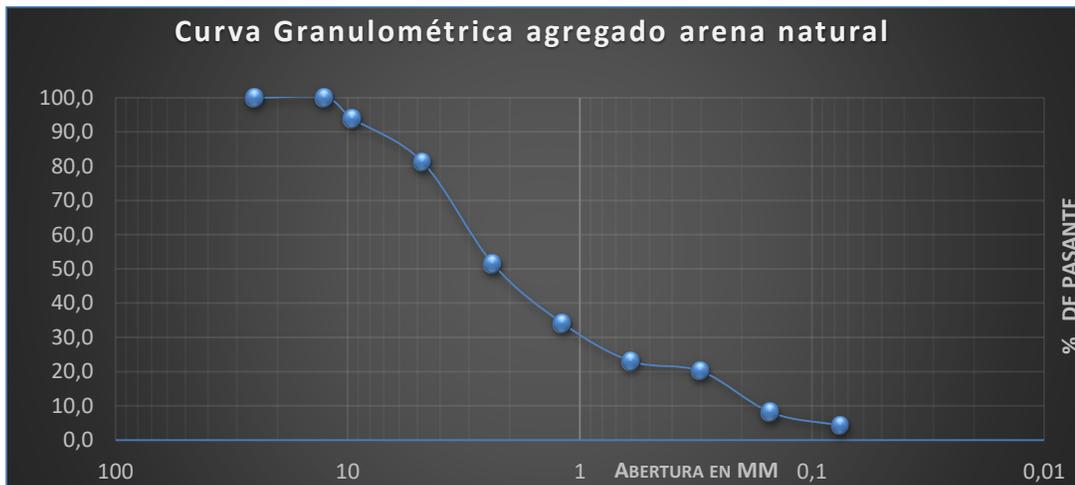


Figura 16 - Curva granulométrica agregado arena natural - Fuente: Cantera Luzagui

Tabla 18 – Gravedades específicas de agregado arena natural

GRAVEDADES ESPECIFICAS	
Proyecto	:
Planta -Cantera	: Constructora Luzagui
Uso	: Mezcla Asfáltica
Fecha	: Octubre del 2021
Espesor	: 1"
Material	: Arena natural
Gravedad específica	
Agregado grueso	
Material que pasa el tamiz 1" y es retenido en el tamiz # 4	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	0
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	0
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	0
Gravedad específica de masa	0,000
Gravedad específica de S.S.S	0,000
Gravedad específica aparente	0,000
% de absorción	0,00%
Gravedad específica	
Agregado natural	
Material que pasa el tamiz # 4 y es retenido en el tamiz # 200	
A - B - C (gramos)	
A: Peso en el aire de la muestra secada al horno:	491,6
B: Peso en el aire de la muestra saturada:	500
C: Peso en el agua de la muestra saturada:	301,6
Gravedad específica de masa	2,478
Gravedad específica de S.S.S	2,520
Gravedad específica aparente	2,587
% de absorción	1,71%

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

Tabla 19 – Graduación combinada de agregados

GRADUACION COMBINADA PARA MEZCLAS											
Agregado	Cantera	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
1/2 "	Luzagui	100,0	55,3	14,7	0,9						
3/8 "	Luzagui	100,0	97,6	82,5	31,5	18,5	12,2	10,8	8,8	7,3	4,0
Cisco	Luzagui	100,0	100,0	100,0	97,2	81,7	45,4	42,4	25,7	19,5	12,1
Arena natural	Luzagui	100,0	100,0	93,9	81,2	51,4	34,1	23,1	20,1	8,1	4,3
Especificaciones 2002		100	100	90-100	55-85	32-67			7-23		2-10
Agregado	Cantera	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
1/2 "	18%	18,0	10,0	2,6	0,2		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/8 "	30%	30,0	29,3	24,8	9,5		5,6	3,6	3,2	2,6	2,2
Cisco	32%	32,0	32,0	32,0	31,1		26,1	14,5	13,6	8,2	6,2
Arena natural	20%	20,0	20,0	18,8	16,2		10,3	6,8	4,6	4,0	1,6
Especificaciones 2002		100,0	88,2	72,8	52,7		50,5	30,5	25,4	18,2	11,6
Deseadas		100 - 90	100 - 90		74-44	58-28				7-23	2-10
Deseadas		100	100	95	70		50			15	6

Fuente: Cantera Constructora Luzagui.

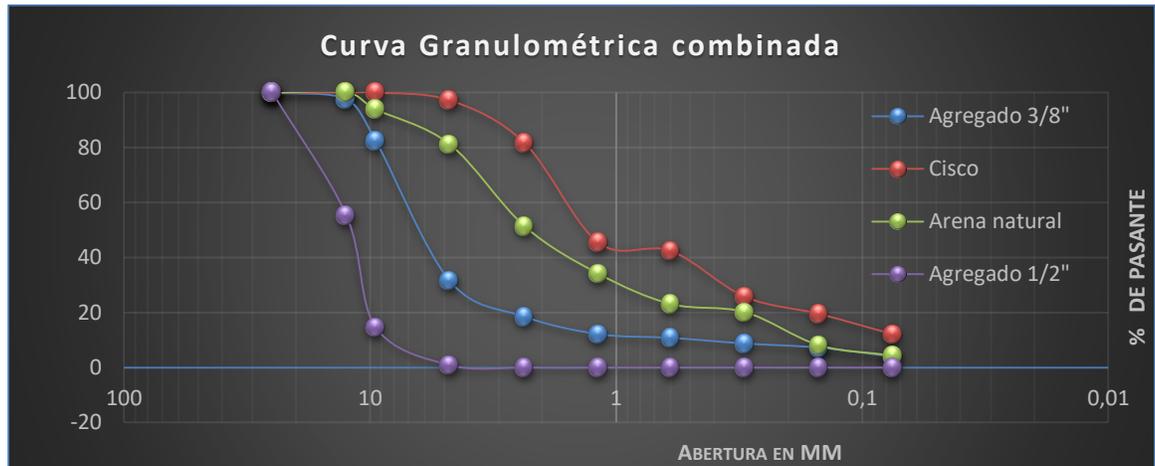


Figura 17 - Curva granulométrica combinada - Fuente: Cantera Luzagui

Miga de caucho reciclado de neumáticos fuera de uso (NFU)

A pesar de la poca utilización del caucho reciclado de NFU en carpetas asfálticas, existen múltiples innovaciones de reutilización con el propósito de contribuir al cuidado del medioambiente; es por esto que las empresas dedicadas al cuidado del medioambiente han crecido en nuestro país. Para la obtención del caucho reciclado nos contactamos con una empresa que se especializa en la industria recicladora de caucho ECOCAUCHO S.A. quienes aportan a reducir la emisión de millones de toneladas de CO₂ a la atmosfera, equivalente a plantar 50.000 hectáreas de pinos y ahorrando millones de barriles, y la contaminación de la naturaleza. La mencionada empresa ha reciclado 673.044 llantas hasta el 30 de junio del 2021, lo cual quiere decir que se mitiga más de 21.000 toneladas de emisiones de CO₂, en otras palabras, equivale a sembrar más de 16 millones de árboles.

Por esta razón esta empresa ubicada en la Av. José Andrade Oe-124 y Juan de Sélis. Sector Carcelén Industrial en la Ciudad de Quito – Ecuador, fue quien aportó con el material empleado para esta investigación.

El proceso de trituración de los neumáticos empieza por la recolección de los mismos de los diferentes talleres que los desechan y se separan los reutilizables y los que son NFU se los lleva a una planta de reciclaje para separar sus 3 componentes básicos que son el textil, acero y el caucho en su mayoría. En estas plantas se destruye el neumático mediante trituración sucesiva de los componentes hasta llegar a un polvo de caucho en el que ya se ha separado el acero y el textil, el acero se recicla para convertirse en nuevo acero, el textil en combustible y el caucho reciclado tiene múltiples aplicaciones.

Este material es uno de los puntos claves por la inclusión de nuevas tendencias en el ámbito de la ingeniería civil que logren mitigar los efectos adversos contra el ambiente. De toda la información descrita en nuestro marco teórico se ha demostrado el beneficio de incluir caucho reciclado como material a nuestra carpeta asfáltica, los NFU tienen una formación de caucho sintético en la mayoría del neumático contiene, acero, óxido de zinc, negro de carbono, materiales textiles y otros materiales adicionales; se mostrarán unas tablas con los componentes de un NFU.

Tabla 20- Composición de los neumáticos en la Unión Europea

<i>Material</i>	<i>Turismo %</i>	<i>Camión/autobús %</i>
Caucho/Elastómero	48	43
Negro de carbono	22	21
Metal	15	27
Textil	5	-
Oxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	6

Fuente: ETRA, European Tyre Recycling Association

Tabla 21 - Composición química de los neumáticos usados

<i>Elemento/Compuesto</i>	<i>Contenido</i>	<i>Unidad</i>
C	70	%
Fe	16	%
H	7	%
O	4	%
Oxido de Zn	1	%
S	1	%
N ₂	0.5	%
Ácido esteárico	0.3	%
Halógenos	0.1	%
Ligandos cupríferos	200	mg/Kg
Cd	10	mg/Kg
Cr	90	mg/Kg
Ni	80	mg/Kg
Pb	50	mg/Kg

Fuente: OFEFP

El CR a implementar como material para la carpeta asfáltica se lo obtendrá del proceso por vía seca, es decir, será triturado de manera íntegra al neumático fuera de uso y se retiene para estudio la fracción obtenida para la fabricación de nuestra capa de rodadura

con adición de CR, la siguiente imagen da una pequeña idea de la conformación de un neumático.

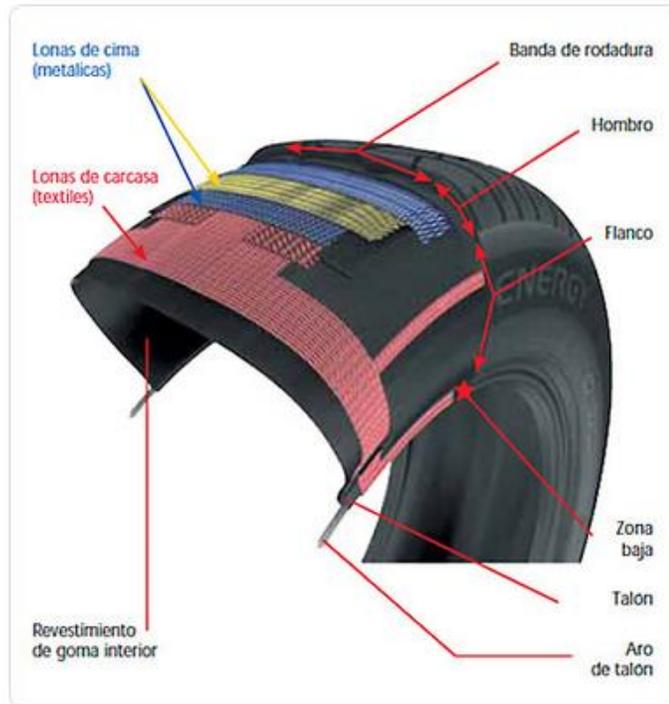


Figura 18 - Composición de neumáticos - Fuente: Euromaster

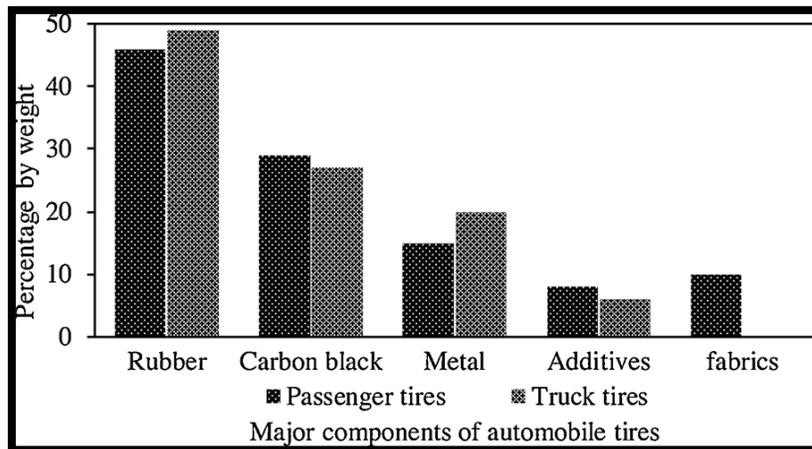


Figura 19 - Componentes de neumáticos – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).

