



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minería, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Reutilización de residuos sólidos de elastómero y
pavimento asfáltico envejecido y su impacto ambiental
en Manabí - Ecuador**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctor en Ciencias
Ambientales

AUTOR

Gabriel Antonio NAVARRETE SCHETTINI

ASESOR

DR. Oscar Rafael TINOCO GÓMEZ

Lima, Perú

2019

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Gabriel Eudoro que hubiese estado muy orgulloso de este logro alcanzado, y a toda mi familia en especial a mi esposa e hijas, razón de seguir consiguiendo éxitos en la vida.

AGRADECIMIENTO

A mi familia por darme todo el apoyo y sacrificar gran tiempo de sus vidas para poder culminar este doctorado.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López y en especial a las autoridades por brindarme todo el apoyo a través de los permisos para poder ausentarme de las actividades de docencia y cumplir con lo programado en este doctorado.

A la Universidad Mayor de San Marcos por acogernos en todo este tiempo, a sus autoridades y cuerpo docente por compartir valiosos conocimientos en nuestra formación Doctoral.

CONTENIDO

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1 PROBLEMA GENERAL.....	2
1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	3
1.4 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	4
1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO	7
2.1. MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	12
2.3. BASES TEÓRICAS	16
2.3.1. GENERALIDADES	16
2.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS.....	18
2.3.3. EFECTOS AMBIENTALES Y DE SALUD POR EL INADECUADO MANEJO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)	20
2.3.4. EMISIONES ATMOSFÉRICAS EMITIDAS POR LA INCINERACIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS.....	20
2.3.5. EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LA MEZCLA DE ASFALTO Y POLVO DE CAUCHO.....	21
2.3.6. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO	23
2.3.7. PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA EL USO DE NFU PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	30
2.3.8. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS	33
2.3.9. TIPOS DE PAVIMENTOS.....	35
2.3.10. APLICACIONES IMPLANTADAS	37
2.3.11. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS – MÉTODO MARSHALL Y SUPERPAVE.	40

2.3.12. CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS.....	44
2.3.13. PROPIEDADES DE LOS PAVIMENTOS	47
2.3.14. CURVAS GRANULOMÉTRICAS.....	51
2.3.15. GRANULACIÓN POR VÍA SECA	52
2.3.16. TECNOLOGÍAS EMERGENTES COMO ALTERNATIVAS AMBIENTALES	52
2.3.17. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	55
CAPITULO 3: METODOLOGÍA	58
3.1. UBICACIÓN.....	58
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	58
3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO	59
3.4. FACTORES EN ESTUDIO	59
3.5. NIVELES DE LOS FACTORES.....	59
3.6. MATERIAL EXPERIMENTAL	59
3.7. TRATAMIENTOS	59
3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL	60
3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	61
3.9.1. DOSIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS	61
3.9.2. MATERIALES UTILIZADOS.....	61
3.9.3. DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA DE LOS AGREGADOS.....	65
3.9.4. MEZCLA DE AGREGADOS PÉTREOS – ASFALTO.....	66
3.9.5. ANÁLISIS MARSHALL	67
3.9.6. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO	68
3.9.7. PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO.....	70
3.9.8. ELASTÓMERO.....	72
3.9.9. PROCEDIMIENTO DE LA AGREGACIÓN DEL PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO Y DEL ELASTÓMERO.....	72
3.9.10. UNIDAD EXPERIMENTAL	73
3.9.11. VARIABLES PARA EVALUAR LOS MEZCLAS ASFÁLTICAS	73
3.9.12. VARIABLES COMPLEMENTARIAS.....	75
IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO	77

4.	CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	83
4.1.	MEZCLAS ASFÁLTICAS CON PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO Y ADICION DE ELASTOMEROS Y AGREGADOS PETREOS	83
4.1.1.	DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO	83
4.1.2.	PORCENTAJE DE VACÍOS EN LA MEZCLA	83
4.1.3.	ESTABILIDAD	83
4.1.4.	FLUJO	85
4.1.5.	VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	86
4.1.6.	VACÍOS EN RELLENOS DE ASFALTO	87
4.2.1.	DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO	89
4.2.2.	PORCENTAJE DE VACÍOS EN LA MEZCLA	89
4.2.3.	ESTABILIDAD	89
4.2.4.	FLUJO	89
4.2.5.	VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES	90
4.2.6.	VACÍOS EN RELLENOS DE ASFALTO	90
4.3.	ANÁLISIS ECONÓMICO	95
4.4.	IMPACTO AMBIENTAL	96
4.4.1.	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS	99
4.4.2.	VALORIZACIÓN DE IMPACTOS	100
4.4.3.	ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS	101
4.5	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	103
	CAPITULO 5: IMPACTOS	104
5.1.	PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA REUTILIZACIÓN DE ELASTÓMERO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO, EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE CALCETA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN BOLÍVAR PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE MANABÍ	104
5.2.	DESARROLLO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ELASTÓMERO Y ASFALTO ENVEJECIDO DEL CANTÓN BOLÍVAR	113
5.2.1.	OBJETIVO GENERAL	113
5.2.2.	RECOLECCIÓN	113

5.2.3. TRANSPORTE	113
5.2.4. ALMACENAMIENTO	114
5.2.5. TRATAMIENTO, ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	119
ANEXOS.....	126

LISTA DE CUADROS

Cuadro 2. 1 Evaluación de emisiones atmosféricas generadas por la mezcla de asfalto y polvo de caucho.	21
Cuadro 2. 2 Emisiones de gases para la investigación	22
Cuadro 2. 3 Estimación de emisiones de gases en kgCO ₂	23
Cuadro 2. 4 Composiciones física de los neumáticos fuera de uso	34
Cuadro 2. 5 Composición química de los neumáticos fuera de uso.....	34
Cuadro 2. 6 Criterio de evaluación para el diseño de mezclas asfálticas.....	42
Cuadro 2. 7 Criterios MARSHALL.....	42
Cuadro 2. 8 Mínimo de porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM)	43
Cuadro 2. 9 Tipo de mezcla y Mínimo de porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM).....	43
Cuadro 3. 1 Tratamientos.....	59
Cuadro 3. 2 Esquema de análisis de varianza	60
Cuadro 3. 3 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes .	61
Cuadro 3. 4 Árido 1 - grava pasante tamiz 3/4".....	62
Cuadro 3. 5 Árido 2 - grava pasante tamiz 3/8".....	63
Cuadro 3. 6 Árido 3 cisco	64
Cuadro 3. 7 Árido 4 arena	64
Cuadro 3. 8 Mezcla de los agregados.....	66
Cuadro 3. 9 Diseño de Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto. “Reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido y su impacto ambiental en Manabí – Ecuador”	69
Cuadro 3. 10 Composición física del pavimento envejecido	71
Cuadro 3. 11 Características Unidades experimentales	73
Cuadro 3.12 Factores ambientales – Causa y Obtención de asfalto modificado	76

Cuadro 4. 1 Densidad bulk, porcentaje de vacíos en la mezcla y estabilidad.	85
Cuadro 4. 2 Flujo, vacíos en agregados minerales y vacíos en rellenos de asfalto.	88
Cuadro 4. 3 Diseño Marshall del pavimento asfaltico envejecido	91
Cuadro 4. 4 Porcentaje de asfalto del pavimento asfaltico envejecido	91
Cuadro 4. 5 Graduación granulométrica centrada del pavimento asfaltico al 52 % envejecido enriquecido con agregados pétreos al 48%	92
Cuadro 4. 6 Graduación granulométrica fina del pavimento asfaltico envejecido al 52% enriquecido con agregados pétreos 48%	93
Cuadro 4. 7 Curva granulométrica gruesa asfaltico envejecido al 52% enriquecido con agregados pétreos al 48%	94
Cuadro 4. 8 Análisis económico	96
Cuadro 4. 9 Identificación de impactos	99
Cuadro 4. 10 Valorización de impactos.....	100
Cuadro 5. 1 Recolección de residuos sólidos de Elastómero y asfalto envejecido ...	104
Cuadro 5. 2 Transporte de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido.....	106
Cuadro 5. 3 Acopio de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido	107
Cuadro 5. 4 Tratamiento y disposición Final	109

LISTAS DE FIGURAS

Figura 3. 1 Curva granulométrica de los agregados de cantera.....	66
Figura 3. 2 Peso unitario o densidad Bulk en relación al porcentaje óptimo de asfalto	69
Figura 3. 3 Porcentaje de vacíos en relación al porcentaje óptimo de asfalto	69
Figura 3. 4 Estabilidad en relación al porcentaje óptimo de asfalto	70
Figura 3. 5 Vacíos en agregados minerales en relación al porcentaje óptimo de asfalto	70
Figura 3. 6 Vacíos en rellenos de asfalto en relación al porcentaje óptimo de asfalto .	70
Figura 3. 7 Flujo en relación al porcentaje óptimo de asfalto	70
Figura 3. 8 Curva granulométrica del pavimento asfáltico envejecido	71
Figura 4. 1 Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 52% con agregados pétreos al 48%	94
Figura 4. 2 Curva granulométrica gruesa del pavimento asfáltico envejecido al 52% con agregados pétreos al 48%	95
Figura 4. 3 Análisis de impactos	101

Resumen

El propósito de la investigación fue evaluar el impacto Ambiental de la reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido como alternativa para el diseño de mezclas asfálticas, contribuyendo de esta manera a la protección ambiental en Manabí – Ecuador. Los factores en estudio fueron: el elastómero en los niveles 4%, 8%, 12% y 16%, y la granulometría fina, media y gruesa. Se empleó el Diseño Completamente al Azar en un arreglo bifactorial GxE+1 con 13 tratamientos y 3 repeticiones, donde G corresponde a la granulometría de áridos utilizados y E al elastómero. En el diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, permitió concluir que la adición de 4%, 8% y 12% de elastómero en las curvas granulométricas media y fina, favoreciendo a las propiedades del mismo para ser utilizado a nivel de campo en mezclas asfálticas modificadas. En cuanto al análisis económico que se realizó, los tratamientos con menor costo fueron G1E1 con \$45,04 y G2E1 con \$45,07. Por lo que se evidenció que la reutilización de estos residuos influye positivamente en la Provincia de Manabí en la Ciudad de Calceta, dado que se propone el adecuado manejo de los neumáticos fuera de uso, evitando la quema de estos residuos y disminuyendo consigo la generación de gases nocivos para el ecosistema y la salud pública, conjuntamente se logrará disminuir el almacenamiento de neumáticos en los rellenos sanitarios e incrementando la vida útil de estos depósitos; además se reducirá la demanda de materiales necesarios para la fabricación de nuevos pavimentos asfálticos, beneficiando mediante esta gestión a los habitantes del sector, contrarrestando impactos negativos y potenciando los positivos.

Palabras claves: reutilización, elastómero, pavimento asfáltico envejecido, impacto ambiental.

Summary

The purpose of this investigation was to evaluate the environmental impact of the reutilization of solid wastes of aged elastomer and asphaltic pavement as an alternative for the design of asphaltic mixes, contributing in this way to the protection of the environment in Manabí – Ecuador. The variables subject to study were the elastomer in the 4%, 8%, 12% and 16% levels, and the thin, medium and thick granulometric. A completely random design was used in a bifactorial set up GxE+1 with 13 treatments and 3 repetitions, where G stands for the granulometric of arid used and E for the elastomer. In the design of asphaltic mixes with aged elastomer and asphaltic pavement allowed to conclude that the addition of 4%, 8% and 12% of elastomer in the granulometric curves medium and thin, benefiting its properties to be use in the field in modified asphaltic mixes. With respect to the economic analysis taken place, the treatments with the least cost were the G1E1 at \$45,04 and the G2E1 at \$45,07. Showing that the reutilization of these wastes has a positive influence in the province of Manabí in the city of Calceta, due to the proposal of the adequate handling of out of service tires. Avoiding their burning thus reducing the production of harmful gases to the environment and public health, together with the reduction of the storage needed in the land fields incrementing the useful life of this deposits; furthermore, the demand for materials needed for the fabrication of new asphaltic pavement will be reduced, benefiting through this process the people in this sector, Countering negative impacts, and boosting the positives.

Key words: reutilization, elastomer, aged asphaltic pavement, environmental impact.