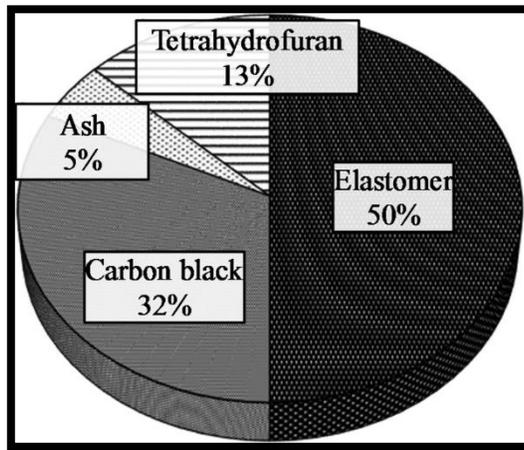


Figura 20 - Composición CR y las proporciones medias de los componentes – Fuente: (Hosahally & Prapoorna, 2019).



Figura 21 – Polvo de neumático – Fuente: ECO-CAUCHO

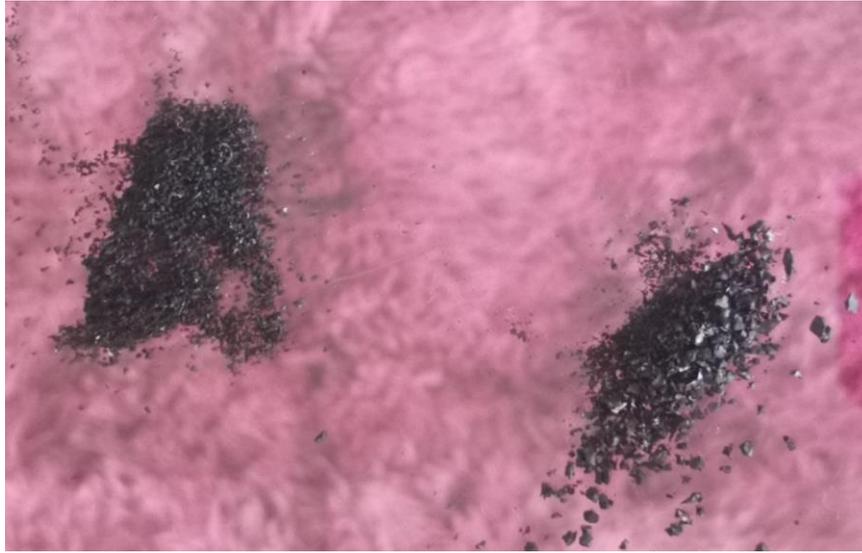


Figura 22 – Polvo de neumático de (0 a 1)mm – (1 a 3)mm – Fuente: ECO-CAUCHO

Procedimiento y técnicas de análisis.

Diseño Marshall de la mezcla asfáltica

El propósito de este ensayo es determinar el contenido óptimo de asfalto, además, provee datos de las propiedades de la mezcla asfáltica y establece densidades, contenidos óptimos de vacíos los mismos que deben cumplir normativas para la construcción de pavimentos.

Elaboración de briquetas

La elaboración de briquetas se las realizó en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, con la autorización del decano Ing. Douglas Iturburu Msc. y la colaboración del Ing. Javier Stay Msc. director del laboratorio. Las briquetas tienen un peso de 1200 gr, en cada una se asumen distintos

porcentajes de cemento asfáltico, los mencionados porcentajes se establecerán en la siguiente granulometría para un diseño tradicional de carpeta asfáltica:

Tabla 22 – Dosificación de mezcla tradicional

Pesos de los agregados para mezcla tradicional (3 briquetas)						
Peso Total	AC - 20	18%	30%	32%	20%	
	Asfalto	1/2 "	3/8 "	Cisco	Arena natural	
Peso (gr)	Porcentaje	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)	Peso (gr)
1200	5,00%	60,00	205,20	342,00	364,80	228,00
1200	5,70%	68,40	203,69	339,48	362,11	226,32
1200	6,50%	78,00	201,96	336,60	359,04	224,40

Elaborado por: Tapia (2021)

De los porcentajes mostrados tenemos 3 dosificaciones distintas de cemento asfáltico a ensayar, razón por la cual se usaron 3 briquetas para cada porcentaje teniendo un total de 9 briquetas para un diseño tradicional.

Equipo utilizado

Cucharón

Franelas

Guantes de cuero

Soplete

Extractor de probetas

Termómetro industrial

Recipientes metálicos.

Horno

Balanza

Máquina Marshall

Moldes Marshall y su respectivo soporte

Pedestal de compactación

Martillo de compactación

Dispositivo para moldear probetas

Materiales

Cemento asfáltico AC-20

Arena y grava

Procedimiento de elaboración de briquetas

Para empezar, se procedió a pesar cada uno de los materiales antes de introducirlos al horno a 105 °C ó 110 °C, para secarlos y luego pesar nuevamente y así obtener su peso en seco libre de humedad.



Figura 23 – Peso en seco. Elaborado por: Tapia (2021)

Como siguiente paso, determinamos los pesos de cada material arena, grava, cemento asfáltico, para obtener las cantidades exactas diseñadas en cada briqueta, los porcentajes ensayados son el 5%, 5.7% y 6.5% de cemento asfáltico.



Figura 24 – Determinación de peso de los agregados de la briqueta. Elaborado por: Tapia (2021)

Posteriormente se mezclan todos los agregados en un recipiente normalizado hasta obtener una mezcla uniforme, paso seguido se calienta la mezcla mediante un soplete hasta temperaturas de 175° C y 190° C controlados con un termómetro. Mientras que en el horno se prepara el cemento asfáltico a una temperatura mayor de 140°C para finalmente verter el cemento asfáltico sobre los agregados y conseguir una mezcla homogénea.



Figura 25 – Preparación de la mezcla. Elaborado por: Tapia (2021)

Se vacían las mezclas asfálticas en caliente en moldes Marshall calentados previamente y engrasados con parafina, y de esta manera realizar la respectiva compactación con el martillo Marshall dando 150 golpes a cada briqueta, 75 golpes por cada lado.



Figura 26 – Elaboración de briquetas de ensayo. Elaborado por: Tapia (2021)

Como punto final de la elaboración de briquetas se dejan enfriar los moldes a temperatura ambiente para luego extraer las briquetas con un gato hidráulico.



Figura 27 – Briquetas. Elaborado por: Tapia (2021)

Proceso de ensayo.

Una vez obtenidos los especímenes, medimos las alturas para definir un promedio mediante un calibrador.



Figura 28 – Dimensionamiento de la briquetas. Elaborado por: Tapia (2021)

Determinación de los pesos específicos bulk.

Este parámetro se obtiene pesando los especímenes al aire, sumergidos y superficialmente saturadas.

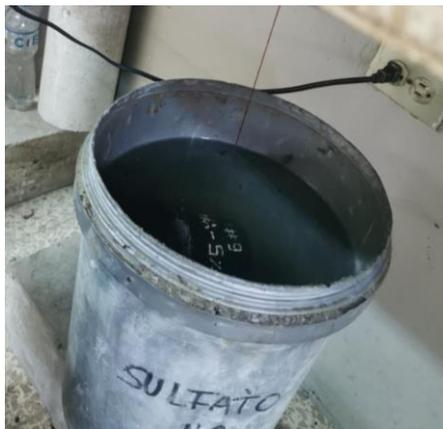


Figura 29 – Pesos al aire, sumergidos. Elaborado por: Tapia (2021)



Figura 30 – Pesos superficialmente saturados. Elaborado por: Tapia (2021)

Determinación de la estabilidad y flujo.

Se colocan los especímenes en baño maría por un lapso de 30 min a una temperatura de 60°C.



Figura 31 – Especímenes en baño maría. Elaborado por: Tapia (2021)

Se colocan las briquetas en las mordazas y con un equipo compactador se aplica carga sobre el espécimen a una velocidad constante de 50,8 mm por minuto hasta que se

produzca la fatiga y la falla. Luego de la falla se registran los datos de carga en libras y el del flujo en centésimas de pulgadas.



Figura 32 – Ensayo Marshall de Estabilidad y Flujo. Elaborado por: Tapia (2021)

Determinación de la densidad máxima teórica.

Ensayo de Rice.

Mediante este ensayo obtenemos la gravedad y densidad máxima teórica de mezclas en caliente no compactadas a temperatura de 25°C.

Tabla 23 – Resultados de ensayo de Rice.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Diametro	Altura	Volumen	Peso inicial	Peso en el aire	Peso superficialmente seco	Peso sumergido	Peso específico		
										Bulk	Máximo teórico	Máximo medido
	b	a			f		c	d	e	g	h	i
										$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de g - i	
0%	5%	28	9,9	6,4	492,65	1189	1200,6	1203	683,2	2,310		
0%	5%	29	9,9	6,4	492,65	1175,6	1186,7	1188,3	676,3	2,318		
0%	5%	30	9,9	6,4	492,65	1186,5	1197	1198,1	681,2	2,316		
	5,00									2,314	2,351	2,389
0%	5,7%	31	9,9	6,6	508,05	1194	1204,6	1204,9	673,2	2,266		
0%	5,7%	32	9,8	6,6	497,84	1195,2	1203,5	1204,6	678,3	2,287		
0%	5,7%	33	9,9	6,7	515,75	1190,8	1199,4	1201	662,3	2,226		
	5,70									2,260	2,305	2,351
0%	6,5%	34	9,8	6,3	475,21	1163,8	1171,4	1172,9	670,8	2,333		
0%	6,5%	35	9,9	6,2	477,26	1161,4	1166,4	1167,4	679,8	2,392		
0%	6,5%	36	9,9	6,2	477,26	1166,2	1171,4	1172	678,9	2,376		
	6,50									2,367	2,418	2,469

Elaborado por: Tapia (2021)



Figura 33 – Ensayo Rice. Elaborado por: Tapia (2021)

Determinación, peso específico promedio de los agregados.

$$G = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}}$$

Donde:

G = Gravedad específica promedio

$P1, P2, \dots, Pn =$ Porcentaje en peso de la fracción 1,2, ..., n

$G1, G2, \dots, Gn =$ Valores de gravedad especifica de la fracción 1,2, ..., n

Cálculo de la gravedad especifica de la mezcla del agregado:

$$G = \frac{P1 + P2 + \dots + Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \dots + \frac{Pn}{Gn}}$$

Tabla 24 – Resultados de la mezcla asfáltica.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Peso específico			Porcentaje de asfalto absorbido	Volumen % total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	V.F.A. %	Estabilidad	Deformación
			Bulk	Máximo teórico	Máximo medido		Agregados	Vacíos en aire	Asfalto efectivo					
b	a		g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		
			$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de $g - i$		$\frac{(i - h) \cdot 100}{i \cdot h - (100 - b)}$	$\frac{(100 - h)g}{G_{as}}$	$(1 - \frac{g}{i}) \cdot 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{100 - h}{100}$	$100 \cdot \frac{m}{n}$		
0%	5%	28	2,310										3035,14	9,144
0%	5%	29	2,318										2531,96	7,62
0%	5%	30	2,316										2562,00	8,128
	5,00		2,314	2,351	2,389	0,69%	84,962	3,103	11,935	15,04	4,02	79,36	2709,70	8,30
0%	5,7%	31	2,266										4296,85	7,62
0%	5,7%	32	2,287										3831,22	8,128
0%	5,7%	33	2,226										4371,95	8,128
	5,70		2,260	2,305	2,351	0,90%	82,988	3,892	13,119	17,01	4,72	77,12	4166,67	7,96
0%	6,5%	34	2,333										2794,82	8,636
0%	6,5%	35	2,392										3613,42	9,144
0%	6,5%	36	2,376										3763,63	9,652
	6,50		2,367	2,418	2,469	0,92%	86,830	4,140	9,030	13,17	5,52	68,56	3390,62	9,14

Elaborado por: Tapia (2021)

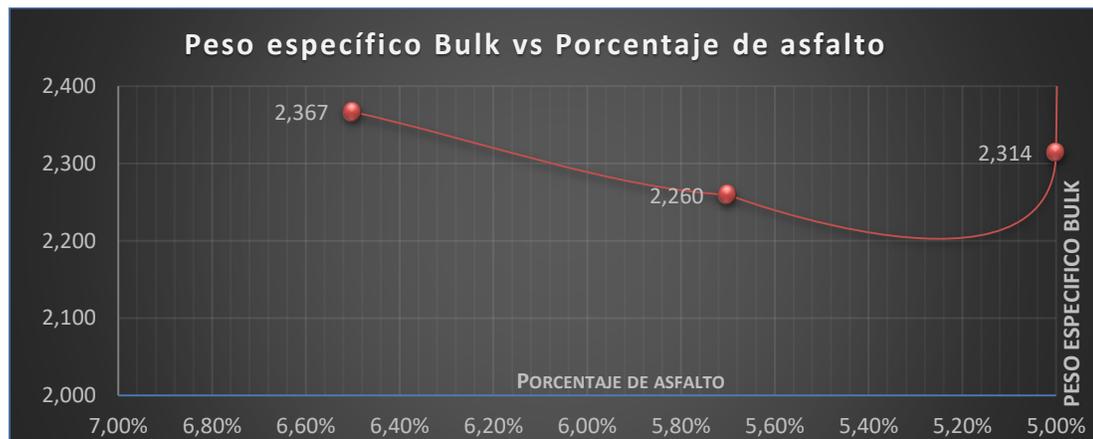


Figura 34 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

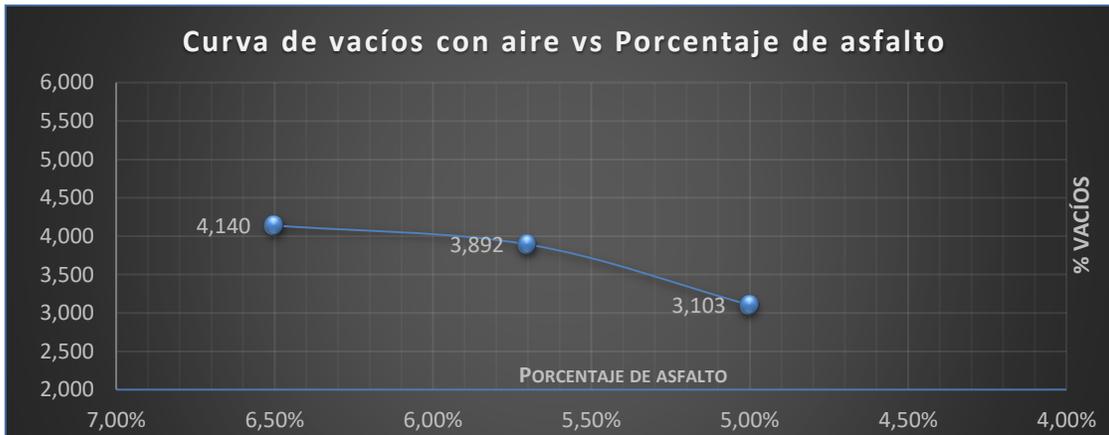


Figura 35 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)



Figura 36 – Curva de vacíos en agregados minerales vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

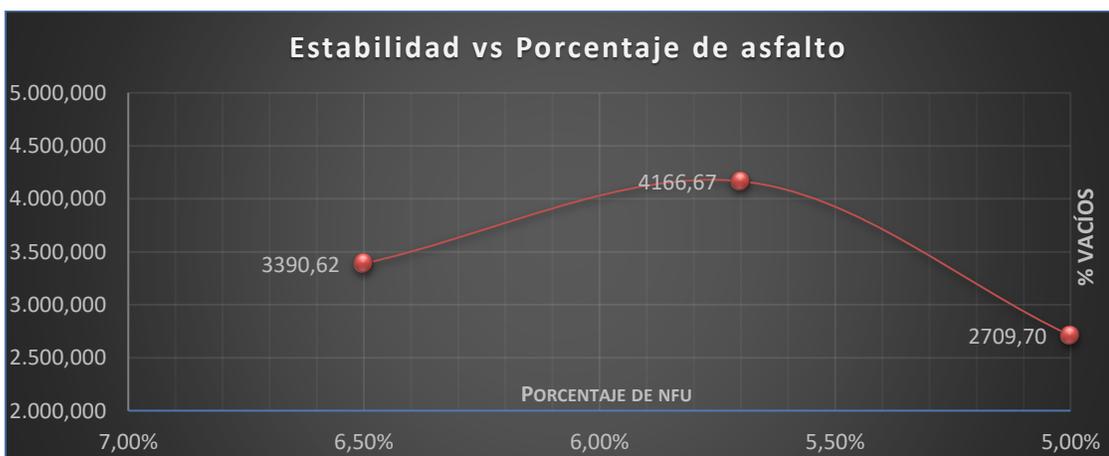


Figura 37 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

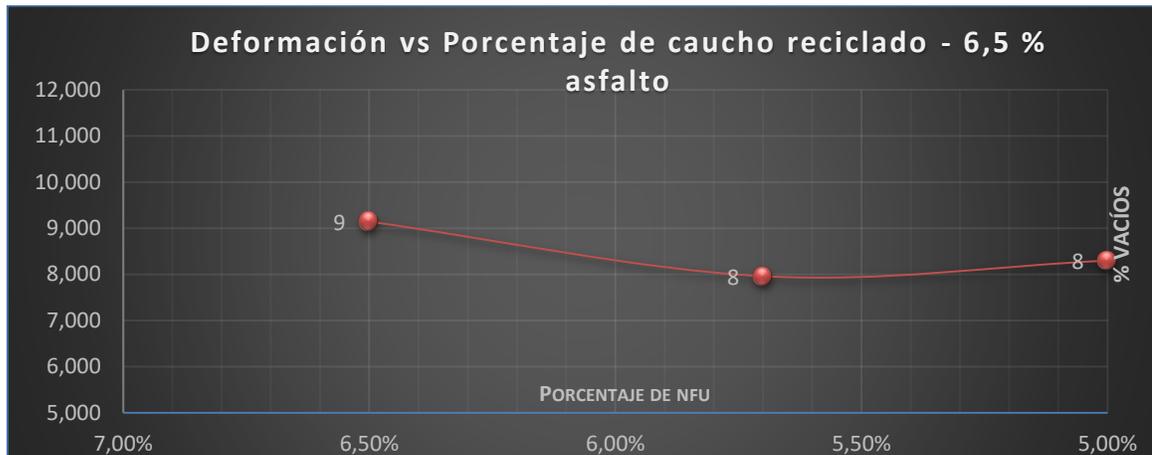


Figura 38 – Curva de flujo vs Porcentaje de asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

Para obtener el contenido óptimo de cemento asfáltico se analizan las curvas y obteniendo de esta manera la máxima estabilidad, densidad y porcentaje de vacíos.

Para la mezcla tradicional, se encontró que la máxima densidad es con el 6,50% de cemento asfáltico, la máxima estabilidad con el 5,7%. Respecto al índice de vacíos en agregados minerales, el valor mínimo de los ensayos de los diferentes porcentajes de cemento asfáltico es de 6,5% mientras que el máximo es con el 5,65 % de cemento asfáltico. Por otro lado, el porcentaje óptimo de asfalto para esta mezcla tradicional es de un 5,7%, lo cual quiere decir, que la estabilidad e índice de vacíos cumplen con las especificaciones. El porcentaje óptimo de asfalto fue estipulado por la cantera Luzagui en sus respectivos ensayos de laboratorio y confirmado dicho resultado en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto.

Tabla 25 – Porcentaje óptimo de asfalto

Porcentaje de asfalto óptimo 5,7 % - mezcla tradicional			
		Especificaciones	
Propiedad	Valor obtenido	Min	Máx
% de vacíos	3,892	3	5
% V.M.A.	17,01	15	-
Estabilidad en Lbs	4166,67	1800	-
Flujo	8	8	14
Contenido de asfalto %	5,7		

Elaborado por: Tapia (2021)

Diseño de la mezcla asfáltica con la adición de CR de NFU

Para obtener nuestro asfalto modificado con caucho de NFU se efectuó mediante el proceso por vía seca. De acuerdo a la bibliografía y artículos científicos estudiados se descubrieron diversas investigaciones acogiendo el proceso de vía húmeda sobre todo en Europa y Asia, razón por la cual se decidió reforzar por vía seca en el presente estudio.

Este proceso nos permitió analizar el efecto de la adición de CR como parte sustituta del agregado fino en la elaboración de carpetas asfálticas. El porcentaje determinado para ser adicionados fue del 1, 3 y 5 % en relación al peso total de la briqueta. En cuanto a la granulometría de miga de CR establecida está entre 0 y 0.6 mm, así como lo estableció ECOCAUCHO SA empresa que provee el material, y en función a la investigación teórica a continuación se muestra principales aplicaciones del polvo de NFU.

Tabla 26 – Principales aplicaciones del polvo de NFU

POLVO < 0,8 mm
Mezclas Bituminosas
Mantas para aislamiento térmico y acústico (edificación)
Piezas de caucho
Suelas para calzado
Piezas de la industria auxiliar del automóvil: alfombrillas, latiguillos, superficies de aislamientos, etc.
Neumáticos macizos para carretillas, contenedores, etc.
Mezclas con SBR o con monómeros de plástico, para piezas de seguridad vial, recubrimientos, etc.
Fabricación de caucho regenerado

Elaborado por: Tapia (2021)

Elaboración de briquetas - Proceso por vía seca.

La elaboración de briquetas se las realizó en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, con la autorización del decano Ing. Douglas Iturburu Msc. y la colaboración del Ing. Javier Stay Msc. director del laboratorio. Las briquetas tienen un peso de 1200 gr, en cada briqueta se asumen distintos porcentajes de cemento asfáltico. Además, en este punto de la investigación se adicionará polvo de caucho de neumático a la mezcla, los porcentajes se establecerán en la siguiente granulometría para un diseño con la adición de polvo de caucho de neumático:

Tabla 27 – Dosificación de mezcla adicionando caucho al 1, 3 y 5%.

Pesos de los agregados para mezcla modificada (3 briquetas)								
Peso Total	Granulometría 0 a 0,6 mm		AC - 20		18%	30%	32%	20%
	Caucho		Cemento Asfáltico		1/2 "	3/8 "	Cisco	Arena natural
Peso (gr)	Porcentaje	Peso (gr)	Porcentaje	Peso (gr)				
1200	1,00%	12,00	5,00%	60,00	205,20	342,00	364,80	216,00
1200	3,00%	36,00	5,00%	60,00	205,20	342,00	364,80	192,00
1200	5,00%	60,00	5,00%	60,00	205,20	342,00	364,80	168,00
1200	1,00%	12,00	5,70%	68,40	203,69	339,48	362,11	214,32
1200	3,00%	36,00	5,70%	68,40	203,69	339,48	362,11	190,32
1200	5,00%	60,00	5,70%	68,40	203,69	339,48	362,11	166,32
1200	1,00%	12,00	6,50%	78,00	201,96	336,60	359,04	212,40
1200	3,00%	36,00	6,50%	78,00	201,96	336,60	359,04	188,40
1200	5,00%	60,00	6,50%	78,00	201,96	336,60	359,04	164,40

Elaborado por: Tapia (2021)

De los porcentajes mostrados tenemos 3 dosificaciones distintas de cemento asfáltico a ensayar y 3 diferentes porcentajes de adición de polvo de caucho reciclado, razón por la cual se usaron 3 briquetas para cada porcentaje teniendo un total de 27 briquetas para un diseño modificado.

Procedimiento de elaboración de briquetas

El proceso no es tan diferente al efectuado para la elaboración de mezcla tradicional. Se prepara la granulometría de los agregados orientados en el diseño y porcentajes de cemento asfáltico y polvo de caucho.



Figura 39 – Agregados mezclados homogéneamente. Elaborado por: Tapia (2021)

Posteriormente se calienta la mezcla mediante un soplete hasta temperaturas de 175° C y 210° C para una buena digestión del caucho controlados con un termómetro.



Figura 40 – Determinación de temperatura de los agregados. Elaborado por: Tapia (2021)

Adición del polvo de caucho de acuerdo a los porcentajes adoptados.



Figura 41 –Adición de polvo de caucho. Elaborado por: Tapia (2021)

Se realiza el incremento de temperatura para el caucho.



Figura 42 – Aumento de temperatura del caucho. Elaborado por: Tapia (2021)

Previamente se caliente el cemento asfáltico de acuerdo a las especificaciones para luego mezclarlo con los agregados y obtener una mezcla uniforme.



Figura 43 – Preparación de la mezcla modificada. Elaborado por: Tapia (2021)



Figura 44 – Elaboración de las briquetas. Elaborado por: Tapia (2021)



Figura 45 – Especímenes con la adición de CR al 1, 3, 5 %. Elaborado por: Tapia (2021)

Resultados Obtenidos.

Resultados de ensayo de Rice con CR.