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

Desde el inicio de la revolución industrial son innumerables las formas de contaminación y los problemas ambientales que el ser humano está causando. La contaminación es incontable y asociado a actividades humanas junto a otros graves problemas, está degradando todos los ecosistemas y contribuyendo al cambio climático cuyas consecuencias se están viviendo en estos momentos.

Bureau Of International Recycling (BIR, 2016) estimada que aproximadamente en el mundo los vehículos y automóviles comerciales que circulan son unos 800'000,000 y en promedio son unos 70'000,000 de autos que se suman a esa cantidad anualmente. Asimismo, Castro (2015) menciona que: “en el Ecuador cada año se desechan alrededor de 2,4 millones de neumáticos”. Mientras que, Bertalot (2017) menciona que, al ser los automóviles productos diseñados para ofrecer una mayor resistencia, considerando su uso continuo y posterior desgaste; cuando son desechos se estima que el proceso de descomposición natural demoraría un aproximado de más de 600 años, esto debido a que su composición se encuentra hecha a base de elementos contaminantes y peligrosos tales como el cadmio, plomo, cromo, y demás componentes, que al momento de ser desechados inapropiadamente generan un efecto contaminante para el medio ambiente y por consiguiente, atentan contra la salud.

Asimismo, el pavimento asfáltico envejecido (PAE) constituye un problema global, debido a que sus compuestos son difíciles de descomponer de forma natural. Tal como lo exponen (Restrepo y Stephens, 2015) los desechos de PAE, son considerados contraproducentes ya que su composición con elementos a pesar de estar envejecidos aún mantienen sus propiedades, y por consiguiente generan un efecto contaminante para las zonas urbanas.

En la Provincia de Manabí, específicamente en el Cantón Bolívar no existe un sistema de control para el manejo de los residuos sólidos de neumático fuera de uso y pavimento asfáltico envejecido, esto origina en la ciudad un impacto ambiental negativo para la conservación de la salud y el medio ambiente. Es evidente el incremento de estos residuos en la ciudad, al no existir un vertedero para los mismos, copan áreas naturales todo esto ocurre, sin obtener respuesta o iniciativa por parte de las autoridades de turno, que son quienes deberían prever la salud de la ciudad e implementar un sistema de control que permita disminuir el impacto ambiental.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PROBLEMA GENERAL

- En el cantón Bolívar perteneciente a la Provincia de Manabí, se formula la siguiente pregunta o problema general ¿De qué manera contribuiría la reutilización de Elastómero y Pavimento Asfáltico envejecido, como alternativa ambiental para el diseño de mezclas asfálticas en la ciudad de Calceta cabecera cantonal del Cantón Bolívar perteneciente a la Provincia de Manabí - Ecuador?

1.2.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Qué características presentan las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido para ser reutilizado en las calles de la ciudad de Calceta provincia de Manabí?
- ¿Cuál sería la propuesta técnica del diseño de una mezcla asfáltica modificada de pavimento asfáltico envejecido con la adición de elastómero y agregados pétreos?
- ¿De qué manera influyen las dosificaciones de pavimento asfáltico envejecido con la adición de elastómero y agregados pétreos, en el costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas en la ciudad de Calceta provincia de Manabí?

- ¿Cuál sería el impacto ambiental que generan las mezclas asfálticas modificadas con pavimento asfáltico envejecido y elastómero, para el manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de Calceta provincia de Manabí?

1.3 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

El Ministerio del Ambiente MAE, (2015) estableció que, de acuerdo a la reforma del libro VI en el texto unificado de legislación secundaria, en el capítulo VI, sección I, Art. 55 establece que, la gestión integral de residuos sólidos refiere a los estatutos y/o disposiciones establecidas para regular el manejo de los residuos sólidos, teniendo en cuenta sus características de composición, de volumen y los costos que incluyen el tratamiento, su reutilización, comercialización o su destino final.

En base a la última reforma realizada por el Ministerio del Ambiente en el año 2015, se vienen dando cambios en las políticas ambientales en el Ecuador, y es mediante Acuerdo Ministeriales que se pretende concientizar a la población fomentando el reciclaje mediante la reutilización y/o residuos de neumáticos, siendo preciso señalar que a la fecha se han recuperado una cantidad mayor al millón y medio de neumáticos en desuso a nivel nacional.

Por otra parte, tal como señala (CEDEX, 2011) la reutilización de las mezclas asfálticas en los pavimentos flexibles se realiza sobre materiales envejecidos los cuales disminuyen considerablemente sus propiedades iniciales, es por ello que resulta viable técnicamente el aprovechamiento y reutilización de los materiales fresados, enriqueciéndolos con la adición de agregados pétreo los cuales generan un ahorro importante.

Resulta importante implantar una propuesta sostenible en los ámbitos socio – económico y ambiental, ya que por un lado existe un gran número de personas que están excluidas del sistema en el que habitan y que sus ingresos dependen de lo que puedan recuperar informalmente de lo que las demás personas desechan, los mismos

que están expuestos a peligros sanitarios, cabe resaltar que la cantidad de niños y niñas que están involucrados en este sector ven como la única manera de poder sobrevivir a un sistema social diferentes para muchos. (Lecitra, 2010)

Es por ello que El Ministerio del Ambiente del Ecuador en coordinación con el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), está poniendo en ejecución el Proyecto “Carreteras Ecológicas” a través del cual se está promoviendo el uso de los neumáticos reciclados para la obtención del polvo de caucho el mismo que sirve como un agregado que puede mejorar el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas convencionales. (MAE, 2016)

1.4 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

El material que se obtiene a través del proceso de industrialización de los neumáticos fuera de uso, una vez que son separados estos materiales puede tener varios usos. Según Grytsenko, Pozdniakova y Vnukova (2016) una de las principales aplicaciones de los residuos de neumáticos fuera de uso es el polvo de caucho o caucho granulado como elemento en la dosificación de las mezclas asfálticas que se usan en las carreteras, con lo que se consigue mejorar las características de estas mezclas pudiendo ser utilizado en la capa de rodadura, con el mejoramiento de estas propiedades físicas y mecánicas e logra obtener más elasticidad, mayor resistencia al agrietamiento, menos deformaciones, mayor resistencia al arrastramiento y por ende mayor media de vida útil; también presenta buenas características de pavimento drenante ya que impide la acumulación de agua, aumentando su adherencia y evitando proyecciones de agua, obteniendo un bajo nivel de ruido y buenas condiciones ópticas. Lacamara (2014) menciona que dependiendo de los diseños constructivos se pueden utilizar entre 1000 y 7000 neumáticos fuera de uso por kilómetro de vía de dos carriles, estas elevadas cifras ubican a la reutilización en pavimentos asfálticos como una de las grandes soluciones para utilizar los neumáticos fuera de uso.

El reciclado de pavimentos flexibles elaborados con mezclas asfáltica establece una alternativa para la rehabilitación de estos pavimentos de forma más competitiva y sostenible, ya que con estos se logra reducir la utilización de recursos naturales no renovables como son sus agregados y asfalto; además previene la acumulación de residuos y la ocupación de los botaderos (Paiva y ramos, 2014). Alcanza un sin número de técnicas de construcción referente al aprovechamiento de forma integral de los materiales envejecidos proveniente de los firmes y pavimentos. De acuerdo a la Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech (UPCB, s,f) aprovechando el material envejecido se podría rescatar los agregados y el betún que tienen en su composición estas mezclas asfálticas como remplazo de materiales nuevos disminuyendo el valor del material de la mezcla reciclada. Con una tasa de reciclaje del orden del 25-30%, en cada tonelada de mezcla hay un ahorro de este porcentaje en agregados nuevos y en torno a un 1% de un nuevo adherente, también se reduce la acumulación de residuos y la problemática de gestión de los mismos, ofreciendo ahorro de recursos naturales.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el impacto ambiental de la reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido como alternativa para el diseño de mezclas asfálticas en Manabí – Ecuador.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar las características que presentan las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, para su reutilización en las calles de la ciudad de Calceta.
- Determinar el comportamiento del pavimento asfáltico envejecido en diferentes dosificaciones de elastómeros y agregados pétreos para el diseño de mezclas asfálticas.

- Cuantificar el costo de producción que tiene la reutilización de pavimento asfáltico envejecido y elastómero, en relación al costo estimado de las mezclas asfálticas convencionales en la ciudad de Calceta
- Caracterizar el Impacto ambiental de las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido y elastómero, para el adecuado manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de Calceta.

CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

Que uno de los principales problemas medio ambientales es el desecho de los neumáticos, ya que las principales dificultades generadas por este residuo, es la disposición final, dado que la mayoría de los NFU, se encuentran almacenados en sitios que no cumplen ningún tipo de reglamentación o características para su disposición final, ocupando gran volumen y por ser considerados desechos sólidos deben ser enterrados, almacenados y en el peor de los casos destruidos por incineración. Conjuntamente la acumulación de estos residuos incrementa la posibilidad de incendios y la posible emanación de gases tóxicos. (Ramírez *et al.*, 2014, p. s/n)

Franco (2015) indica: “La afectación al medio ambiente es un problema crítico que año a año va incrementado y causando fenómenos como el calentamiento global o la extinción de especies de la flora y fauna” (p.11).

Los desechos sólidos si no son debidamente manejados pueden originar importantes problemas de salud y un medio ambiente desagradable para vivir. De igual forma, pueden servir de criaderos de insectos, parásitos y de otros animales dañinos, lo cual aumenta la posibilidad de la transmisión de enfermedades, y puede atraer serpientes y otras plagas, llegando a contaminar las fuentes de agua y el medio ambiente. (La Organización Panamericana de la salud, 2012, p.121-135)

El incremento de habitantes en los países, aumenta la necesidad del uso de los vehículos de transporte, derivándose el incremento de la venta de neumáticos, los

cuales con el uso y el paso del tiempo se desgastan hasta volverse inservibles y convertirse en un desecho sólido. (Ocampos *et al.*, 2016, p.1)

La contaminación se inicia desde su proceso de fabricación hasta su uso en automóviles, es uno de los principales factores que perjudican el ambiente en la tierra, ya que, para que se dé la degradación natural de este residuo puede pasar siglos. Así mismo menciona que los costos de fabricación y para su respectivo tratamiento son muy elevado. (Ocampos *et al.*, 2016, p.12)

Vignart, (2010) indica que: “para la simple elaboración de una llanta de camión se necesita medio barril de petróleo crudo, un valor muy significativo tomando en consideración la masiva producción de neumáticos en los últimos años” (p.1).

Meza y Patarroyo, (2016) manifiesta que “Los neumáticos usados tardan mucho tiempo en descomponerse, generando problemas ambientales que influyen en el ecosistema y que no son controlables, por lo que mitigar el daño ambiental y la afectación social representa una tarea ardua” (p.5).

Los neumáticos fuera de uso son difíciles de gestionar y se considera que para eliminarlos se usa la quema directa que genera problemas medioambientales generando emisiones de partículas nocivas para el entorno; conjuntamente mencionan que el depósito de estos residuos es complejo y provocan problemas de permanencia por la pérdida química parcial que éstos sufren y problemas de seguridad en los rellenos sanitarios. (JRS Consultores, 2017, s/n)

Los neumáticos en desuso, tienen una amplia gama de posibilidades de ser valorizados en aplicaciones de reutilización (recauchutado), recuperación energética (para la generación de energía) y reciclado. En particular su reciclaje, permite la recuperación y el aprovechamiento de sus componentes materiales, principalmente caucho vulcanizado, acero y fibras textiles, los cuales pueden ser

integrados en sistemas productivos para disminuir el consumo de materias primas. (Ocampos *et al.*, 2016, p.2)

Rondón y Reyes (2015) indican: “Los neumáticos en desuso son uno de los materiales más desechados en el mundo así como aproximadamente el 2% de los residuos sólidos totales provienen del desecho de neumáticos fuera de uso” (p.15).

Olivares, (2016) en el estudio realizado en la planta de reciclaje de neumáticos de caucho detalla que para resolver la coyuntura ambiental generado por las llantas en desuso se basa específicamente en valorizar adecuadamente los residuos de neumático fuera de uso, teniendo en cuenta que el valor de compra no debe ser superior a una original o nueva, con la finalidad de promover la adquisición de NFU que se desechan anualmente.