Tabla 28 – Resultados de ensayo de Rice con CR.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Diámetro	Altura	Volumen	Peso inicial	Peso en el aire	Peso superficialmente seco	Peso sumergido	Peso específico		
										Bulk	Máximo teórico	Máximo medido
	b	a			f		c	d	e	g	h	i
										$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de g - i	
1%	5%	1	10,1	6,4	512,76	1121,3	1117,9	1119,9	640,3	2,331		
1%	5%	4	10,1	6,4	512,76	1172	1180,2	1180,5	668,2	2,304		
1%	5%	13	9,6	6,3	456,01	1179,3	1185,9	1186,4	664,4	2,272		
	5,00									2,302	2,364	2,425
3%	5%	5	10,2	6,9	563,82	1180,9	1182,7	1183,3	621,1	2,104		
3%	5%	14	10	6,5	510,51	1182,3	1191,2	1192,5	633,6	2,131		
3%	5%	2	10,1	6,8	544,81	1190,9	1198,2	1199,1	651,3	2,187		
	5,00									2,141	2,191	2,240
5%	5%	15	9,5	7	496,18	1192,6	1203,9	1206,6	619	2,049		
5%	5%	3	10	6,9	541,92	1199,1	1191	1194	632,5	2,121		
5%	5%	6	10,2	7,3	596,50	1180,3	1180,9	1182,2	592,9	2,004		
	5,00									2,058	2,094	2,129
1%	5,7%	10	10,1	6,3	504,75	1160,1	1167,9	1169,4	665,3	2,317		
1%	5,7%	7	10	6,5	510,51	1173,4	1181	1181,1	661,3	2,272		
1%	5,7%	16	9,9	6,6	508,05	1192,1	1205,7	1207,2	673,2	2,258		
	5,70									2,282	2,329	2,376
3%	5,7%	17	9,9	7,2	554,23	1207,6	1221,5	1224,1	651	2,131		
3%	5,7%	8	10	6,7	526,22	1178,9	1184,6	1185	643,6	2,188		
3%	5,7%	11	10	6,7	526,22	1182,8	1191,3	1194,3	651	2,193		
	5,70									2,171	2,211	2,251
5%	5,7%	9	10	7,1	557,63	1192,7	1195,1	1196,3	622,9	2,084		
5%	5,7%	12	10,1	7	560,83	1182,2	1189,8	1192,1	629,7	2,116		
5%	5,7%	18	9,9	7,2	554,23	1173,8	1185,2	1187,7	614,9	2,069		
	5,70									2,090	2,131	2,172
1%	6,5%	25	9,8	6,3	475,21	1154,3	1164,5	1166,1	660,3	2,302		
1%	6,5%	19	9,8	6,4	482,75	1177	1183,7	1185,1	674	2,316		
1%	6,5%	22	9,9	6,5	500,35	1177,4	1185,7	1186	665,9	2,280		
	6,50									2,299	2,336	2,373
3%	6,5%	20	9,9	6,9	531,14	1179,4	1194,2	1195,8	638,7	2,144		
3%	6,5%	23	9,9	6,8	523,44	1179,3	1189,6	1190,3	642,3	2,171		
3%	6,5%	26	9,9	7	538,84	1199,5	1213,2	1215,6	652,9	2,156		
	6,50									2,157	2,202	2,247
5%	6,5%	21	9,8	6,5	490,29	1172,4	1179,7	1180,6	663,6	2,282		
5%	6,5%	24	9,9	7,1	546,54	1201	1212,2	1213,4	628,2	2,071		
5%	6,5%	27	9,9	7,1	546,54	1173	1188,4	1191,8	624,2	2,094		
	6,50									2,149	2,197	2,246

Elaborado por: Tapia (2021)

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 1% de Caucho.

Tabla 29 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 1% de Caucho.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Peso específico			Porcentaje de asfalto absorbido	Volumen % total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	V.F.A. %	Estabilidad	Deformación
			Bulk	Máximo teórico	Máximo medido		Agregados	Vacíos en aire	Asfalto efectivo					
	b	a	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		
			$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de g - i		$\frac{(i - h) * 100}{i * h - (100 - b)}$	$\frac{(100 - h)g}{G_{as}}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{100 - h}{100}$	$100 * \frac{m}{n}$		
1%	5%	1	2,331										4477,09	16,51
1%	5%	4	2,304										3027,63	13,462
1%	5%	13	2,272										2937,51	15,24
	5,00		2,302	2,364	2,425	1,13%	84,502	5,074	10,424	15,50	4,02	67,26	3480,75	15,07
1%	5,7%	10	2,317										4094,07	7,62
1%	5,7%	7	2,272										4379,46	17,526
1%	5,7%	16	2,258										4154,15	13,208
	5,70		2,282	2,329	2,376	0,90%	83,800	3,956	12,244	16,20	4,72	75,58	4209,23	12,78
1%	6,5%	25	2,302										3778,65	8,128
1%	6,5%	19	2,316										2937,51	11,684
1%	6,5%	22	2,280										3470,73	12,192
	6,50		2,299	2,336	2,373	0,71%	84,422	3,121	12,457	15,58	5,52	79,97	3395,63	10,67

Elaborado por: Tapia (2021)

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 3% de Caucho.

Tabla 30 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 3% de Caucho.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Peso específico			Porcentaje de asfalto absorbido	Volumen % total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	V.F.A. %	Estabilidad	Deformación
			Bulk	Máximo teórico	Máximo medido		Agregados	Vacíos en aire	Asfalto efectivo					
	b	a	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		
			$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de g - i		$\frac{(i - h) * 100}{i * h - (100 - b)}$	$\frac{(100 - h)g}{G_{as}}$	$\left(1 - \frac{g}{i}\right) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{100 - h}{100}$	$100 * \frac{m}{n}$		
3%	5%	5	2,104										2299,15	16,764
3%	5%	14	2,131										1630,75	17,526
3%	5%	2	2,187										2299,15	15,24
	5,00		2,141	2,191	2,240	1,07%	78,717	4,450	16,833	21,28	4,02	79,09	2076,35	16,51
3%	5,7%	17	2,131										3373,10	12,7
3%	5,7%	8	2,188										3162,82	16,764
3%	5,7%	11	2,193										3778,65	8,636
	5,70		2,171	2,211	2,251	0,85%	79,802	3,548	16,650	20,20	4,72	82,43	3438,19	12,70
3%	6,5%	20	2,144										3027,63	9,652
3%	6,5%	23	2,171										2562,00	12,7
3%	6,5%	26	2,156										2171,48	10,922
	6,50		2,157	2,202	2,247	0,98%	79,298	4,022	16,680	20,70	5,52	80,57	2587,04	11,09

Elaborado por: Tapia (2021)

Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 5% de Caucho.

Tabla 31 – Resultados de la mezcla asfáltica modificada con 5% de Caucho.

Contenido de Caucho Reciclado	Contenido de Cemento asfáltico	Muestra No.	Peso específico			Porcentaje de asfalto absorbido	Volumen % total			Vacíos en agregados minerales	% de asfalto efectivo	V.F.A. %	Estabilidad	Deformación
			Bulk	Máximo teórico	Máximo medido		Agregados	Vacíos en aire	Asfalto efectivo					
b	a		g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		
			$g = \frac{c}{d - e}$	Promedio de g - i		$\frac{(i - h) * 100}{i * h - (100 - b)}$	$\frac{(100 - h)g}{G_{as}}$	$(1 - \frac{g}{i}) * 100$	$100 - k - l$	$100 - k$	$b - \frac{100 - h}{100}$	$100 * \frac{m}{n}$		
5%	5%	15	2,049										1247,73	18,034
5%	5%	3	2,121										1548,14	16,764
5%	5%	6	2,004										1195,16	17,018
	5,00		2,058	2,094	2,129	0,84%	75,747	3,345	20,908	24,25	4,02	86,21	1330,34	17,27
5%	5,7%	9	2,084										2569,52	20,32
5%	5,7%	12	2,116										1961,19	13,97
5%	5,7%	18	2,069										1675,81	12,192
	5,70		2,090	2,131	2,172	0,95%	76,884	3,807	19,309	23,12	4,72	83,53	2068,84	15,49
5%	6,5%	21	2,282										3530,81	11,176
5%	6,5%	24	2,071										2336,70	15,748
5%	6,5%	27	2,094										2171,48	17,272
	6,50		2,149	2,197	2,246	1,05%	79,014	4,298	16,688	20,99	5,52	79,52	2679,66	14,73

Elaborado por: Tapia (2021)

Resultados de curvas vs Porcentaje de asfalto modificado.

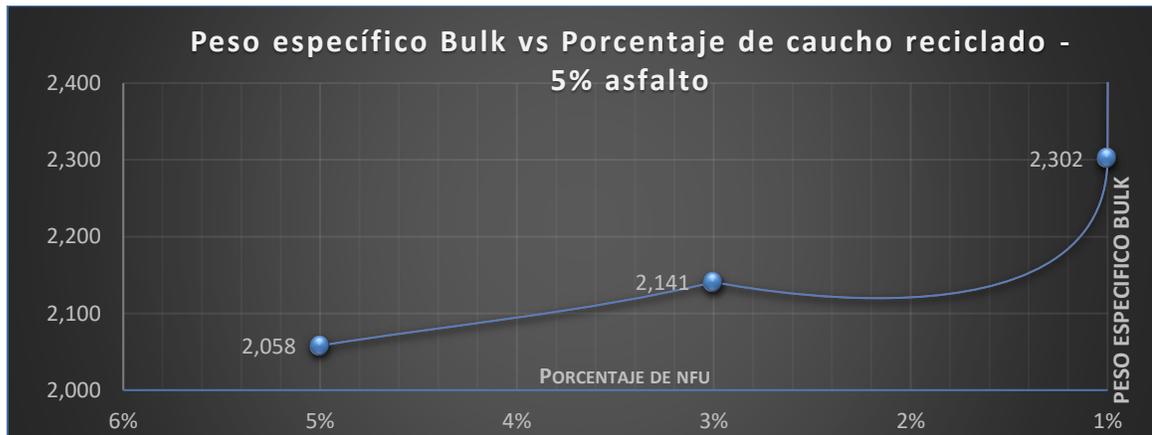


Figura 46 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto.

Elaborado por: Tapia (2021)

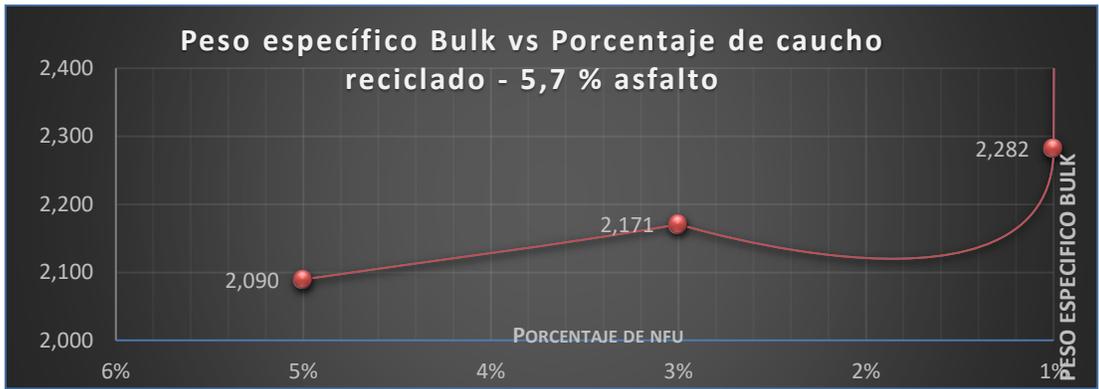


Figura 47 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto.
Elaborado por: Tapia (2021)

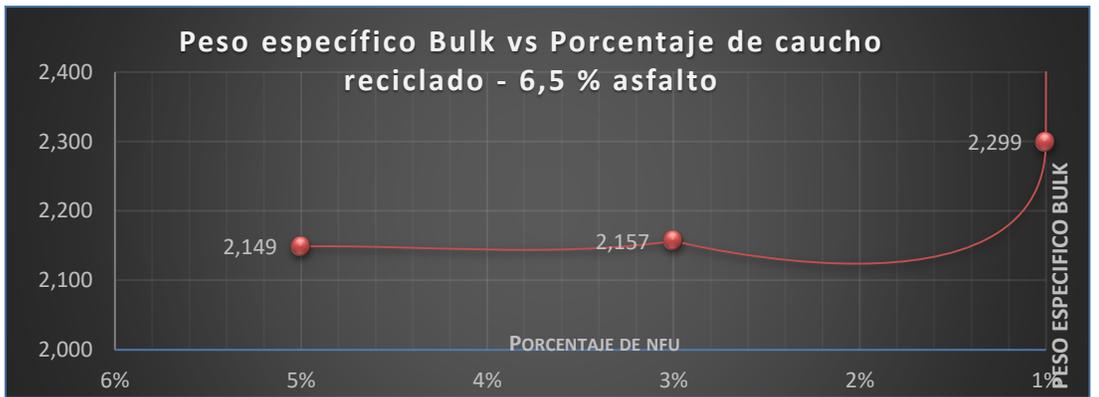


Figura 48 – Curva de peso específico Bulk vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto.
Elaborado por: Tapia (2021)

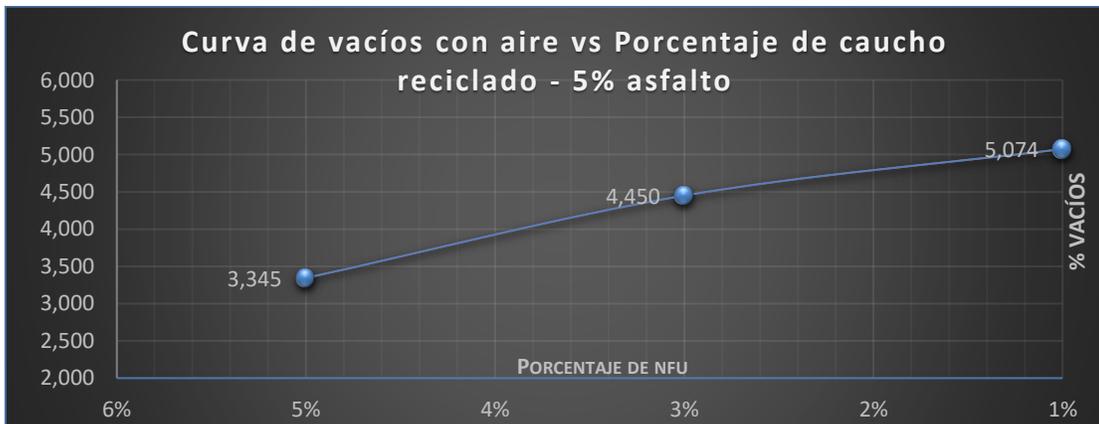


Figura 49 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto.
Elaborado por: Tapia (2021)

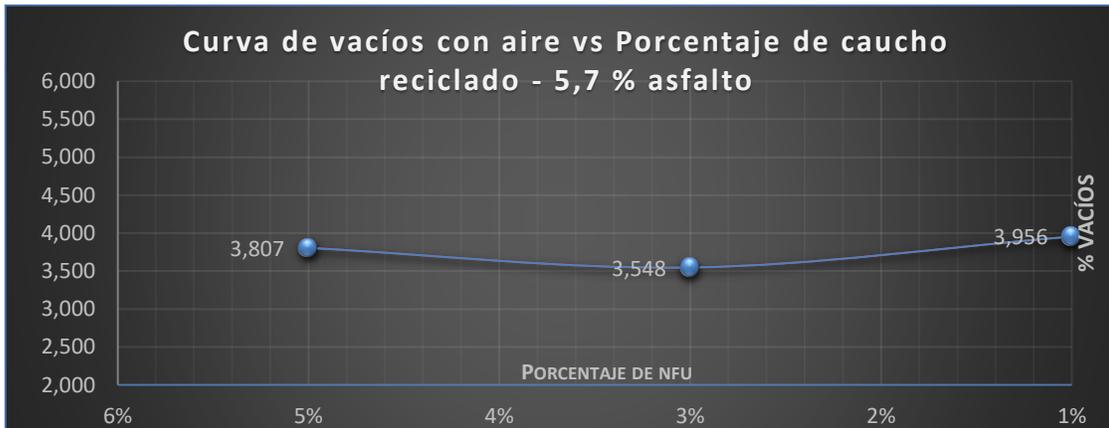


Figura 50 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto.
Elaborado por: Tapia (2021)

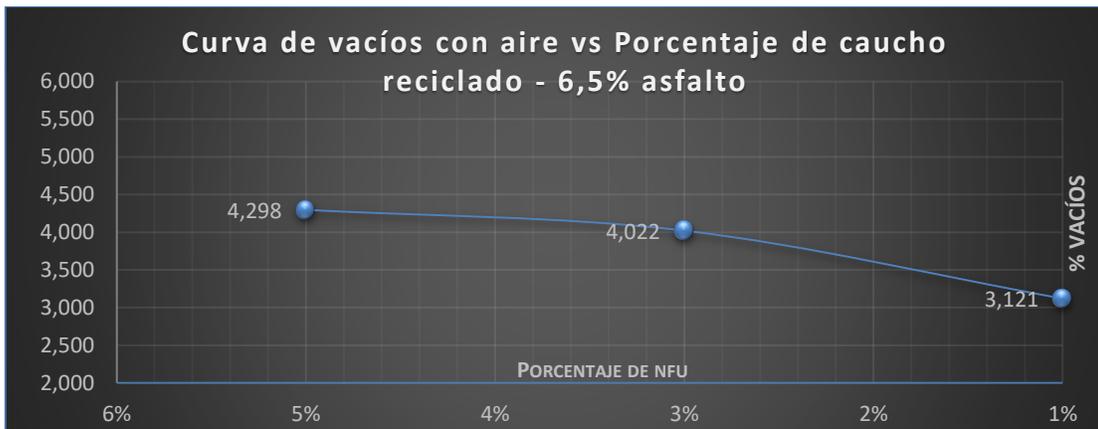


Figura 51 – Curva de vacíos con aire vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto.
Elaborado por: Tapia (2021)

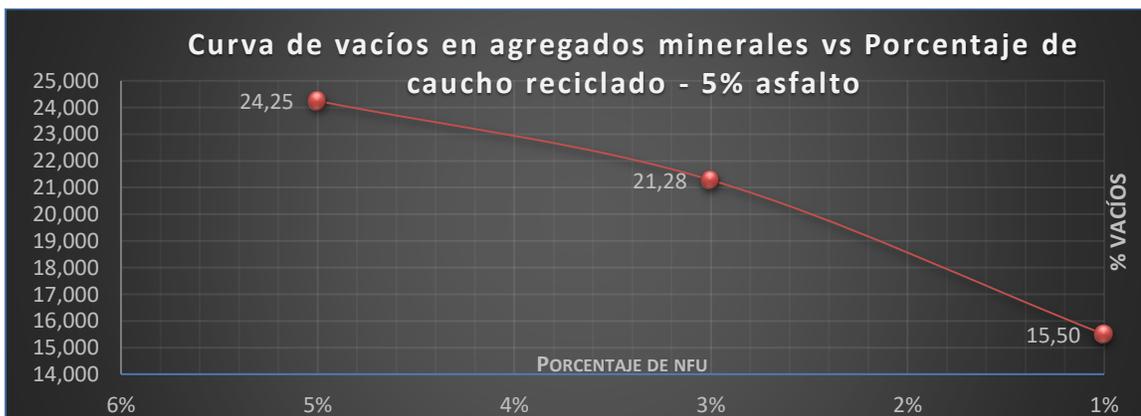


Figura 52 – Curva de vacíos en agregados minerales vs porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

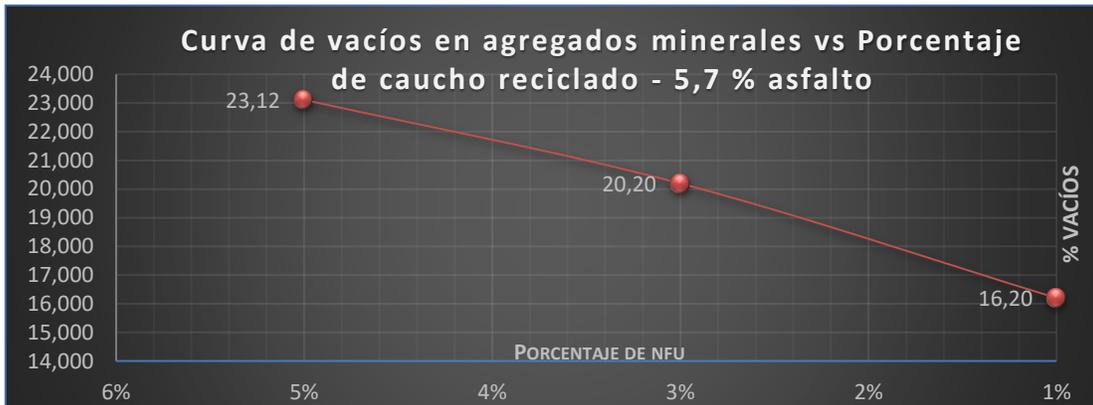


Figura 53 – Curva de vacíos en agregados minerales vs porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

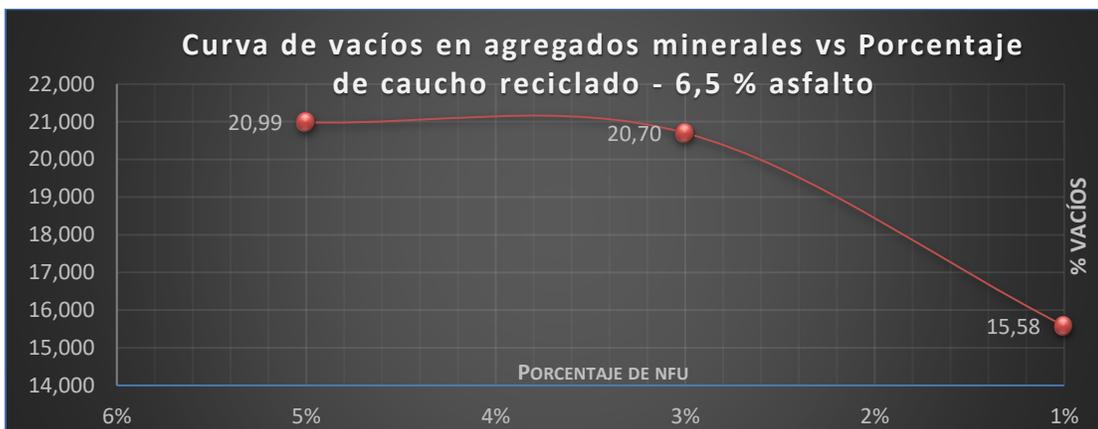


Figura 54 – Curva de vacíos agregados minerales vs porcentaje de caucho – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

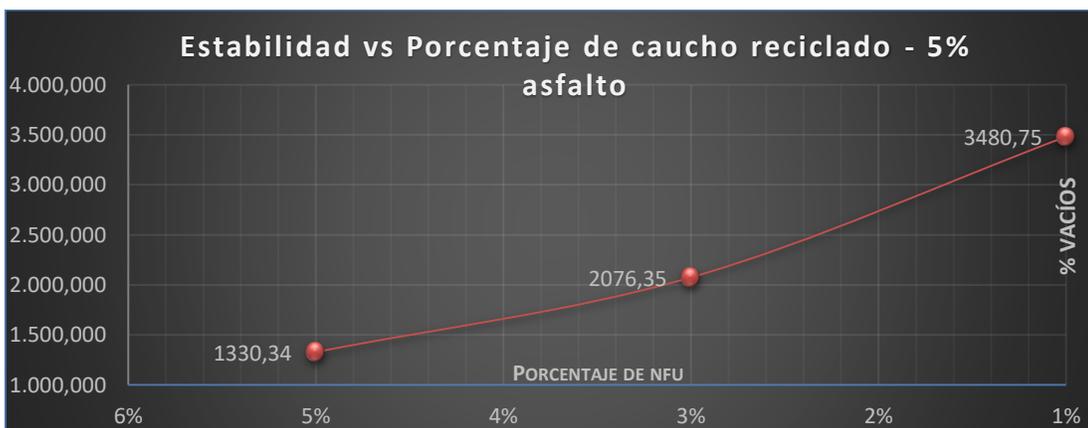


Figura 55 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

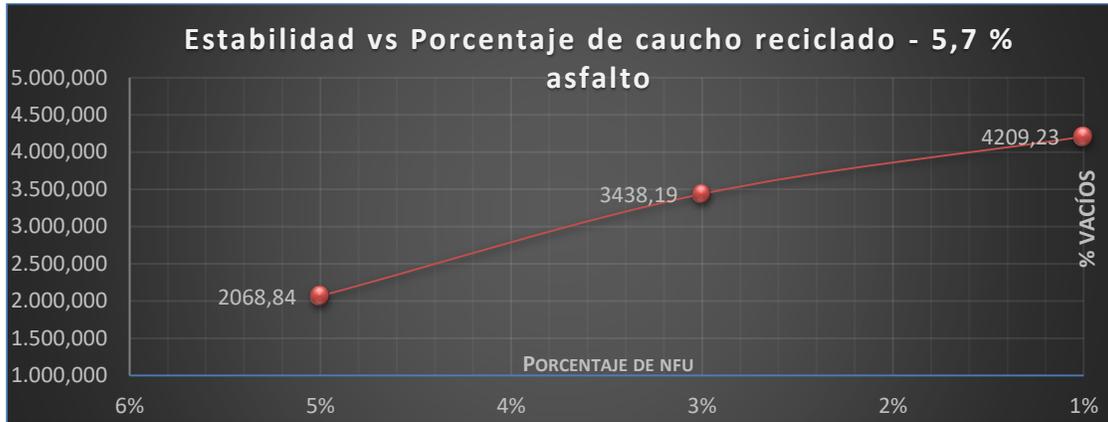


Figura 56 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

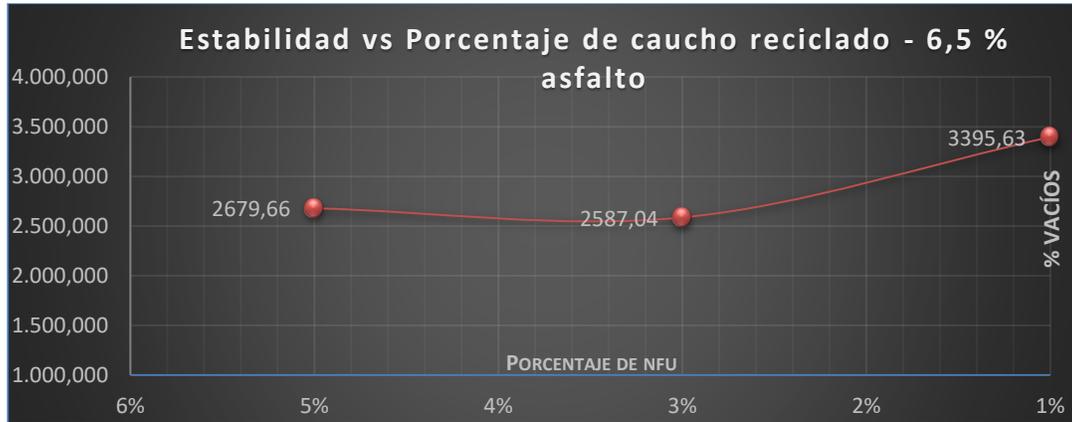


Figura 57 – Curva de estabilidad vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