De acuerdo a Cruz (2012) “En la actualidad la utilización de materiales reciclables e innovadores es una ventaja ya que no solo beneficiará al medio ambiente con su utilización, si no que reducirá costos de producción, volviéndose, competitiva en relación a los materiales sustitutos” (p.7).

El reúso de NFU minimiza el deterioro ambiental que se produce por el acopio de los mismos, creando así un aporte ambiental, lo cual representa efecto positivo para el entorno y los habitantes del sector, disminuyendo consigo los focos atractivos para vectores y enfermedades creada por los mismos. (Yung, 2013)

Díaz y Castro (2017) detallan que los neumáticos usados pueden ser molidos, mediante una trituración mecánica, ya que no se utiliza maquinaria que pueda contaminar el ambiente. Este proceso es realizado, con la finalidad de reciclar estos residuos y utilizarlos en varias alternativas como por ejemplo en pavimentos asfálticos y así mitigar factores ambientales producidos por la mala manipulación de las llantas desechadas.

El proceso para la obtención del caucho triturado no es tan sencillo, puesto que se cumplen varias etapas para conseguirlo. Inicialmente se recogen las llantas usadas para clasificarlas, luego las consideradas como no aptas para ser renovadas pasan por cintas a máquinas tronzadoras para cortarlas en distintos tamaños, después un imán separa las partes metálicas, seguido de la aspiración para retirar las fibras textiles y finalmente se pulveriza de acuerdo a las medidas que se requiera. (Vega, 2016)

Técnicamente para el diseño de mezclas asfálticas también se viene usando de forma progresiva a nivel global. Vega (2016) evaluó la conducta de las características de las mezclas asfálticas compuestas por neumáticos fuera de uso y agregados pétreos, así como los efectos que produce las mismas.

La vida útil de estos no llega hasta allí, una de las metodologías que se vienen utilizando es el reuso de firmes asfálticos, el cual se ejecuta en base a materiales que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales. Siendo una opción al reciclado de pavimentos ya que se aprovechan los materiales fresados, caso contrario irán a los vertederos. (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas [CEDEX], 2011)

La utilización de polvo de caucho en mezclas asfálticas, permite contribuir un avance en materia medio ambiental debido a que se reciclaran los neumáticos fuera de uso, que generalmente contaminan el ecosistema, convirtiéndose en un problema de magnitudes catastróficas, ya que no existen las suficientes formas de aprovecharlos. (Olivares, 2016)

Ante la situación antes menciona, hay que destacar que los problemas son comunes en los países, sin distinción de su régimen económico y su grado de desarrollo, el deterioro del medio ambiente y la relación que tiene la gestión de los residuos con la misma. De acuerdo a Lecitra (2010) menciona que “habitualmente se relaciona el consumo con el

placer, con determinados índices de bienestar”. Por lo tanto, hay una fase oculta del consumo que se relaciona con los residuos producidos como consecuencia del mismo.

De acuerdo al Ministerio del Ambiente de Ecuador (2004) en la Ley de prevención y control de la contaminación ambiental, en su artículo. 10 expresa lo siguiente: “Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, cualquier tipo de contaminantes que puedan alterar la calidad del suelo y afectar a la salud humana, la flora, la fauna, los recursos naturales y otros bienes” (p.2).

Y en concordancia al artículo 5 de la misma ley:

Las instituciones públicas o privadas interesadas en la instalación de proyectos industriales, o de otras que pudieran ocasionar alteración en los sistemas ecológicos y que produzcan o puedan producir contaminación del aire, deberán presentar a los ministerios de salud y del ambiente, según corresponde, para su aprobación previa estudios sobre el impacto ambiental y las medidas de control que proyecten a aplicar. (p.2)

La responsabilidad de los Sujetos de Control abarca de manera integral, compartida, y diferenciada, todas las fases de gestión integral de las sustancias químicas peligrosas y la gestión adecuada de los residuos, desechos peligrosos y/o especiales desde su generación hasta su disposición final. (El Acuerdo Ministerial 061 que reformula el Libro VI de Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, 2015, p.4)

Es por ello que el siguiente trabajo va a contribuir a estimar los pro y contra, mencionando la metodología empleado en el trabajo de investigación y de esta forma contribuir a las Instituciones público-privada que se encargan de regular tecnologías ambientales emergentes y de esta forma se puedan presentar un proyecto de reutilización de neumáticos fuera de uso y pavimento asfáltico envejecido, y su

reconversión para ser utilizado en mezclas asfálticas siendo un paso importante en el ámbito vial, ambiental y económico.

2.2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A finales del siglo XVIII cuando se inicia la Revolución Industrial, gracias al avance de la ciencia y la técnica, surgen nuevas actividades industriales y se desarrolla extraordinariamente el comercio. Se produce entonces una auténtica explosión demográfica y económica que se manifiesta en el imparable desarrollo de la urbanización. En esta época, se empiezan a arbitrar las primeras medidas con vistas a tratar técnicamente el incipiente problema de los residuos que se generan como resultado de los nuevos procesos productivos, que ya no pueden asimilarse por los ciclos naturales como hasta entonces. Existían actividades marginales de reciclaje como la utilización de trozos de metal para producir nuevas herramientas y la incineración como destino final de los desechos. (Lecitra, 2010, p.2)

Para finalizar con el autor antes citado, este menciona que:

Es a partir del siglo XX, con la expansión de la economía basada en el consumo, la cultura del “usar y tirar”, y los adelantos técnicos experimentados que permiten utilizar en la producción nuevos componentes que no están sujetos a una rápida biodegradación, cuando el problema comienza a tomar proporciones críticas y a generar un gravísimo impacto ambiental, sanitario, económico y social que torna necesarias otras medidas para la gestión de los residuos urbanos por ser insuficientes o inadecuadas las alternativas que les precedieron. (Lecitra, 2010, p.3)

Según Romero, Bonifaz y Revelo (2014) indican que actualmente nos encontramos en un período en el que uno de los objetivos principales es reducir la contaminación del

medio ambiente y cada vez aumentan los proyectos de reciclaje, tratamiento y reutilización de desechos.

El desarrollo y avance de un País se manifiesta por la infraestructura vial que posee y es lo que Ecuador ha logrado en los últimos 5 años, de manera que la tecnología para acrecentar la vida útil de las vías avanza constantemente. Desde hace algunos años en nuestro país se ha implementado asfaltos modificados con polímeros que de manera general no son ecológicos y no contribuyen a la mitigación de la contaminación, por tal motivo este proyecto pretende sustituir la utilización de dichos polímeros con materiales reciclados, tratando de mantener y perfeccionar las características mecánicas de las mezclas asfálticas a menor precio. (Romero *et al.*, 2014, p 60).

Según Vargas y Reyes, (2010) indican que: “Los pavimentos asfálticos experimenta el conocido fenómeno del envejecimiento de los asfaltos, el cual altera las propiedades fisicoquímicas del material y por ende la durabilidad de los mismos, ocasionando pérdidas económicas debido a su deterioro prematuro” (p.27).

UPCB (s.f.) menciona: “Las capas superiores de los firmes bituminosos están constituidas por materiales de alta calidad, en especial los áridos, de manera que para aprovechar al máximo sus cualidades, sería idóneo reciclar los mismos en capas similares” (p.16).

El proceso de reciclado de pavimentos asfálticos consiste en la disgregación del material, su mezcla con ligante y/o, y su posterior extensión y compactación. El tratamiento de los materiales reciclados puede hacerse en el mismo firme del que proceden, o transportarse a una central de mezcla para, tras su tratamiento, emplearse en la misma u otra localización. (CEDEX, 2011, p. 93)

El fresado de los firmes envejecidos es una alternativa de recuperación de pavimentos, permitiendo minimizar el uso de materiales no renovables, agregados y asfalto; y contrarrestando la generación de residuos y el almacenamiento en los vertederos. En estos momentos, no están debidamente reglamentadas las técnicas de reciclado. (Paiva y Ramos, 2014,p.5)

Las propiedades del asfalto cambian con el tiempo, y debido a esto las especificaciones utilizadas para el diseño de las mallas viales basadas en las propiedades físicas iniciales no aseguran un buen desempeño después que el asfalto ha sido mezclado con el agregado, aplicado y puesto en marcha para soportar los esfuerzos mecánicos propios del transporte. Durante este proceso de elaboración de una mezcla asfáltica, los asfaltos se oxidan por acción del oxígeno del aire y de las altas temperaturas de mezclado, permitiendo que el fenómeno de envejecimiento inicie en forma inmediata, y posteriormente, es inducido por los diversos factores climáticos que inciden en los pavimentos. Por lo tanto, para conseguir carpetas asfálticas con una mayor durabilidad se debe considerar el efecto del cambio en la composición química del cemento asfáltico en el proceso de mezclado en caliente y durante el tiempo de servicio. (Vargas y Reyes, 2010, p.27)

En el Perú se ha desarrollado la elaboración de un ensayo, con la acumulación de agregados provenientes de las carpetas asfálticas en uso; con el fin de elaborar nuevas mezclas asfálticas combinando estos materiales con nuevos agregados pétreos y asfalto. Se utilizó el método de diseño Marshall para mezclas en caliente, evaluando la mezcla para tránsito liviano, medio y pesado; dando como resultado características iguales o superiores a las mezclas convencionales. (Paiva y Ramos, 2014)

Las maneras más similares de añadir el polvo de neumático reciclado que intervienen en las mezclas asfálticas son por dos vías: La vía húmeda y seca. En la primera vía, que es la húmeda, el polvo de neumático es mezclado

previamente con el cemento asfáltico a temperaturas altas para producir un ligante modificado denominado asfalto-caucho, que se añade posteriormente a los agregados pétreos. En la vía seca, se añade el polvo de neumático a la mezcla asfáltica como un agregado más (fracción fina de áridos), previo a la incorporación del cemento asfáltico, siendo el producto usualmente denominado mezcla asfáltica modificada con polvo de caucho. (Navarro y Muñoz, 2013)

Teniendo en cuenta que una llanta está compuesta aproximadamente por el 50% de cauchos naturales y sintéticos con variadas probabilidades de reutilización. Por otro lado, el material textil (0-5%) generalmente se ocupa como aislante térmico o como relleno, mientras que el acero (15-30%) se comercializa para distintos usos. (Navarro y Muñoz, 2013)

Continuando con Romero *et al.* (2014) la trituración mecánica de las llantas fuera de uso permite obtener un nuevo material de alta calidad como materia prima en varias aplicaciones.

La utilización de los asfaltos modificados con polímeros (AMP) en pavimentos surgió de la necesidad de elaborar un asfalto, también conocido como ligante o aglutinante, con mayor calidad o mejor resistencia en carreteras, debido a la presencia de vehículos con mayor número de cargas por eje, mayor presión de inflado de llantas y mayores velocidades. La incorporación de un polímero adecuado modifica la susceptibilidad térmica del asfalto debido a la mejora obtenida en el comportamiento visco-elástico. (Palma y Ortiz, 2015, p.119)

Otros autores manifiestan que la adición de productos industrializados como el caucho y el plástico podrían hacer parte constitutiva de la estructura de un pavimento al dar a las mezclas asfálticas un mejor comportamiento mecánico y por ende una mayor duración de vida. Se debe ser conscientes que se vive en la cultura del usar y tirar, y en la basura de cada día están los recursos que dentro de poco tiempo harán falta. Se trata, en definitiva, de que se ponga en práctica la

consigna de las tres erres, reducir, reutilizar y reciclar, en este orden de importancia. (Reyes, Madrid y Salas, 2007, p.25-34)

La metodología empleada para el desarrollo de la investigación con adición de reciclados debe efectuarse de forma cronológica. Primero se caracteriza el material granular del asfalto y del polímero que se vaya a utilizar, obteniéndose en primera instancia el porcentaje óptimo de asfalto sin introducir ningún tipo de polímero mediante el desarrollo del ensayo de Marshall. Posteriormente, se realizan muestras con el porcentaje óptimo de asfalto y la adición de elastómero como reemplazo del material asfáltico. Por último, se determina la influencia de elastómero en la mezcla asfáltica mediante la ejecución y comparación de los ensayos de módulos dinámicos, leyes de fatiga, estabilidad, flujo y densidad de los especímenes con adición de polímeros. (Reyes y Argoti, 2015 p.1)

Ejecutar una propuesta para solucionar este problema resulta importante debido a la elevada cantidad de personas excluidas del sistema y que basan sus ingresos en la recuperación informal de lo que otros desechan, estando expuestos a peligros sanitarios. Dentro de este sector informal, es importante el número de niños y niñas que encuentran en el trabajo de recuperación de residuos la única forma de sobrevivir ante una sociedad muchas veces indiferente. (Lecitra, 2010, p.4)

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. GENERALIDADES

Según Restrepo y Stephens (2015) dice que: “El proceso de reciclar los productos utilizados, comenzó a tener importancia desde que el hombre, agrupado en ciudades, fue consciente de la cantidad y volumen de desechos que producía por día y la dificultad que genera su disposición final” (p.15).

El mismo autor cita: “que los efectos sobre la salud, los impactos que se producían contra el ambiente, y el valor económico, motivaron desarrollos encaminados a reutilizar los materiales básicos, degradados y transformados, se encontraban presentes en los productos desechados y aparentemente inservibles” (p.15).

Los neumáticos fuera de uso generan una serie de problemas de almacenamiento. Debido a su forma tan particular, ocupan excesivo lugar. Además, debido a las características propias del residuo son altamente inflamables y, en caso de incendio, conllevan un riesgo potencial ya que su combustión genera nubes tóxicas que contaminan el ambiente. (Zarini, 2011, p.5)

Asimismo menciona que anteriormente era común la disposición en rellenos sanitarios de los neumáticos, esta práctica ha sido rechazada por dos razones. Debido a su forma y composición, los NFU no son fácilmente compactados, ni se descomponen. Por ende se requiere de más espacio en su disposición final. (Zarini, 2011, p.5)

Los reciclado de los pavimentos flexibles alcanza un sin número de técnicas y procesos constructivos que pretenden dar un aprovechamiento total e integral de todos estos materiales envejecidos tanto de los firmes así como de los pavimentos, que desde la crisis de energía se vienen empleando cada vez en la rehabilitación de firmes y pavimentos en carretera. (Bustos, 2010, p.6)

Existe deterioro ambiental reflejado en la exagerada producción, acumulación y mala disposición de residuo sólidos, lo cual se ha venido convirtiendo en serios focos de contaminación ambiental, un atentado para la salud pública y a la vida local. Por tal razón este autor menciona la necesidad de realizar un plan de gestión integral de residuos sólidos, con la finalidad de lograr y brindar un manejo eficiente desde la fuente hasta la disposición final con la implementación de medidas y estrategias de prevención de la contaminación a través de

medidas de disposición de los residuos tales como la minimización, recuperación, reutilización y reciclado. (Gutiérrez, 2013, p.29)

2.3.2. CUANTIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

La deposición final tanto de los neumáticos como de los pavimentos envejecidos del firme descontrolada y fuera de cualquier criterio de reciclaje en cualquiera de sus formas, representa un grave peligro para la salud humana al convertirse en lugar de resguardo y fuente de reproducción de insectos y animales transmisores de enfermedades graves y hasta letales para la población humana. La acumulación sin control y desordenada de NFU constituye un potencial riesgo de incendio incontrolable, que libera ingentes cantidades de gases y partículas que son peligrosas para el medio ambiente así como para la salud de todos sus habitantes. (Bertalot, 2017, p.s/n)

Durante último medio siglo, la población mundial se ha incrementado como nunca antes, originando una serie de desafíos para las ciudades. Debido a este incremento de la población tiene su efecto en la cantidad de residuos que estos puedan generar. En la actualidad la generación de los residuos sólidos urbanos (RSU) son de alrededor de 1.300 millones de toneladas anuales pudiendo aumentar esta cifra a 2.200 millones de toneladas anuales para 2025. El crecimiento de la población mundial y su concentración en los centros urbanos crean una serie de problemas para la gestión de los residuos. (Vázquez, 2017,p.s/n)

Si este fenómeno continúa creciendo al ritmo actual, en 2025 se producirán unos seis millones de toneladas de residuos al día, en base al estudio citado. Y en 2100, aunque muchas cosas pueden cambiar hasta entonces, se estima que la generación llegue hasta los once millones de toneladas diarias. Una asfixiante avalancha de desechos de todos los tamaños y formas que conllevan un

problema cada vez más perentorio: la necesidad de espacio. (Hohr y Ripa, 2016, p.s/p)

Castro (2015) menciona que: “en el Ecuador cada año se desechan alrededor de 2.4 millones de neumáticos”, muchos de estos no tienen uso posterior y son incinerados o depositados en rellenos sanitarios al aire libre, representando una afectación a la salud por dichas emisiones y un peligro al medio ambiente

Otro análisis a tener en cuenta es el que menciona Hohr y Ripa (2016), en el cual establecen que: “una persona en España promedio pesa 70 kilos, donde realizan la relación que producirá al año más de seis veces su propio peso en basura. Seis veces en latas aplastadas, envases rotos, comida desperdiciada y aparatos electrónicos estropeados, entre otros” (p.23).

¿Por qué no se utiliza el neumático usado para hacer nuevos neumáticos?

Por presentarse reacciones químicas en el proceso de vulcanización al que está sometido el caucho y que se vuelven irreversible. Descarta la posibilidad de reutilizar los neumáticos para la fabricación de nuevos, es por esto que miles de toneladas de neumáticos son llevadas anualmente a vertederos municipales o que no estén regulados por sus localidades. (Navarrete, 2009)

Pero el problema es continuo porque el neumático no es biodegradable y además afectaría al proceso de la basura, que sí es biodegradable. Por consiguiente como no existen mercados que resulten económicamente rentables para los productos derivados del caucho tales como: pisos, superficies de goma (canchas sintéticas) y los pavimentos flexibles en las carreteras. (Navarrete, 2009)

2.3.3. EFECTOS AMBIENTALES Y DE SALUD POR EL INADECUADO MANEJO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO (NFU)

El inadecuado manejo de neumáticos usados y la disposición final ha llegado a representar grandes problemas ambientales, debido que son copiadas en rellenos sanitarios, haciendo este proceso costoso.

Mora y Mesías (2013) afirman: “Su acopio en grandes cantidades provoca problemas estéticos y riesgo de incendios difíciles de extinguir” (p.s/n).

Mediante un proceso idóneo los neumáticos son utilizados como combustible en hornos los cuales no cuentan con la tecnología de control adecuada, y genera graves problemas de emisiones contaminantes a la atmósfera. Por otro lado, las llantas usadas almacenadas se convierten en un lugar favorable para la reproducción de diferentes vectores que ponen en riesgo la salud de la población. (OPS, 2002, p.10)

2.3.4. EMISIONES ATMOSFÉRICAS EMITIDAS POR LA INCINERACIÓN DE NEUMÁTICOS USADOS

La incineración de neumáticos produce humo negro y denso, el cual deteriora la visibilidad y contamina la tierra. Las emisiones que genera la quema de neumáticos al aire libre incluyen contaminantes y partículas tales como: monóxido de carbono (CO), dióxido de sulfuro (SO_x), óxido nitroso (NO_x) y compuestos volátiles orgánicos (CVO). Otros residuos peligrosos son: Hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAH), cloruro de hidrogeno, benceno, policlorados, dioxina, bifenilos policlorados y metales como: el níquel, cadmio, arsénico, mercurio, zinc, cromo y vanadio, con serias consecuencias para la salud pública. (Babativa, 2017)

2.3.5. EVALUACIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS GENERADAS POR LA MEZCLA DE ASFALTO Y POLVO DE CAUCHO

En un estudio realizado por Lujan (s,f) determinó que se genera hollín (Negro de Humo), Sustancias Solubles en Hexano, Hidrocarburos y Anhídrido Sulfuroso debido a la quema de neumático; por tal razón durante esta investigación se evaluaron estos parámetros, con el propósito de verificar la calidad del aire ambiente de la región a diferentes metros de la quema del neumático. Los resultados obtenidos durante esta investigación se detallan a continuación:

Cuadro 2. 1 Evaluación de emisiones atmosféricas generadas por la mezcla de asfalto y polvo de caucho.

Contaminante	a 30 mts	a 50 mts	a 80 mts	Ref.	Norma
Hollín por reflectometría (ugr / m3)	9.000	3.000	500	20	150 ^(*)
Sustancias Solubles en Hexano (ugr/m3)	7.500	1.900	300	3	7 ^(**)
3-4 Benzopireno + Dibenzo Antraceno (ugr/m3)	2.950	700	50	--	--
Anhidrido Sulfuroso SO2 (ugr/m3)	1.500	800	600	15	500 ^(*)
Monometil Nitrosamina análisis cualitativo	-----presencia-----			ausencia	--

Fuente: Luján,sf

Los resultados de los parámetros analizados, demuestran que entre más cerca se encuentre la quema de un neumático mayor es la generación del contaminante, de tal modo se muestran que los resultados obtenidos se manifiestan fuera de los rangos establecidos en la norma de dicho país (Argentina), ya que la quema de estos neumáticos se realiza de manera incontrolada.

En un ensayo de emisiones producidas en la incineración de combustible líquidos obtenidos en el proceso de pirolisis de caucho vulcanizado, se evidencia que mediante

el proceso de combustión para la obtención del producto se generan gases como: óxidos de nitrógeno (NOx), Monóxido de Nitrógeno (NO) y Monóxido de Carbono (CO). Para dicho estudio se tomó como muestra 15 gramos de polvo de caucho, los cuales se sometieron al proceso de pirolisis completa para la obtención del combustible líquido. (Matute y Ramos, 2015)

Mediante el análisis de emisiones se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 2. 2 Emisiones de gases para la investigación

Parámetros	Resultados	Límites permisibles
NOx	58	-
NO	111	150
CO	1609	-

Fuente: Matute y Ramos, 2015

En base al análisis de emisiones del combustible obtenido del proceso de pirolisis y en comparación con la Normativa Ecuatoriana para Fuentes Fijas de Combustión, se evidencia que la emisión de NO cumple con los rangos permisibles establecidos, mientras que para las emisiones de CO y NOx, no existe un límite según establece en la norma ambiental vigente del Ecuador (Matute y Ramos, 2015).

Por otro lado, en un estudio de caso realizado por Calahorra *et al.*, 2016 se determinó “El análisis de ciclo de vida de las mezclas asfálticas con y sin caucho- Bogotá. Se demuestra que la utilización del polvo de caucho en mezclas asfálticas disminuye la cantidad de kgCO₂/kg emitidos durante el proceso” (p. 1).

Para realizar el cálculo de las emisiones, se consideraron los siguientes puntos:

Extracción y procesamiento: La Generación de kgCO₂/kg del material utilizado, se estableció de acuerdo a la información contenida en el “Proyecto de Ingeniería Definitivo Ruta 60 CH. Sector 1. Los Andes Ruta 5 Norte, tramo 2: Variante San Felipe – Panquehue”, suministrado por la empresa proyectista de la vía. (Calahorra *et al.*, 2016)

Transporte: La Generación de kgCO₂/kg de este ítem se calculó de acuerdo a la distancia recorrida por los camiones que transportaban los materiales. La distancia recorrida comprendía de 85 km en el caso del árido, 90 km en el caso del betún y de 98,3 km el caso del caucho.

Construcción: Para el cálculo de las emisiones de CO₂ de la fase de construcción de la carretera, se consideraron 175.000 m² para ambos escenarios

Cuadro 2. 3 Estimación de emisiones de gases en kgCO₂

Etapas del ciclo de vida	Escenario 0 (sin NFU)	Escenario 1 (con NFU)	Diferencia
Extracción y procesamiento	14.237.071	14.048.800	-188.271
Transporte	36.571	34.992	-1.579
Construcción	2.429.611	2.421.063	-8.548
Total emisiones en kgCO ₂	16.703.254	16.506.623	-196.631

Fuente: Calahorra et al., 2016

En el escenario 0 no se utilizó neumáticos fuera de uso, mientras que en el escenario 1 se utilizó el polvo de neumático de los NFU como material de la mezcla asfáltica, demostrando de esta manera que en cada una de las actividades para la obtención de neumáticos fuera de uso se disminuye la cantidad de kgCO₂, teniendo así una reducción porcentual en cuanto a la generación de CO₂ en kg de 1,18% del escenario 0 frente al escenario 1, sin considerar dentro de la opción 0, las emisiones de la quema de los NFU, que es lo que usualmente se hace al final de la vida útil del neumático.