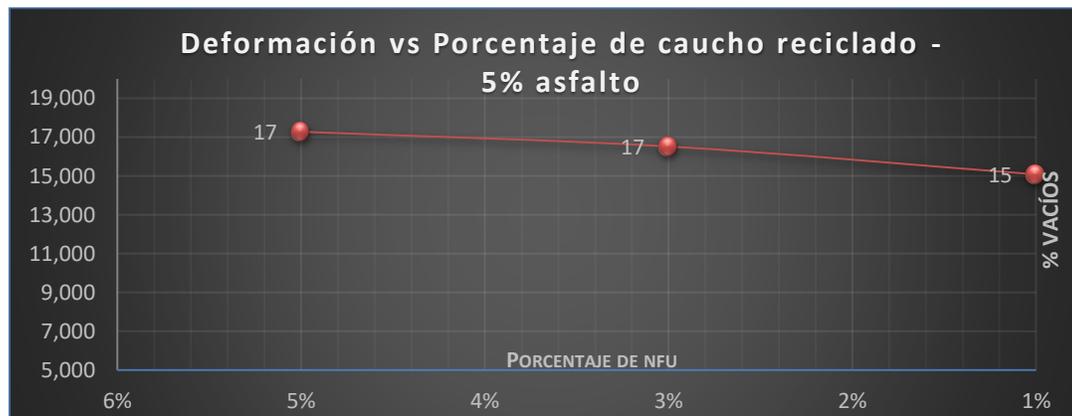


Figura 58 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 5% asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

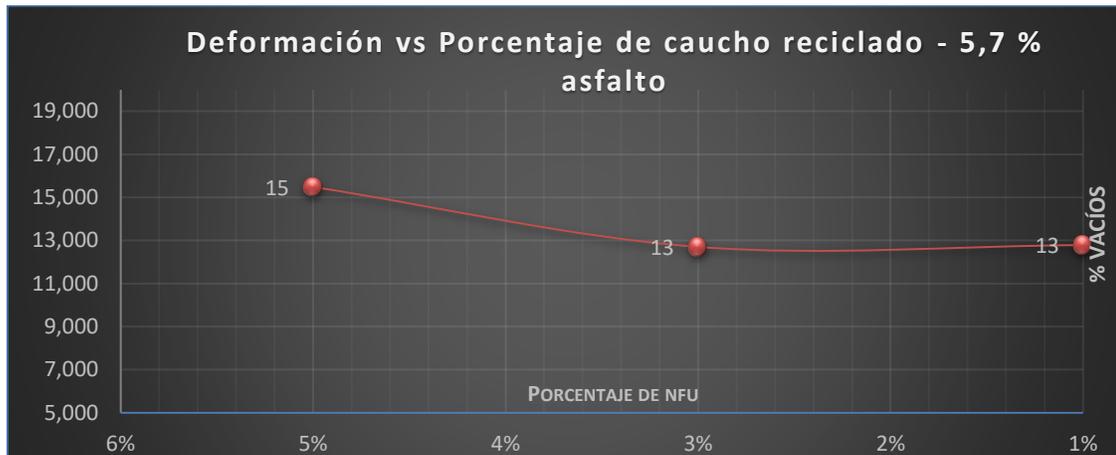


Figura 59 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 5,7 % asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

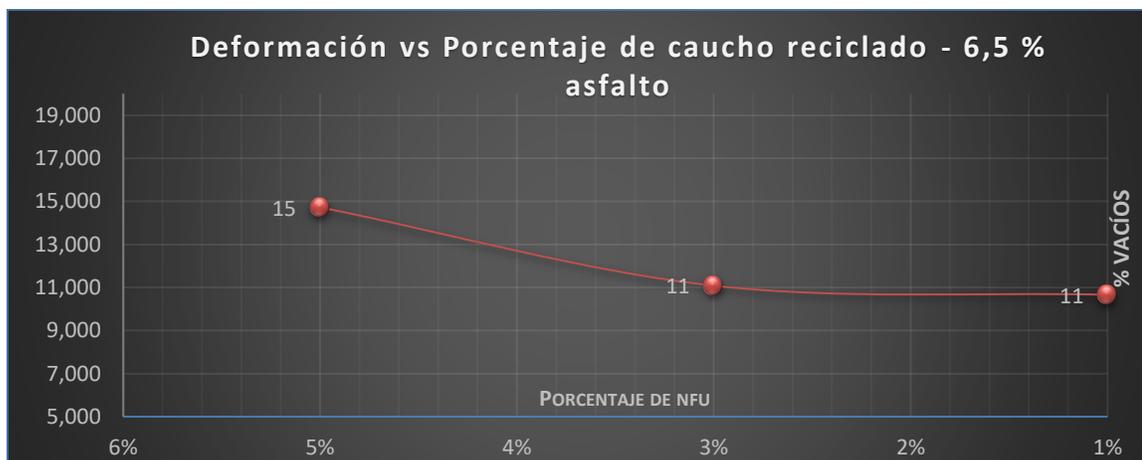


Figura 60 – Curva de flujo vs Porcentaje de caucho reciclado – 6,5% asfalto. Elaborado por: Tapia (2021)

Se estableció que el porcentaje óptimo de asfalto para esta mezcla modificada es de un 5,7%, lo cual quiere decir, que la estabilidad e índice de vacíos cumplen con las especificaciones.

Tabla 32 – Porcentaje óptimo de asfalto modificado.

Porcentaje de asfalto óptimo 5,7 % - 1 % de caucho reciclado			
Propiedad	Valor obtenido	Especificaciones	
		Min	Máx
% de vacíos	3,956	3	5
% V.M.A.	16,20	15	-
Estabilidad en Lbs	4209,23	1800	-
Flujo	13	8	14
Contenido de asfalto %	5,7		

Elaborado por: Tapia (2021)

Se realizaron todos los ensayos necesarios para un análisis completo mismo que será mostrado en el siguiente ítem.

Análisis y discusión de resultados.

Es indispensable para el futuro de nuestro planeta encontrar medidas a tomar orientadas a la preservación del mismo, basadas en investigaciones con mayor énfasis en la parte ambiental por sobre la económica en la medida de lo posible. Luego de haber realizado la respectiva investigación literaria y ensayos de laboratorio obtuvimos resultados que analizaremos con detalle.

Se estudiaron tres distintos porcentajes de cemento asfáltico 5%, 5,7% (porcentaje óptimo) y 6,5%; mientras que para el caucho reciclado se optó por investigar adicionando el 1%, 3% y 5%. De la literatura se esperaba obtener resultados favorables en cuanto a estabilidad, es decir, que no afecte la resistencia a la deformación plástica y simultáneamente se le dé uso a un desecho muy contaminante como son los neumáticos fuera de uso.

Según los resultados de laboratorio se demuestra en el presente estudio con argumentos y datos la hipótesis planteada mediante un análisis comparativo de un diseño de carpeta asfáltica tradicional vs un diseño con la adición de caucho reciclado de NFU, en otras palabras, se reemplazó agregado fino por caucho reciclado. Con la adición de este material en especímenes pudimos obtener resultados que permitieron revelar la no afectación de su estabilidad Marshall e incluso se obtuvo mejores resistencias leves y sustanciales en ciertos casos.

Tabla 33 – Resumen de resultados.

% Asfalto	% Caucho reciclado	Estabilidad	Deformación	Peso específico	Vacios en agregados minerales	Vacios en aire
5%	1%	3480,75	15	2,302	15,50	5,074
5%	3%	2076,35	17	2,141	21,28	4,450
5%	5%	1330,34	17	2,058	24,25	3,345
5%	0%	2709,70	8	2,314	15,04	3,103
5,7%	1%	4209,23	13	2,282	16,20	3,956
5,7%	3%	3438,19	13	2,171	20,20	3,548
5,7%	5%	2068,84	15	2,090	23,12	3,807
5,7%	0%	4166,67	8	2,260	17,01	3,892
6,5%	1%	3395,63	11	2,299	15,58	3,121
6,5%	3%	2587,04	11	2,157	20,70	4,022
6,5%	5%	2679,66	15	2,149	20,99	4,298
6,5%	0%	3390,62	9	2,367	13,17	4,140

Elaborado por: Tapia (2021)

Análisis de resultados para una mezcla con el 5 % de cemento asfáltico.

Como podemos observar de los resultados tenemos que usando el 1 % de CR la estabilidad fue de 3.480,75 lb mayor que con los otros porcentajes, que se obtuvo 2.076,35 lb para un 3 % de CR y 1.330,34 lb para un 5 % de CR, mientras que la mezcla tradicional tiene una estabilidad de 2.709,70 lb en todos los casos cumple con la especificación para tráfico pesado. De lo mencionado podemos notar que estamos logrando los objetivos propuestos en este estudio adoptando el 1 % de CR para una mezcla modificada.

La especificación nos da que para el flujo o deformación los valores oscilan entre 8 – 14, los datos obtenidos para una mezcla asfáltica con adición del 1 % de CR fue de 15,

mientras que para el 3 % y 5 % es de 17, vemos claramente que estos valores no están cumpliendo el rango normativo a excepción de la mezcla asfáltica modificada con 1 % CR que se puede asumir está en el rango.

Para valores del peso específico se percibe que para mayor valor de adición de CR el peso específico disminuye teniendo ya una tendencia efectiva general para el 1 % de CR en la mezcla asfáltica. Comparando este porcentaje efectivo vs la mezcla tradicional tenemos que los valores son prácticamente iguales; para una mezcla modificada con 1 % de CR tenemos 2,302 y para una mezcla tradicional 2,314.

El porcentaje de vacíos de agregados minerales tiene como especificación un valor mínimo de 15, los ensayos de laboratorio muestran que, si se cumple este parámetro en todos los casos siendo el de menor valor 15,50 % para 1 % de CR. Para 3% de CR tenemos un porcentaje de 21,28 y para 5 % CR un 24,25 %. El análisis comparativo indica que la mezcla modificada posee de un 0,46 % a 9,22 % más que la mezcla tradicional.

La especificación nos indica que el porcentaje de vacíos con aire debe oscilar de 3 a 5 %, de acuerdo a la tabla 27 notamos que en todos los casos se cumple con la especificación requerida, además, se define también que tienen entre el 0,242 % hasta 1,971% mayor porcentaje de vacíos con aires las mezclas modificadas con respecto a la mezcla tradicional.

Análisis de resultados para una mezcla con el 5,7 % de cemento asfáltico.

Cabe recalcar que tanto de la información suministrada por la cantera constructora Luzagui, como de los ensayos de laboratorios realizados en el laboratorio Dr. Ing. Arnaldo

Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, se definió como el 5,7% como porcentaje óptimo de asfalto tanto en mezclas tradicionales y modificadas.

Para este porcentaje óptimo se alcanzaron valores más altos en cuanto a la estabilidad, con el porcentaje de 1 % de CR mostró un valor de 4.209,23 lb dando también valores mayores que con los otros porcentajes y que con el 5 % de cemento asfáltico, para un 3 % de CR se obtuvo 3.438,19 lb y 2.068,84 lb para un 5 % de CR; mientras que la mezcla tradicional tiene una estabilidad de 4.166,67 lb en todos los casos cumple con la especificación para tráfico pesado. De lo mencionado podemos notar que seguimos logrando los objetivos propuestos en este estudio adoptando el 1 % de CR para una mezcla modificada que nos da una estabilidad mayor tan solo con 42,56 lb.