2.3.6. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de

los últimos años en todo el mundo; ya que un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado (medio barril de petróleo crudo para fabricar un neumático de camión) y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte, generalmente, de vertederos incontrolados. (Castro, 2007, p.2)

El principal problema por la generación de llantas usadas es el acopio final, debido a que la mayoría son depositados en rellenos sanitarios; poniendo en riesgo a generar incendios y de transmitir enfermedades por los roedores e insectos que puedan habitar en estos. (Ramírez, 2006)

Los neumáticos originan residuos producidos en gran cantidad. Con el fin de llevar a cabo una correcta gestión de los mismos, es posible aplicar el principio jerárquico 3RVE (reducción, reutilización, reciclado, valorización y eliminación, en este orden). El conjunto de las actuaciones previstas en la normativa en vigor, están orientadas a conseguir una serie de objetivos jerarquizados. (Aguado y Gonzales, 2010, p.26)

- a) Aumentar el rendimiento kilométrico de los neumáticos y por tanto su duración media en un 5 %.
- b) Promover en todos los casos que sea posible el recauchutado de los neumáticos usados. Como mínimo un 20% del tonelaje total.
- c) Reciclaje de los Neumáticos Fuera de Uso mediante la recuperación de sus componentes: Caucho vulcanizado en forma de gránulos y de polvo y acero. Valorización mediante recuperación energética. (Aguado y Gonzales, 2010, p.26)

Cardona y Sánchez (2011) menciona: “El reciclaje es un proceso físico-químico o mecánico que consiste en someter un material desechado a un tratamiento, con la finalidad de obtener una materia prima o un nuevo producto” (p.9).

El caucho granulado reciclado de neumáticos se obtiene a través de la trituración de éstos y la separación de los componentes que los constituyen, principalmente el acero y las fibras textiles. La trituración del neumático se realiza principalmente por dos métodos, uno a temperatura ambiente y otro criogénico. El primero de ellos, consiste en un proceso puramente mecánico de trituración, donde los distintos tamaños de los granos de caucho dependen de las etapas a las que se haya sometido. En segundo lugar, en la trituración criogénica, los neumáticos se someten a baja temperatura, con lo cual el caucho se vuelve frágil y fácil de destrozar en pequeñas partículas. A través de los procesos nombrados, se obtiene migas de caucho con determinadas granulometrías para distintas aplicaciones. (Olivares,2016, p.6)

2.3.6.1. REDUCCIÓN DE NFU

La reducción de la generación de neumáticos usados es posible mejorando las prestaciones de los mismos con el fin de aumentar su vida útil. Los fabricantes de neumáticos deben alargar la vida media de los neumáticos a través de mejoras tecnológicas y de diseño que permiten además un menor consumo en la conducción. (Cano *et al.*,2008, p.26)

El usuario puede igualmente contribuir a aumentar la vida del mismo mediante un mantenimiento adecuado. Los usuarios, apoyados con campañas de sensibilización que deberían financiar los fabricantes, deberían contribuir a alargar la vida del neumático. Así mismo, deben desarrollarse proyectos de investigación y desarrollo para eliminar tóxicos en la composición del neumático. (Aguado y Gonzales, 2010, p.26)

2.3.6.2. REUTILIZACIÓN: RECAUCHUTADO DE NFU

Según Bertalot (2017) “El recauchutado es un proceso que permite reutilizar la carcasa del neumático, al colocar una nueva banda de rodadura, siempre que conserve las cualidades que garanticen su uso” (p.s/n).

Por otro lado, el Dpto. Del Medio Ambiente de Aragón (2012) indica que “el proceso de recauchutado consiste en sustituir las formas viejas del neumático y reconstruir su estructura original convirtiéndolo en un neumático de características similares al nuevo. Este proceso es técnicamente muy complejo” (p.15).

El proceso de recauchutado es técnicamente muy complejo. Atendiendo a la superficie renovada se distinguen tres sistemas:

- **Recauchutado integral**, en el cual se renueva la banda de rodamiento y los flancos (de talón a talón).
- **Recauchutado semi-integral**, en el que se renueva la banda de rodamiento y parte del flanco.
- **Recauchutado sólo de la banda de rodamiento.**

Atendiendo al sistema de adhesión de las nuevas gomas hay dos sistemas:

- **Recauchutados en caliente**, en el cual el proceso de vulcanización se realiza en prensas a una temperatura comprendida entre 150- 160°C.
- **Recauchutados en frío**, en el cual la banda de rodamiento está previamente vulcanizada y se adhiere mediante una goma (llamada unión), vulcanizándose en autoclaves a una temperatura entre 98°C y 125°C ç

El proceso puede aplicarse una vez para los neumáticos de automóvil, dos veces para los de camioneta y de tres a seis veces para los de camión. (Aguado y Gonzales, 2010, p.27)

2.3.6.3. TIPOS DE RECICLADO DE LOS NFU

TERMÓLISIS

Se trata de un sistema en el que se somete a los materiales de residuos de neumáticos a un calentamiento en un medio en el que no existe oxígeno. Las altas temperaturas y la ausencia de oxígeno tienen el efecto de destruir los enlaces químicos. Aparecen entonces cadenas de hidrocarburos. Es la forma de obtener, de nuevo, los compuestos originales del neumático, por lo que es el método que consigue la recuperación total de los componentes del neumático. Se obtienen metales, carbones e hidrocarburos gaseosos, que pueden volver a las cadenas industriales, ya sea de producción de neumáticos u a otras actividades. (Aguado y Gonzales, 2010, p.28)

Ramos *et al.*, (2002) menciona que: “mediante el proceso de la Termólisis, se obtienen de nuevo los compuestos originales del neumático, que pueden volver como materia prima a las industrias” (p.12).

TRITURACIÓN MECÁNICA

Hernández, (2013) señala que: “es un proceso puramente mecánico y por tanto los productos resultantes son de alta calidad limpios de todo tipo de impurezas, lo que facilita la utilización de estos materiales en nuevos procesos y aplicaciones”. (p.2)

Mientras que los autores Aguado y Gonzales, (2010) señalan: “que La trituración con sistemas mecánicos es, casi siempre, el paso previo en los diferentes métodos de recuperación y rentabilización de los residuos de neumáticos”. (p.10)

TRITURACIÓN CRIOGÉNICA

El tratamiento criogénico utiliza nitrógeno líquido para enfriar el neumático hasta temperaturas de entre -100° C a -150° C, con lo cual el caucho entra en estado

vítreo, volviéndose muy frágil y en consecuencia más fácil de triturar. La trituración, bien mecánica o criogénica, genera trozos, partículas o polvo de diferentes tamaños, según las necesidades y el destino que se prevea para los mismos. (Aguado y Gonzales, 2010, p.28)

USOS TRAS EL RECICLADO

Una aplicación realmente interesante para caucho granulado es la aplicación como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras. El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso. (Lacamara, 2014, p.s/n)

2.3.6.4. VALORACIÓN ENERGÉTICA DE NFU

La valoración energética, a diferencia de la incineración, tiene como objetivo extraer el poder calorífico de los residuos con el fin de sustituir parte de los combustibles convencionales. La valorización energética presenta, por tanto, dos ventajas: por un lado, se consigue disminuir la cantidad de residuos, y por otro, permite reducir el consumo de combustibles fósiles. Es evidente, que las industrias que mayor interés presentan por la utilización de este tipo de residuos, como fuente energética, son aquellas con altos consumos de energía tales como las industrias pastero- papeleras, de cemento y las centrales térmicas. (Según Vázquez, 2017, p.49)

Coincidiendo quien menciona que los neumáticos fuera de uso tienen un elevado poder calorífico que pueden ser utilizados como combustible. Una alternativa de aprovechamiento de este residuo se basa en su empleo como combustible de sustitución, es decir, sustituyendo a combustibles fósiles tradicionales, en la industria del cemento. (López *et al.*, 2012, p.77)

El poder calorífico de los neumáticos es del orden de 35 MJ/Kg, mientras que la madera y el carbón tienen poderes caloríficos de 22 MJ/Kg y 25 MJ/Kg, respectivamente. Por consiguiente, puede afirmarse que se trata de un excelente combustible. Cada neumático utilizado como combustible permite ahorrar entre 10-12 Kg de carbón o bien, 7.51 Kg de petróleo. (Vázquez, 2017, p.45)

Para finalizar con el autor citado anteriormente, menciona que estas fuentes energéticas convencionales (carbón) están sometidas a una moratoria en Europa por motivos relacionados con el vertido de humos a la atmósfera y el riesgo de toxicidad de estos, que en España vence en el año 2014, por lo que habrá que proceder a su reconversión de forma controlada y paulatina. (p.47)

2.3.6.5. ELIMINACIÓN DE NFU

Las principales técnicas de eliminación son el enterramiento sanitario y la incineración. La incineración es un proceso por el que se produce la combustión de los materiales orgánicos del neumático a altas temperaturas en hornos con materiales refractarios de alta calidad. Genera calor que puede ser usado como energía, ya que se trata de un proceso exotérmico (valorización energética). (Navarrete, 2009, p.27)

Así mismo indica que:

Con este método, los productos contaminantes que se producen en la combustión son muy perjudiciales para la salud humana, entre ellos el monóxido

de carbono - Xileno Hollín - óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono -óxidos de zinc Benceno - fenoles, dióxido de azufre - óxidos de plomo, tolueno. Además, el hollín contiene cantidades importantes de hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente cancerígenos. También tiene el peligro de que muchos de estos compuestos son solubles en el agua, por lo que pasan a la cadena trófica y de ahí a los seres humanos. (Navarrete, 2009, p.28)

2.3.7. PARÁMETROS A TENER EN CUENTA PARA EL USO DE NFU PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las técnicas para la recuperación de los neumáticos desechados son variadas alrededor del mundo. Se utilizan distintos métodos donde lo que cambia mayormente son los actores, identificando principalmente a tres grupos importantes: los productores de neumáticos, el gobierno y empresas independientes que utilizan estos residuos como insumos en su cadena productiva. Cada uno de ellos es movilizado por propio interés o bien por regulaciones originarias del país donde operan. En el caso del gobierno, su incentivo es la preservación del medio ambiente mediante un marco regulatorio que lo impulsa a estas acciones. (Zarini, 2011)

De acuerdo al portal web mundial Statista, muestra los mayores fabricantes mundiales de neumáticos según los ingresos generados por las ventas de neumáticos nuevos en 2016, en miles de millones de dólares estadounidenses. Bridgestone es la empresa de llantas más grande del mundo por noveno año consecutivo. Este nombramiento otorgado a Bridgestone proviene por registrar \$25.8 mil millones de dólares en las ventas del año pasado. Por debajo del fabricante japonés están ubicados Michelin Group y Goodyear Tire al alcanzar \$21.7 mil millones de dólares y \$14.8 mil millones de dólares, respectivamente. (Statista Group – SG, 2016)

También se señala lo siguiente con relación a Bridgestone :

Que entiende que el ciclo de vida de un neumático enmarca la sostenibilidad del modelo de negocio bajo el cual opera la empresa. Bridgestone, en su Informe de Sostenibilidad publicado en 2016, desglosa siete etapas de su Modelo de Negocio enfocado en la fabricación de llantas, mediante procesos específicos que requieren del cumplimiento de la normatividad aplicable, impulsando la rentabilidad y la eficacia, con el objetivo de reducir la huella ambiental y retribuye beneficios sociales específicos. (Portal Expok, 2016, p.s/n)

Haciendo referencia con lo mencionado anteriormente, un ciclo socialmente responsable de fabricación y reutilización de una llanta se compone por las siguientes etapas:

- a) Desarrollo e innovación: etapa en la cual se caracteriza por garantizar la calidad y seguridad en los neumáticos
- b) Materias primas: proceso en el que por ejemplo se establecen los procesos de compra basados en la responsabilidad social corporativa, en el cual se sensibiliza a proveedores en temas ambientales, éticos, de Derechos Humanos y prácticas laborales, entre otros.
- c) Fabricación: Reduce el consumo de energía, al utilizar combustibles menos contaminantes, reduce consumo de agua y recicla hasta el 100% de los materiales utilizados
- d) Distribución logística: proceso en el cual se reduce la huella de carbono con procesos de distribución estratégico y efectivos
- e) Venta: provee productos y servicios de calidad superior, manteniendo canales de comunicación efectivos con retroalimentación sobre los productos y servicios.
- f) Utilización: Sensibiliza a la población mediante diversos programas que fomenten un uso funcional y amigable con el ambiente de los neumáticos
- g) Gestión final de los residuos: Proceso en el cual se caracteriza por recuperar neumáticos usados a través de programas como “Llantaton, que solo en

2015 permitió la recolección de 500 toneladas de llantas de desecho para la planta en Morelos, México.

De acuerdo a los datos de la Cámara Nacional de la Industria Hulera (CNIH), en México se desechan 28 millones de neumáticos al año. (Portal Expok, 2016, p.s/n)

La iniciativa de Bridgestone con el “Llantaton” tiene como objetivo principal fomentar el consumo responsable de llantas con el reciclaje del material luego de terminar su vida útil, evitar que obstruyan drenajes, caladeras, parques y ríos, disminuir los incendios por almacenamiento de llantas y prevenir fuentes de infección por acumulación de agua en el neumático. El “Llantaton” espera tener un acumulado de 128 toneladas de neumáticos, y superar el record del año pasada al lograr recolectar 13 855 llantas, aproximadamente 127 toneladas. (Universal, 2017).

Varias Localidades en México detallan los beneficios de esta minga de llantas, donde precisamente el titular de la Secretaría de Desarrollo Sustentable, destacó que ya no se contamina el agua, el suelo o siendo hábitat para la reproducción del mosquito transmisor del dengue, zika o chikungunya; servirán como combustible alterno en la industria. (Notimex, 2017).

También varias son las empresas que independientes que utilizan los NEUF's en sus cadenas productivas. La empresa Granutec dedicada al reciclaje de llantas para fabricar impermeabilizante ecológica. Este es un ejemplo claro de una empresa independiente que en sus inicios empezó reciclando llantas de camión, camioneta y los neumáticos usados en minería para elaborar suela de los huaraches. Hoy en día esta empresa fabrica autopartes, impermeabilizantes ecológicos y está trabajando en el desarrollo de otros productos como pisos de tartán que se usan para pistas de carreras o áreas de juegos para niños. (Cantera, 2018)

Otra de estas empresas independientes que apuestan por el reciclaje de llantas es Trisol, produce materia prima para la fabricación de impermeabilizantes, carreteras, caminos de acceso, zapatos, topes, pasto sintético, entre otros; además, es distribuidor de pisos de caucho y pisos para áreas recreativas. El proceso para obtener la materia prima del neumático es totalmente mecánico y no requiere del uso de procesos químicos o térmicos, ya que consiste en la trituración de las llantas para separar sus tres componentes principales: caucho, fibra textil y acero (Alcantara, 2015).

2.3.8. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS NEUMÁTICOS

En la actualidad, la mayoría de los neumáticos de vehículos de pasajeros como los de camión son radiales, por lo que están compuestos de una banda de rodamiento elástica, una cintura prácticamente inextensible y una estructura de arcos radialmente orientada, sobre una membrana inflada y sobre unos aros también inextensibles que sirven de enganche a otro elemento rígido, que es la llanta. (Castro, 2008, p.46)

Así mismo Castro, (2007) señala también que: “existe otro tipo de neumáticos llamados diagonales, utilizados principalmente en camiones” (p.33).

El mismo autor cita que la complejidad de la forma y de las funciones que cada parte del neumático tiene que cumplir se traduce también en una complejidad de los materiales que lo componen. El principal componente del neumático es el caucho: casi la mitad de su peso. La fabricación de neumáticos concentra un gran porcentaje de la industria del caucho constituyendo el 60 % de la producción anual del mismo. (Castro, 2008, p.38)

Cuattrocchio *et al.* (2006) establece: “Los elastómeros o cauchos son materiales poliméricos cuyas dimensiones pueden variar según sea el tipo de esfuerzo al que son sometidos, volviendo a su forma cuando el esfuerzo se retira” (p.55).

De acuerdo con Quezada (2001), menciona la siguiente composición:

Cuadro 2. 4 Composiciones física de los neumáticos fuera de uso

Caucho natural	14%
Caucho sintético	27%
Negro de humo	28%
Acero	14% – 15%
Fibra textil, óxidos, suavizantes, antioxidantes, etc.	16% - 17%
Peso Promedio	8.6 kg
Volumen	0.06 m3

Fuente: Quezada, 2001

De acuerdo al análisis químico presentado en el trabajo de Navarrete (2009) se presenta la siguiente tabla:

Cuadro 2. 5 Composición química de los neumáticos fuera de uso

Elemento	Porcentaje
Carbono	70
Hidrógeno	7
Azufre	1-3
Cloro	0.2 – 0.6
Hierro	15
Óxido de Zinc	2
Dióxido de Silicio	5
	Concentración
Cromo	97 ppm
Níquel	77 ppm
Plomo	60 – 760 ppm
Cadmio	5 – 10 ppm
Talio	0.2 – 0.3 ppm

Fuente: Navarrete, 2009.

2.3.9. TIPOS DE PAVIMENTOS

Una estructura de pavimento es un sistema compuesto por capas de materiales cuyas propiedades mecánicas y espesores han sido especificados y dimensionados de manera que las cargas aplicadas por el tráfico sean reducidas y transmitidas a la sub-rasante. Adicionalmente, la estructura debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales circundantes. (Morales *et al.*, 2009,p.62)

Morales *et al.*, (2009) proponen que: “estructural mente hablando existen dos tipos de pavimentos, los flexibles y los rígidos; estos se diferencian por la manera en que transmiten las cargas hacia la sub-rasante” (p.70).

Sin embargo, Zúñiga, (2015) menciona: “Existen tres tipos de pavimentos denominados como rígidos, flexibles y semi-flexibles” (p.s/n).

La construcción de pavimentos rígidos y flexibles genera desarrollo social e impacto económico/ambiental en su concepción, desarrollo y operación posterior. Su construcción requiere de materiales a bajo costo, alta disponibilidad y total aprovechamiento, así como de propiedades que garanticen el cumplimiento mínimo de durabilidad y costos racionales de mantenimiento. Conviene obtener y usar materiales de considerada abundancia y que para su procesamiento requieran de una tecnología limpia y tradicional, a fin de que el impacto ambiental sea el más bajo posible. (Santos, 2017, p.9)

2.3.9.1 PAVIMENTOS RÍGIDOS

Sobre los pavimentos rígidos los siguientes autores mencionan:

Que los pavimentos rígidos se caracterizan por poseer un alto módulo de elasticidad, que permite que los esfuerzos transmitidos se reduzcan y se distribuya en un área extensa, provocando deflexiones pequeñas. Son aquellos

cuya capa de rodadura consiste en una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una capa de base o sub-base. Debido a lo anterior este tipo de pavimento presenta un desempeño satisfactorio, incluso en condiciones de baja capacidad soporte de las capas subyacentes. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres grupos:

- Losa de Concreto Hidráulico Simple
- Losa de Concreto Hidráulico Reforzado
- Losa de Concreto Hidráulico Reforzado Continuo

Todos estos pavimentos garantizan una larga vida útil. (Morales *et al.*,2009, p.65)

2.3.9.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Castaño *et al.*, (2009) mencionan “Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra” (p.42).

Por otro lado también se hace referencia lo que a continuación se explica:

Los pavimentos flexibles distribuyen los esfuerzos aplicados en áreas pequeñas debido a su menor rigidez, por lo que tienden a deformarse y a recuperar su condición una vez que la carga es retirada. Este tipo de pavimentos están compuestos por una capa de rodamiento bituminosa, apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la sub-base. Existen diferentes tipos de asfaltos y por consiguiente, existen varias formas de construir una capa de rodamiento bituminosa. (Morales *et al.*,2009, p.63)

2.3.10. APLICACIONES IMPLANTADAS

2.3.10.1. PAVIMENTOS DEPORTIVOS

Varios autores exponen el siguiente criterio:

En el momento de proyectar un pavimento deportivo se deben de tener en cuenta factores de seguridad relacionados con la interacción deportista-superficie como la absorción de impactos, la deformación vertical y la fricción, así como en deportes en los que interviene un balón se tendría que considerar la interacción balón-pavimento, como el bote vertical del balón, la rodadura del balón y el bote angular del mismo. (Cano, Cerezo y Urbina, 2007,p.10)

Los mismos autores manifiestan lo siguiente:

Basándose en estos principios han ido apareciendo en el mercado pavimentos sintéticos adaptados en muchos casos a cada deporte en particular y donde las partículas de caucho procedentes de la trituración de neumáticos usados juegan un papel importante como material básico con excelentes prestaciones. (Cano, Cerezo y Urbina, 2007,p.12)

2.3.10.2. PISTAS MULTIUSO

Las pistas multiuso deben cumplir con características generales que deben de cumplir los pavimentos deportivos multiuso son elasticidad, resistencia al deslizamiento y durabilidad. La elasticidad permite que el pavimento juegue un papel importante absorbiendo parte de la energía que el deportista transmite en sus impactos con el pavimento, evitando así lesiones en sus articulaciones y en sus caídas.

Lo recomendable es una absorción de la energía al impacto de entre un 15 y un 20%, para la práctica de deporte sin riesgo a sufrir lesiones; esta absorción sólo se puede conseguir mediante la utilización de suelos elásticos, siendo los fabricados a partir de gránulos aglomerados de NFU's los más económicos y los que mejor se comportan. (Amengual, 2014, p.34)

2.3.10.3. PISTA DE TENIS

La práctica del tenis de alta competición es especialmente sensible al tipo de pavimento. El sistema de superficie artificial más aceptado es aquel que está realizado sobre una infraestructura flexible, acabada con una pavimentación asfáltica sobre la que se aplican una serie de capas finas, parte de las cuales tienen como componente principal polvo de caucho procedente de la trituración de neumáticos y que utilizan como aglomerantes resinas acrílicas en emulsión. (Aguado y Gonzales, 2010, p.17)

Así mismo el autor antes citado manifiesta que:

La combinación de las capas con contenido de caucho y de las capas finales en color con un alto contenido en cargas minerales, permiten realizar revestimientos cómodos para el jugador y donde el bote de la pelota se ajusta al gusto del practicante. (Aguado y Gonzales, 2010, p.17)

2.3.10.4. CAMPOS DE HIERBA ARTIFICIAL

El autor hace mención hacia los deportes como:

El rugby, el fútbol y el fútbol americano, ya se vienen practicando sobre superficies de hierba artificial. La hierba artificial consiste en una moqueta cuyas fibras sintéticas imitan a la hierba natural. Entre la base asfáltica y la moqueta se coloca una base elástica colocada "in situ" a base de gránulos de caucho

aglomerados con poliuretano de unos 20 a 30 mm de espesor para dotar a la superficie de una cierta elasticidad. (Amengual, 2014, p.36)

2.3.10.5. PAVIMENTOS DE SEGURIDAD

Para el autor considera que los pavimentos se utilizan en los siguientes lugares:

En parques infantiles, guarderías y residencias de ancianos, con la finalidad de evitar posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Se presenta en forma de baldosas prefabricadas o se realizan in situ y su composición es a base de gránulos de caucho aglomerados con resinas de poliuretano. (Sánchez, 2011, p.s/n)

Pero para este autor considera el pavimento como:

De seguridad para evitar las posibles lesiones por caídas al resultar un pavimento elástico. Una variante de los pavimentos de seguridad prefabricados y de aplicación en la seguridad vial en carreteras es el protector de guarda raíles actualmente en fase de desarrollo, modelo patentado en España, de fácil instalación y económico y que puede evitar lesiones por impacto en las caídas de motoristas y ciclistas. (Cano *et al.*, 2007,p.14)

2.3.10.6. AISLAMIENTO ACÚSTICO Y CONTRA RUIDO DE IMPACTO

En este caso indican que:

La reducción de la transmisión de ruido aéreo y de impacto en los muros y en los forjados de las viviendas es una de las prioridades que se plantea cualquier arquitecto, adquiriendo especial importancia en edificios urbanos donde los ruidos externos son cada vez mayores y de origen más diverso. El aislamiento al ruido se consigue por diversos métodos y entre los más eficaces se sitúan los

materiales compuestos por granulados de caucho que se colocan adheridos entre los ladrillos o en el suelo por debajo del pavimento. (Cano *et al.*,2007, p.16)

2.3.11. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS – MÉTODO MARSHALL Y SUPERPAVE

Los autores destacan lo siguiente:

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinados en proporciones exactas. Las proporciones relativas de estos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla, eventualmente, el desempeño de la misma como pavimento terminado. Existen varios métodos de diseño comúnmente utilizados para determinar las proporciones apropiadas de agregado y asfalto en una mezcla. Dentro de estos métodos se encuentran el Método de diseño de Marshall y el método de diseño de Superpave. (Jiménez, Sibaja y Molina, 2009,p.20)

Así mismo el siguiente autor expone su criterio sobre otro método de evaluación de pavimentos:

El método de diseño de Superpave, es un nuevo sistema llamado Superior Performing Asphalt Pavement. Representa una tecnología de tal manera provista que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral, desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfaltos) y su interacción cuando están mezclados. (p. Garnica *et al.*,2004,p.30)

A continuación, se detallará en que consiste el método de Marshall, el cual será utilizado en la siguiente investigación:

Para Terán, (2015) “el método Marshall, es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor. El método modificado se desarrolló para tamaños máximo arriba de 38 mm (1.5”)” (p.26).