La especificación nos da que para el flujo o deformación los valores oscilan entre 8 – 14, los datos obtenidos una para mezcla asfáltica con adición del 1 % y 3% de CR fue de 13, mientras que para el 5 % es de 15, alcanzamos valores que están cumpliendo el rango normativo de la mezcla asfáltica modificada, mientras que la mezcla tradicional arroja valores de 8 también cumple con la especificación.

El peso específico de la mezcla modificada con 1 % de CR es de 2, 282 y para una mezcla tradicional 2,260, estos valores indican que están en un rango similar para ambos casos de estudio, incluyendo también los demás porcentajes de CR.

El porcentaje de vacíos de agregados minerales tiene como especificación un valor mínimo de 15; los ensayos de laboratorio muestran que, si se cumple este parámetro en todos los casos siendo el de menor valor 16,20 % para 1 % de CR que es menor a la

tradicional con 17,01%, mientras que para 3% de CR tenemos un porcentaje de 20,20 y para 5 % CR un 23,12 %. El análisis comparativo indica que la mezcla modificada con 3% y 5% posee entre 3,19 % a 6,10 % más porcentaje que la mezcla tradicional.

Las especificaciones indican que el porcentaje de vacíos con aire debe oscilar de 3 a 5 %, de acuerdo a la tabla 27 notamos que en todos los casos si cumple con la especificación requerida.

Análisis de resultados para una mezcla con el 6,5 % de cemento asfáltico.

Como punto final tenemos un último porcentaje de cemento asfáltico que se tomó para verificar el comportamiento, porque la finalidad es tener menor uso de estos materiales por su alto grado de contaminación. Para este porcentaje se alcanzaron valores de estabilidad parecidos al 5 % de CA, tenemos que la adición de 1 % de CR mostró un valor de estabilidad de 3.395,63 lb dando también valores mayores que para el 3 % de CR con 2.587,04 lb y 2.679,66 lb para un 5 % de CR; mientras que la mezcla tradicional tiene una estabilidad de 3.390,62lb en todos los casos cumple con la especificación para tráfico pesado. De lo mencionado podemos notar que los objetivos propuestos en este estudio se cumplen en todos los porcentajes tanto de Ca como de CR optando por el 1 % de CR para una mezcla modificada nos da una estabilidad mayor tan solo con 5,01 lb.

La especificación nos da que para el flujo o deformación los valores oscilan entre 8 – 14, los datos obtenidos una para mezcla asfáltica con adición del 1 % y 3% de CR fue de 11, mientras que para el 5 % es de 15, alcanzamos valores que están cumpliendo el

rango normativo de la mezcla asfáltica modificada, mientras que la mezcla tradicional arroja valores de 9 también cumple con la especificación.

El peso específico de la mezcla tradicional con respecto a la mezcla modificada con 1 % de CR es de 2,299 y para una mezcla tradicional 2,367, estos valores indican que están en un rango similar para ambos casos de estudio, incluyendo los demás porcentajes de CR.

El porcentaje de vacíos de agregados minerales tiene como especificación un valor mínimo de 15, los ensayos de laboratorio muestran que, si se cumple este parámetro en todos los casos siendo el de menor valor 15,58 % para 1 % de CR que es mayor a la tradicional con 13,17%, mientras que para 3% de CR tenemos un porcentaje de 20,70 y para 5 % CR un 20,99 %. El análisis comparativo indica que las mezcla modificadas con poseen más porcentaje que la mezcla tradicional.

Las especificaciones indican que el porcentaje de vacíos con aire debe oscilar de 3 a 5 %, de acuerdo a la tabla 27 notamos que en todos los casos si cumple con la especificación requerida.

Conclusiones.

El uso de caucho reciclado en los diseños de carpetas asfálticas ayuda de manera evidente a reducir la contaminación ambiental generada por los gases de efecto invernadero que aparecen por la quema indiscriminada de un desecho (NFU) con poca gestión política para su eliminación. La vía ubicada a 63 Km de la Ciudad de Santa Elena es un punto perfecto para empezar proyectos viales medio ambientales en nuestra Provincia.

La adición de caucho reciclado no afecta a la estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica, tampoco a su deformación ni demás parámetros.

La estabilidad Marshall de una mezcla asfáltica modificada tiene tendencia a disminuir a medida que aumentamos el porcentaje de caucho reciclado, es decir, el porcentaje óptimo de caucho reciclado en este caso de estudio es el 1 %.

En el caso del porcentaje óptimo de cemento asfáltico 5,7% y 1 % de caucho reciclado se obtuvieron resultados de estabilidad Marshall ligeramente mayores a la mezcla tradicional, sin embargo, en los porcentajes de 5% y 6,5 % de cemento asfáltico y 1 % de caucho reciclado mostraron valores significativamente mayores, por lo tanto, es totalmente recomendable el uso de caucho reciclado.

La combinación de 5% de cemento asfáltico y 3% de caucho reciclado no cumple con la especificación en el parámetro de deformación con un valor de 17 siendo 14 el límite, mientras que la combinación de 5 % de cemento asfáltico y 5 % de caucho reciclado no cumple la especificación ni en la deformación ni en la estabilidad Marshall; el resto de combinaciones si cumplen todas las especificaciones.

El porcentaje de vacíos de agregados minerales a diferencia de la estabilidad Marshall aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de caucho reciclado, es decir, se encontró que para 5 % de cemento asfáltico y 1 % de CR se tiene 15,50 % mientras que para 5 % de CR se tiene 24,25 %.

Se demostró mediante todo el proceso de elaboración de los especímenes que trabajar mediante vía seca da buenos resultados y nos evitamos el uso de equipos especializados para el proceso por vía húmeda, no obstante, no deja de ser imprescindible realizar más estudios con este proceso en nuestro país.

Los agregados implementados en este estudio cumplen con todas las especificaciones técnicas y tuvieron un buen comportamiento con la adición de caucho reciclado, además, la cantera que provee está ubicada a pocos kilómetros del eje de la vía estudiada.

El tiempo de elaboración de la mezcla en planta no tiene mayores cambios respecto a la mezcla tradicional, solo hay que tener en cuenta un mayor tiempo de digestión para que el caucho tenga una buena adherencia con los agregados.

Tabla 34 – Cantidades de agregados.

	Mezcla tradicional (Kg)		Mezcla modificada (Kg)	
Mezcla asfáltica	1000	943,00		943,00
Agregado 1/2"	18%	169,74	18%	169,74
Agregado 3/8"	30%	282,90	30%	282,90
Cisco	32%	301,76	32%	301,76
Arena Natural	20%	188,60	19%	179,17
Caucho reciclado	0%	0,00	1%	9,43
Asfalto respecto a 1 tn	5,7%	57,00	5,7%	57,00
		1000,00		1000,00

Elaborado por: Tapia (2021)

De acuerdo a la tabla 28 llegamos a la conclusión que para elaborar 1 tn de mezcla asfáltica modificada tenemos un uso de 9,43 kg de caucho reciclado, es decir el peso aproximado de un neumático fuera de uso es 6,5 kg teniendo en cuenta que el 50 % del neumático aproximadamente es caucho da como resultado que para 1 tn de mezcla asfáltica modificada requerimos alrededor de 3 llantas, es decir en la vía estudiada se usarían aproximadamente 35.910 NFU ó 233,42 tn de NFU el respectivo cálculo se lo muestra a continuación.

*Peso específico * (espesor carpeta * ancho calzada * Longitud vía)*

$$2.660 \frac{kg}{m^3} * (0,10m * 10m * 4.500m) = 11.970.000 Kg = 11.970 tn$$

Teniendo en cuenta que 1 tn de mezcla asfáltica equivale a 3 llantas tenemos que $11.970 tn * \frac{3 NFU}{1 tn} = 35.910 NFU$. Se mitiga aproximadamente 671,80 tn de CO2.

El costo - beneficio calculado por la adición de caucho reciclado en sustitución de agregado fino en una carpeta asfáltica modificada fue de \$ 761.921,00. El cálculo se da por la sustitución de 112.877,10 kg de material, dado que el costo por kilo de CR es de \$ 0,75, mientras que del agregado fino es de \$ 7,50 se tiene que:

$$\text{Costo de caucho reciclado} = 112.877,10 kg * 0,75 \frac{\text{dólares}}{kg} = 84.657 \text{ dólares}$$

$$\text{Costo de agregado fino} = 112.877,10 kg * 7,50 \frac{\text{dólares}}{kg} = 846.578,25 \text{ dólares}$$

$$\text{Costo} - \text{beneficio} = 846.578,25 - 84.657,00 = 761.921,00 \text{ dólares}$$

Se evidenció la gran contaminación ambiental que generan los neumáticos fuera de uso que no tienen una gestión correcta de cómo ser desechados, todo esto de información bibliográfica tanto de artículos científicos y de realidades de nuestro país y continente.

Recomendaciones.

Incluir a las normativas el uso de caucho reciclado para mezclas asfálticas, manual de carreteras y especificaciones técnicas de los contratos viales.

Implementación de medios de información y enseñanza al sector académico, respecto a nuevas tecnologías medio ambientales en la ingeniería civil y demás áreas.

Mejorar el sistema de gestión de los neumáticos fuera de uso, mediante políticas, logísticas y sistemas de manejo, para de esta manera mitigar la contaminación ambiental.

Incluir diseños de carpetas asfálticas modificadas en los contratos de la Provincia del Guayas y del Ecuador en general.

Realizar más investigaciones relacionadas a la adición de caucho reciclado en carpetas asfálticas, mediante el método de vía húmeda.

Es importante que se ofrezca una mejor cultura ambiental motivando con mejoras políticas o de impuestos a todo el sector constructivo.

Se recomienda progresar en cuanto a la recolección de neumáticos fuera de uso, generando más puntos de recolección para su posterior tratamiento y reutilización.

Construir kilómetros de experimento de carpetas asfálticas modificadas para su posterior estudio y aplicación a la normativa. Es recomendable empezar por zonas rurales como la expuesta en el presente estudio.

Lista de referencias

Referencias

- Abbas Mohajerani, L. B. (agosto de 2019). Recycling waste rubber tyres in construction materials and associated environmental considerations: A review. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104679>
- Argentina, C. d. (2021). *Cámara de la industria del neumático de Argentina*. Obtenido de Cámara de la industria del neumático de Argentina: <http://www.cin.org.ar/index.html>
- association, E. T. (2019). *EUROPA TYRE RUBBER manufacturer`s association*. Obtenido de EUROPA TYRE RUBBER manufacturer`s association: <https://www.etrma.org/>
- Ballester, F., Díaz, J., & Moreno, J. M. (2016). Cambio Climático y Salud Pública: Escenarios Después de la Entrada en Vigor del Protocolo de Kioto. *Escuela Valenciana de Estudios para la Salud*, 20(1), 160-174. doi:<https://doi.org/10.1157/13086040>
- Beltrán Calvo, G. I., & Romo Organista, M. (2013). Evaluación de pavimentos y decisiones de conservación con base en sistemas de inferencia difusos. *Revista UNAM*, 15(3), 392-402. Obtenido de <http://www.revistas.unam.mx/index.php/ingenieria/article/view/45870/41114>
- Carballo Penela, A., García Negro, M., & Doménech Quesada, J. L. (2009). El MC3 Una Alternativa Metodológica Para Estimar La Huella De Corporativa Del Carbono (HCC). *Revista Desarrollo Local Sostenible.*, 2(5), 1-16. Obtenido de www.eumed.net/rev/delos/05
- Chacón Páez, I., Pinzón Vargas, A., Ortegón Cortázar, L., & Rojas Berrio, S. P. (2016). Alcance y gestión de la huella de carbono como elemento dinamizador del branding por parte de empresas que implementan estas prácticas ambientales en Colombia. *Elsevier ICESI*, 279-289. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2016.08.004>
- Córdova, C. R., Zorio Grima, A., & García Benau, M. (2018). Nuevas Formas de Reporting Corporativo: Información sobre la huella de carbono en España. *Revista de administración de empresas*, 58(6), 537-550. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020180603>
- Eskandarsefat, S., Sangiorgi, C., Dondi, G., & Lamperti, R. (2018). Recycling asphalt pavement and tire rubber. A full Laboratory and field scale study. *Construction and building materials*, 284-294. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.031>
- Espíndola , C., & Valderrama, J. (2011c). Huella Del Carbono. Parte 2: La visión de las Empresas, los Cuestionamientos y el Futuro. *Información Tecnológica*, 23(1), 177-192. doi:[10.4067/S0718-07642012000100018](https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100018)
- Espíndola , C., Valderrama, J., & Quezada, R. (2011a). Huella Del Carbono, un concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Información Tecnológica*, 4(3), 3-12. doi:[10.4067/S0718-50062011000300002](https://doi.org/10.4067/S0718-50062011000300002)

- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2011b). Huella Del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos De Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información Tecnológica*, 23(1), 163-176. doi:10.4067/S0718-07642012000100017
- F. Hernández Olivares, G. B. (28 de 06 de 2006). Fatigue behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete and its implications in the design of rigid pavements. *Elsevier*. doi:doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.06.030
- Farina, A., Chiara Zanetti, M., Santagata, E., & Blengini, G. A. (2016). Life cycle assessment applied to bituminous mixtures containing recycled materials: Crumb rubber and reclaimed asphalt pavement. *Resources, Conservation and recycling*, 2-9. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.015
- Ferraro, R., Gareis, M. C., & Zulaica, L. (2012). Aportes para la estimación de la huella de carbono en los grandes asentamientos urbanos de Argentina. *Revista Colombiana de Geografía*, 22(2), 87-106. doi:http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v22n2/v22n2a06.pdf
- Flores, G. H. (2018). Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069
- Francisco Javier López Moro, M. C. (21 de 07 de 2013). Microscopic analysis of the interaction between crumb rubber and bitumen in asphalt mixtures using the dry process. *Elsevier*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.07.041
- Hernández Jatib, N., Ulloa Carcasés, M., Almaguer Carmenate, Y., & Rosario Ferrer, Y. (2013). Evaluación Ambiental Asociada a la Explotación del Yacimiento de Materiales de Construcción la Inagua, Guantámo, Cuba. *Luna Azul*, 146-158. Obtenido de http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n38/n38a09.pdf
- Khan, I., Kabir, S., Alhussain, M., & Almansoor, F. (2016). Asphalt Design using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction.*, 1558-1564. doi:10.1016/j.proeng.2016.04.196
- Lo Presti, D. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and building materials*, 864-881. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007
- Macea Mercado, L. F., Morales, L., & Márquez Díaz, L. G. (2015). Un Sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Revista UNAM*, 17(2), 224-235. doi:10.1016/j.riit.2016.06.007
- Mao, R., Duan, H., Dong, D., Zuo, J., Song, Q., Liu, G., . . . Dong, B. (2017). Quantification of carbon footprint of urban roads via life cycle assessment: Case study of a megacity-Shenzhen, China. *Journal of Cleaner Production*, 1-21. doi:10.1016/j.jclepro.2017.07.173
- Márquez, L. (13 de 06 de 2017). El ferrocarril colombiano: 4 temas recurrentes en la literatura. *Elsevier*. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.estger.2017.04.003
- P. Arroyo, R. H. (12 de 11 de 2018). Un nuevo enfoque para la integración de factores ambientales, sociales y económicos para evaluar mezclas asfálticas con y sin

- neumático de desecho. *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, 33(3). Obtenido de ww.ricuc.cl
- Padilha Thives, L., & Ghisi, E. (2017). Asphalt mixtures emission and energy consumption: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 473-484. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.087>
- Presti, D. L. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
- Quezada, R., Hsieh, T., & Valderrama, J. (2013). Determinación de la Huella de Carbono mediante el Método Compuesto de las Cuentas Contables (MC3) para una Empresa Vitivinícola en Chile. *Información Tecnológica*, 24(4), 3-14. doi:10.4067/S0718-07642013000400002
- Quing zhou Wang, N. N. (20 de 11 de 2019). Waste tire recycling assesment: Road application potencial and carbon emissions reduction analysis of crumbe modified asphalt in China. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119411>
- RECICLANIP. (2021). *RECICLANIP*. Obtenido de RECICLANIP: <https://www.reciclanip.org.br/>
- Roberto Pérez Aparicio, L. S. (enero de 2018). Reciclado de neumáticos: transformación de un residuo en un recurso. *Revista de plásticos modernos*, 115(730). Obtenido de <https://www.signus.es/wp-content/uploads/2018/04/reciclado-de-neumaticos-transformacion-de-un-residuo-en-un-recurso.pdf>
- Sampedro, Á., Del Val, M., Gallego, J., Querol, N., & Del Pozo, J. (2012). Huella de Carbono del Reciclado en Planta Asfáltica en Caliente con Altas Tasas de RAP. *Archico digital UPM*, 13-22. Obtenido de <http://oa.upm.es/19018/>
- Sol Sánchez, M. N. (22 de 09 de 2019). Recycling waste rubber particles for the maintenance of different states of railway tracks throught a two-step stoneblowing process. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118570>
- Vásquez Stanescu, C. L., Carillo Ozal, A. G., Tona Castillo, M. E., Galíndez Jiménez, M. V., Macías Camacaro, K. A., & Esposito de Díaz, C. (2017). Sistema de gestión energética y ambiental de productos Alimex CA. *Suma de Negocios - Konrad Klorezn*, 116-121. doi:<http://doi.org/10.1016/j.sumneg.2017.11.003>
- Venudharan, V., Prapoorna Biligiri, K., Sousa, J., & Way, G. (2016). Asphalt-rubber gap-graded mixture desingn practices: a state-of-the-art research review and future perspective. *Road materials and pavement design*, 1-23. doi:<http://dx.doi.org/10.1080/14680629.2016.1182060>
- Vinay Hosahally Nanjegowda, K. P. (19 de 12 de 2019). Recyclability of rubber in asphalt roadway systems: A review of applied research and advancement in technology. *Elsevier*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104655>

2.- Los neumáticos fuera de uso es un residuo con poca gestión para su acopio y son un gran productor de CO2. ¿Conoce usos para este residuo que no sean perjudiciales al medio ambiente? En caso de que la respuesta sea Si ¿Cuáles son?

Si

No

(Por favor, especifique)

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.

3.- Partiendo de la base que el neumático fuera de uso es contaminante le pareciera aceptable en cambio investigar la adición de este material en mezclas asfálticas en la provincia del Guayas ¿qué probabilidad habría de que lo promoviera?

4.- ¿Implementaría el caucho reciclado de neumáticos fuera de uso en sus diseños asfálticos y en su aplicación?

- Muy probablemente
- Probablemente
- Es poco probable
- No es nada probable
- No lo sé

5.- El diseño de mezclas asfálticas es amigable con el medio ambiente, más que con el aspecto económico. ¿Eso lo hace más, o menos interesante para Ud.?

- Más interesante
- Menos interesante
- Ni más ni menos interesante, no hay diferencia
- No lo sé

6.- Que gestión política o de concientización pública cree usted que daría beneficios para implementar el uso de caucho reciclado en mezclas asfálticas?

7.- ¿Tiene algún comentario o sugerencia sobre este trabajo de titulación?

Muchas gracias por su amabilidad y por el tiempo dedicado a contestar esta encuesta.

Anexo B – Certificado de validación del suministro de agregados (áridos y cemento asfáltico) y la supervisión técnica para su caracterización.



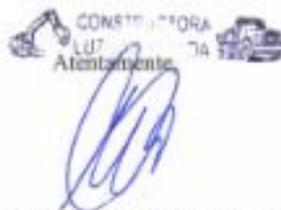
Certificado de validación del suministro de agregados (áridos y cemento asfáltico) y la supervisión técnica para su caracterización.

Guayaquil, 20 de noviembre del 2021

Por medio del presente el suscrito Ing. Milton Manuel Luzuriaga Aguirre, en mi calidad de representante legal de la empresa Constructora Luzagui C. Ltda. Con Ruc No. 0991476156001, la cual tiene como actividad económica principal la "Extracción de arenas para la industria, arenas para la construcción", además que la cantera en mención tiene una planta para producir mezclas asfálticas e hidráulicas; certifico que suministramos todos los materiales e información nuestra al Ing. Daniel Tapia Barzola para realizar la elaboración de especímenes de mezclas asfálticas tradicionales y modificadas para sus posteriores ensayos.

El trabajo de titulación del Ing. Edwin Daniel Tapia Barzola se basa en el proyecto de investigación "Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden", presentado en el programa de posgrado: Maestría en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable, Cohorte I.

Por lo antes indicado sirvo el presente certificado pudiendo utilizarlo como se estime conveniente.



Ing. Milton Manuel Luzuriaga Aguirre
Representante Legal
Cantera Constructora Luzagui Cia. Ltda-
Ruc: 0991476156001

Anexo C – Certificado de validación - Autorización para la disposición del laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, y de seguimiento académico de los respectivos ensayos.

Certificado de validación - Autorización para la disposición del laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto, y de seguimiento académico de los respectivos ensayos.

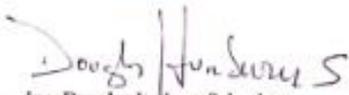
Guayaquil, 29 de noviembre del 2021

Por medio del presente el suscrito Ing. Douglas Iturburu con C.I. 0907589154 en mi calidad de Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y físicas - Universidad de Guayaquil, de profesión Ingeniero Civil y especialidad Magister en estructuras, informo que se autorizó el ingreso y uso del laboratorio Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Departamentos de suelos, resistencia de materiales y asfalto al Ing. Daniel Tapia y demás colaboradores para realizar la elaboración de especímenes de mezclas asfálticas tradicionales y modificadas para su posterior ensayo. Además, de un seguimiento académico a este excelente proyecto de investigación.

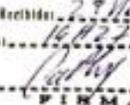
El trabajo de titulación del Ing. Edwin Daniel Tapia Barzola se basa en el proyecto de investigación "Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden", presentado en el programa de posgrado: Maestría en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable, Cohorte I.

Por lo antes indicado sirvo el presente certificado pudiendo utilizarlo como se estime conveniente.

Atentamente,


Ing. Douglas Iturburu Salvador
Decano de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas
Universidad de Guayaquil
C.I. 0907589154
Correo: douglas.iturburu@ug.edu.ec

c.c.: Archivo

FACULTAD DE CIENCIAS
MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
SECRETARÍA
Dte. Recibido: 29/11/2021
Hora: 16:27

P I M A

*Anexo D – Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo
“Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en
una vía de tercer orden”*

Fernando Abad Montero

INGENIERO - ARQUITECTO

***Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo
“Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta
asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”***

Guayaquil, 20 de noviembre del 2021

Por medio del presente el suscrito Ing. Arq. Fernando Abad Montero con Ruc No. 0900293788001, de profesión Ingeniero Civil y Arquitecto de especialidad Magister en Ciencias Internacionales y Diplomacia, **confirmando haber supervisado el proceso investigativo para el diseño de una carpeta asfáltica con la adición de caucho reciclado** para el sector de la vía el Mate ubicado en la Provincia del Guayas, Cantón Santa Lucía.

El trabajo de titulación del Ing. Edwin Daniel Tapia Barzola se basa en el proyecto de investigación “Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”, presentado en el programa de posgrado: Maestría en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable, Cohorte I.

Por lo antes indicado sirvo el presente certificado pudiendo utilizarlo como se estime conveniente.

Atentamente,



SANTIAGO
FERNANDO ABAD
MONTERO

Ing. Arq. Fernando Abad Montero.

C.I. 0900293788

Correo: fernando_abad1940@hotmail.com

Anexo E – Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo “Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”

ING. DANIEL CAMPOVERDE
ESTUDIOS DE SUELOS - DISEÑOS Y FISCALIZACIONES
DIR.: URB. LA JOYA ETAPA DIAMANTE MZ. 7 V2B
TELEFONOS: 0997908803 - 042078818
DAULE - ECUADOR

***Certificado de validación – Supervisión técnica del proyecto investigativo
“Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta
asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”***

Guayaquil, 20 de noviembre del 2021

Por medio del presente el suscrito Ing. Daniel Campoverde con C.I. No. 0913176541, de profesión Ingeniero Civil de especialidad Magister en Geotecnia, **confirmando haber supervisado el proceso investigativo para el diseño de una carpeta asfáltica con la adición de caucho reciclado** para el sector de la vía el Mate ubicado en la Provincia del Guayas, Cantón Santa Lucía.

El trabajo de titulación del Ing. Edwin Daniel Tapia Barzola se basa en el proyecto de investigación “Utilización de caucho reciclado para la construcción de una carpeta asfáltica sustentable en una vía de tercer orden”, presentado en el programa de posgrado: Maestría en Ingeniería Civil mención Construcción Civil Sustentable, Cohorte I.

Por lo antes indicado sirvo el presente certificado pudiendo utilizarlo como se estime conveniente.

A atentamente,



Ing. Daniel Campoverde.
Especialista Vial y Geotecnia
C.I. 0913176541