El autor considera lo siguiente sobre el método Marshall:

Está pensado para diseño en laboratorio y control de campo de mezclas asfálticas en caliente con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar. (Garnica *et al.*, (2004, p.41)

Para Burbano, (2012). “El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados” (p.17).

De acuerdo a Zuñiga, (2015) considera que: “El método provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento” (p.s/n).

También se manifiesta lo siguiente sobre el método Marshall:

El método de Marshall, como se presenta, solo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que utilizan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración, y que contienen agregados con tamaños máximos de 25 mm o menos. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de penetración. (Jiménez *et al.*, 2009, p.25)

Una muestra de mezcla de asfáltica de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas pueden tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

Las mismas que determinarán cada una de las propiedades mencionadas. (Garnica *et al.*,2004, p.35)

Cuadro 2. 6 Criterio de evaluación para el diseño de mezclas asfálticas

Método Marshall	Tráfico ligero		Tráfico medio		Tráfico pesado	
	Carpeta y base		carpeta y base		carpeta y base	
Criterio de mezcla	Min	Máx	Min	Máx	Min	Máx
Compactación, número de golpes en cada uno de los especímenes	35		50		75	
Estabilidad, (N) (lb)	3336		5338		8006	
	750	----	1200	----	1800	----
Flujo, (0.25 mm) (0.01 in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de vacíos en los agregados minerales	Ver Tabla 2.2					
Porcentaje de vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

Fuente: Garnica *et al.* (2004) y del MTOP (2002)

Cuadro 2. 7 Criterios MARSHALL

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		50	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Fuente: Garnica *et al.* (2004) y del MTOP (2002)

Cuadro 2. 8 Mínimo de porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM)

Máximo tamaño de partícula nominal		Porcentaje mínimo VMA		
		Porcentaje diseño vacíos de aire		
mm	in	3.0	4.0	5.0
1.18	No.16	21.5	22.5	23.5
2.36	No.8	19.0	20.0	21.0
4.75	No.6	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8.	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2.	13.0	14.0	15.0
19	3/4.	12.0	13.0	14.0
25	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0

Fuente: Garnica *et al.* (2004) y el MTOP (2002).

Cuadro 2. 9 Tipo de mezcla y Mínimo de porcentaje de vacíos en agregados minerales (VAM)

Tipo de Mezcla	VAM, Mínimo (%)
A	16
B	15
C, D	14
E	13

Fuente:Garnica *et al.* (2004) y el MTOP (2002)

Para finalizar con lo citado anteriormente se menciona que:

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son, diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad del pavimento de mezclas en caliente, estas incluyen:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Trabajabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento

Que de acuerdo a sus resultados se podrá aceptar o rechazar las mismas. (Garnica *et al.*, 2004, p.53)

2.3.12. CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS

2.3.12.1. DENSIDAD DE LA MEZCLA

Según Miro (2006) “La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario. La densidad es una característica muy importante para el supervisor, ya que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero” (p.8).

Durante las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cubico (kg/m^3) o libras por pie cubico (lb/ft^3). La densidad obtenida en el laboratorio se

convierte en la densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que muy rara vez la compactación *in situ* logra densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio. (Miro, 2006, p.10)

2.3.12.2. VACÍOS DE AIRE

Se definen a los vacíos de aire como:

Espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico. (Garzón y Yanchar, 2013, p.15)

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menos va a ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudaciones de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. (Garzón y Yanchar, 2013, p.18)

Para finalizar citan los autores que la densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren,

usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible de vacíos en el sitio; preferiblemente menos del 8 por ciento. (Garzón y Yanca, 2013, p.20)

2.3.12.3. VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL

El Instituto Nacional de Vías Unicauca, (s.f) refiere que “la norma INV. E – 799 – 07, los vacíos en el agregado mineral (VAM) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto” (p.63).

Prosiguiendo con el mismo

Los VAM representan el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuando mayor sea el VAM, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. (Instituto Unicauca (s,f),2011, p.4)

Para finalizar menciona que para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VAM. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VAM por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y apariencia seca. Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VAM para economizar en el contenido de asfalto. (Unicauca (s,f), 2011, p. 4)

2.3.12.4. CONTENIDO DE ASFALTO

La cantidad de asfalto que se debe adicionar a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto. (Garzón y Yancho, 2013, p. 25)

Según el Instituto Nacional de Vidas señala:

La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerido para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas exigen menos asfaltos debido a que poseen menos área superficial total. (Unicauca, (s.f.), 2011 p.5)

2.3.12.5. FLUJO

Para el Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador MTOP, (2002): “el flujo mínimo debe ser 8 pulgadas/100 para todos los tipos de tráfico, tales como, muy pesado, pesado, medio y liviano. El valor de flujo, exigido para los tráficos muy pesado y pesado será 14 pulgadas/100, en cambio para los tráficos medios y livianos puede extenderse hasta el máximo de 16 pulg/100” (p.120).

2.3.13. PROPIEDADES DE LOS PAVIMENTOS

2.3.13.1. ESTABILIDAD

La capacidad de un asfalto para resistir el desplazamiento y deformación bajo las cargas de tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma

bajo las cargas repetitivas. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de los que exigen las condiciones de tránsito. La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. (Sandoval y Delgado, 2005, p.37)

2.3.13.2. DURABILIDAD

Los autores indican que la durabilidad es:

La habilidad para resistir la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto, y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos. Generalmente la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son, usando una mayor graduación densa de agregados resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad. (Reyes, Daza y Rondón, 2012,p.50)

Así mismo Monzón, (2013) hace referencia que “la mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas” (p.5).

De la misma manera Reyes *et al.*, (2012) concluye que: “en consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo de contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua” (p. 55).

2.3.13.3. IMPERMEABILIDAD

Los autores exponen los siguientes criterios sobre impermeabilidad:

Es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si está o no conectados y por el exceso que tienen a la superficie del pavimento. (Sanabria, Garzón y Maldonado, 2010, p.71)

2.3.13.4. TRABAJABILIDAD

Los autores manifiestan que la trabajabilidad está descrita por:

La facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Cuando la Trabajabilidad es mala puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo agregado, y/o granulometría. La Trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios. (Nikolaevna y Sanabria, 1997, p.130)

2.3.13.5. FLEXIBILIDAD

La capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse sin que se agriete a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan o se expanden. Una mezcla de granulometría

abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. (Fernández, 2016, p.11)

2.3.13.6. RESISTENCIA A LA FATIGA

Mencionan que:

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falla de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga. (Reyes y Camacho, 2006, p.126)

Miranda, (2010) expone que: “las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen que ver con el comportamiento y la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito” (p.3).

De la misma manera Reyes y Camacho, (2006) manifiestan que: “los pavimentos de gran espesor sobre subrasante resistentes no se flexionan tanto bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasante débiles” (p.128).

2.3.13.7. RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

De acuerdo a Segura, (2016) define la resistencia al deslizamiento como: “la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o

resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada” (p.14).

Así mismo los autores manifiestan lo siguiente:

Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento. La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y una velocidad de 64 km/h. (Gaete y Solminihaç, 2012, p.41)

Precisamente es por ello que se asume que una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con un tamaño máximo de 9,5 mm - 12,6 mm, además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento. (p. Gaete y Solminihaç , 2012, p.44)

2.3.14. CURVAS GRANULOMÉTRICAS

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica. (Garnica *et al.*, 2004, p.35)

Así mismo manifiesta que:

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), Las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. (Garnica *et al.*, 2004, p.38)

2.3.15. GRANULACIÓN POR VÍA SECA

Conocida como “granulación por doble compresión”, se produce mediante la agregación de los componentes en polvo sometidos a alta presión seguida de una fragmentación o troceado y posterior granulación mediante tamización para conseguir el tamaño de gránulo deseado. Las técnicas más empleadas son el briqueteado (slugging) y la compactación con rodillos. Esta vía se puede utilizar como alternativa a la vía húmeda cuando el fármaco que se va a granular es sensible a la humedad, a los líquidos de granulación, o no es estable a altas temperaturas de secado. Sus principales inconvenientes son que la mezcla debe presentar ciertas propiedades cohesivas, la formación de polvo y la baja reproducibilidad en las propiedades finales del granulado. (Ochoa, Igartua, Hernández y Gascon, 2006, p.40)

2.3.16. TECNOLOGÍAS EMERGENTES COMO ALTERNATIVAS AMBIENTALES

Rondón *et al.*, (2007) mencionan que: “en el mundo, la implementación de asfaltos modificados ha sido una técnica utilizada con la finalidad de mejorar las características que presentan las mezclas asfálticas convencionales cuando son sometidas a niveles elevados de tránsito y de gradientes de temperatura” (p.19).

De manera general, el concepto de desarrollo está asociado al aumento de bienestar individual y colectivo. Tradicionalmente éste ha sido medido a través de indicadores económicos y políticos ligados al proceso de mayor o menor

crecimiento económico y redistribución de la riqueza; asimismo, ha sido vinculado con el nivel de industrialización, lo que ha determinado una categorización en países "desarrollados" o "en vías de desarrollo". (Varea, Vargas y Barrezueta, 1995, p. s/n)

Prosiguiendo con el mismo autor, menciona que es importante destacar que el desarrollo sostenible no se refiere a un estado inmutable de la naturaleza y de los recursos naturales, pero sí incorpora una perspectiva de largo plazo en el manejo de los mismos, por lo que ya no se apunta a una "explotación" de los recursos naturales sino a un "manejo" de éstos; asimismo enfatiza en la necesidad de la solidaridad hacia las actuales y futuras generaciones y defiende la equidad intergeneracional. De otra parte, se defiende la necesidad de que la dirección de la inversión y del progreso científico tecnológico esté encaminados a la satisfacción de las necesidades presentes y futuras. (Varea, Vargas y Barrezueta, 1995, p. s/n)

Las reflexiones modernas en torno al problema ambiental, en busca de la disminución de impactos negativos sobre el medio ambiente, han generado la aparición de iniciativas nacionales e internacionales. En ellas se enmarca el principio general de la Producción más Limpia (P+L), la cual es una estrategia de gestión empresarial preventiva aplicada a productos, procesos y organización del trabajo, cuyo objetivo es minimizar emisiones y/o descargar en la fuente, reduciendo riesgos para la salud humana y ambiental, elevando simultáneamente la competitividad. De esta forma surgen las tecnologías limpias para viabilizar y desarrollar la filosofía (P+L). (Arroyave y Garcés, 2007, p.48)

Para finalizar citan que:

En relación al manejo sostenible de residuos sólidos existen tres grandes alternativas de tecnologías limpias para la industria en general, habiéndose

demostrado en la práctica que hay una clara jerarquización respecto del orden en que están deben aplicarse, de acuerdo a sus ventajas y desventajas. En orden de conveniencia es posible distinguir las siguientes alternativas:

- Reducción de residuos en el origen, que involucra cambios en los productos y cambios en los procesos productivos, que involucra sustitución de materias primas e insumos, cambios tecnológicos y la aplicación de buenas prácticas en la gestión de operaciones.
- Reutilización de materiales y residuos
- Tecnología de control, que se aplica al final del proceso y que comprende el tratamiento de los residuos y su disposición final.

La solución de los problemas ambientales debe ser buscada a través de la aplicación secuencial de las alternativas señaladas, en el mismo orden descrito. Las dos primeras alternativas pueden generar importantes beneficios para la industria, que se traducen en una mayor productividad y competitividad. En cambio, el tratamiento y disposición final de los residuos solo involucra costos. (Arroyave y Garcés, 2007, p.50)

Ante lo mencionado anteriormente nos adentramos en la tecnología que supone reutilizar y poner en marcha un proyecto donde se involucre el almacenamiento y reutilización de los polímeros del caucho y del pavimento asfáltico envejecido.

El almacenaje de estos neumáticos en los vertederos tampoco se queda corto, las montañas de neumáticos forman hábitats propicios para la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos, los cuales constituyen un problema añadido. La reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten por picadura fiebres y encefalitis, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza.

De ahí la importancia del método descubierto en México, este nuevo método revolucionario utiliza la catálisis a base de níquel que procesa el material de neumáticos fuera de uso, del que separa el azufre y recupera el polímero original del hule o caucho para reciclar y hacer nuevos neumáticos o utilizar sus partes. La técnica es descrita a continuación de acuerdo a Anónimo (2014) el cual menciona que “En el laboratorio hacemos lo opuesto a la vulcanización, se trata de ‘des vulcanizar’ o quitar el azufre al hule de las llantas para recuperar la materia prima lo más pura posible”. Es de esta forma que se obtienen los polímeros de caucho. Es uno de los métodos de reutilización menos utilizado a nivel industrial, se puede decir que este método es uno de los mayores avances en la lucha contra los residuos generados por los automóviles a nivel mundial. (Anónimo, 2014, p.27)

2.3.17. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

A los recursos que se requieren para colocar físicamente los elementos de construcción en el proyecto. Estos costos incluyen lo referido a materiales; mano de obra; maquinarias, equipos, instalaciones y herramientas; subcontratos y cualquier otro costo que no se identifica, de manera directa, con una determinada obra o contrato. En la producción de agregados y mezcla asfáltica, los materiales están representados básicamente por el granzón, el cemento, los agregados finos y gruesos (conocidos también como pétreos), las mezclas bituminosas, entre otros; que en la acumulación del costo de producción deberían considerarse como costos directos. (Cámara de Construcción de Quito CCQ, 2004, p.12)

Los costos de mano de obra, salario y cualquier otro gasto asociado a este concepto, están en función, por un lado, de la cantidad de especialistas que se requieren para la ejecución de los distintos trabajos ocasionados por un contrato y, por el otro, de la continua rotación, en su mayoría, del personal obrero; situación que ocurre por la misma naturaleza temporal de las obras, la

paralización de los trabajos (sobre todo cuando el cliente es el sector público), y la impredecible ubicación geográfica de todos los proyectos que ejecutará una misma empresa constructora. (Cámara de Construcción de Quito CCQ, 2004, p.12)

Los autores consideran lo siguiente:

Las maquinarias, equipos, instalaciones y herramientas dan soporte al proceso productivo y sus costos se dividen en dos grupos: a) cuando el activo es propiedad de la empresa, los costos están conformados por depreciación, pérdida de valor por el uso, el desuso y desgaste en las operaciones de producción, y los gastos de operación que se incurren de manera ordinaria (seguros, reparaciones y mantenimiento, combustibles y lubricantes, repuestos y partes menores, entre otros); b) cuando el activo es arrendado, el único costo que debería imputarse a la obra, sería el correspondiente al pago del alquiler. (Noguera y Rincón, 2008, p.23)

En cuanto a los subcontratos, como acuerdos firmados que hace el contratista con terceros especializados en un área determinada (subcontratista) para que realicen parte de la obra o instalaciones contempladas en el proyecto, generan costos de fácil imputación a las distintas obras, porque son establecidos por el subcontratista. Una vez analizados los diferentes elementos del costo, es necesario señalar que, para la acumulación y determinación de los costos de producción, hay que seleccionar, entre los diferentes sistemas (por órdenes de trabajo, por procesos y mixto), aquel o aquellos que se adapten a la naturaleza de las actividades que desarrolla la empresa. (Noguera y Rincón, 2008, p.27)

Así mismo considera que:

El sistema de costos por órdenes de trabajo, se emplea cuando la empresa fabrica a partir de las especificaciones suministradas por el cliente en cuanto a diseño, tiempo, material, calidad, y requerimientos en general. Los costos se

acumulan para cada orden de trabajo compuesta por productos individuales o pequeños lotes de productos. El sistema de costos por procesos, se utiliza cuando la empresa elabora productos homogéneos de manera continua. La acumulación del costo se hace por departamentos o centros de costos para un período determinado. En relación con el sistema de costos mixto (también llamado, de operaciones), se utiliza en las empresas que manufacturan productos diferentes con requerimientos de materiales distintos, pero con operaciones similares de procesamiento. (La Cámara de Construcción de Quito CCQ, 2004, p.20)

CAPITULO 3: METODOLOGÍA

3.1. UBICACIÓN

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de la Empresa Equitesa S.A., ubicada en la ciudad de Calceta, cabecera cantonal del cantón Bolívar, Provincia de Manabí – Ecuador, con las siguientes coordenadas obtenidas con GPS utilizando la proyección GPS 84 datum zona 17 S: Latitud Sur: $0^{\circ} 49'27.9''$, y $80^{\circ}10'27''$ Longitud Oeste, y una Altitud de 15 msnm, y coordenadas UTM: E= 0574819, N= 9890171, Z= 15 m.s.n.m

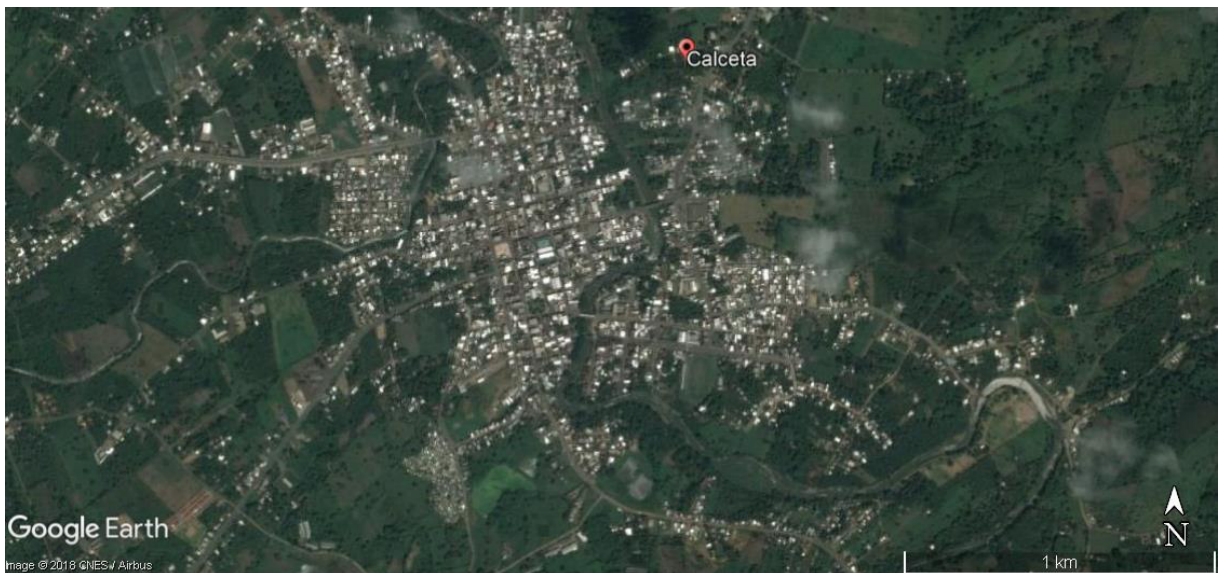


Figura 3.1 Ubicación geográfica del Cantón Bolívar – Ciudad de Calceta. Obtenida de google Earth Pro.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es de tipo explicativo, experimental teniendo como base trabajos de investigación pasados que han servido de fuente para el desarrollo de la misma.

3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO

La presente investigación se realizó durante el periodo Enero 2015 a junio del 2018 con una duración de 42 meses.

3.4. FACTORES EN ESTUDIO

- Granulométrica (**G**)
- Elastómero (**E**)

3.5. NIVELES DE LOS FACTORES

- Granulométrica (**G**)
 - Granulometría (**G1**)= Fina
 - Granulometría (**G2**)= Media
 - Granulometría (**G3**)= Gruesa
- Elastómero (**E**)
 - Polvo de caucho (**E1**)= 4%
 - Polvo de caucho (**E2**)= 8%
 - Polvo de caucho (**E3**)= 12%
 - Polvo de caucho (**E4**)= 16%

3.6. MATERIAL EXPERIMENTAL

- Pavimento asfáltico envejecido (PVE) al 50% de concentración

3.7. TRATAMIENTOS

Cuadro 3. 1 Tratamientos

Tratamientos	Código	Descripción
1	G1E1	Curva Granulométrica fina, con 4% de elastómero
2	G1E2	Curva Granulométrica fina, con 8% de elastómero

3	G1E3	Curva Granulométrica fina, con 12% de elastómero
4	G1E4	Curva Granulométrica fina, con 16% de elastómero
5	G2E1	Curva Granulométrica media, con 4% de elastómero
6	G2E2	Curva Granulométrica media, con 8% de elastómero
7	G2E3	Curva Granulométrica media, con 12% de elastómero
8	G2E4	Curva Granulométrica media, con 16% de elastómero
9	G3E1	Curva Granulométrica gruesa, con 4% de elastómero
10	G3E2	Curva Granulométrica gruesa, con 8% de elastómero
11	G3E3	Curva Granulométrica gruesa, con 12% de elastómero
12	G3E4	Curva Granulométrica gruesa, con 16% de elastómero
13	T0	Testigo absoluto

Fuente: El investigador ,(2018)

3.8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la realización de este trabajo se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA) en un arreglo bifactorial (GxE+1) con 13 tratamientos y 3 repeticiones donde (G) corresponde a la granulometría de áridos utilizados y (E) a elastómero, y un total de 39 unidades experimentales. Se utilizó el software InfoStat para determinar el coeficiente de variación del error (CV%), y en las variables donde se constató diferencias estadísticas se realizó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad del error.

Cuadro 3. 2 Esquema de análisis de varianza

Factor de variación	Grados de libertad
Total	38
Tratamientos	12
Repetición	2
Error experimental	24
Granulometría (G)	2
Elastómero (E)	3
G x E	6
Testigo	1

Fuente: El investigador, (2018)

3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.9.1. DOSIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS

Se ha tenido en cuenta la sección 405, capa de rodaduras en la tabla 405-5.1, 405-5.4 y 405-5.5 para la dosificación de los materiales que están establecidas por el Ministerio de transportes y obras públicas del Ecuador (MTOPE, 2002).

Cuadro 3. 3 Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm.)	56 - 80	--	90 - 100	100
Nº 4 (4.75 mm.)	35 - 65	44 - 74	55 - 85	80 - 100
Nº 8 (2.36 mm.)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
Nº 16 (1.18 mm.)	--	--	--	40 - 80
Nº 30 (0.60 mm.)	--	--	--	25 - 65
Nº 50 (0.30 mm.)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
Nº 100 (0.15 mm.)	--	--	--	3 - 20
Nº 200 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Fuente: MTOPE, (2002)

3.9.2. MATERIALES UTILIZADOS

Fueron obtenidos del sector de Cerro Guayabal mina "Uruzca" Sector Rio de Oro -provincia de Manabí; mientras que, la arena fue obtenida de la mina "Colimes de Balzar", provincia del Guayas. Una vez realizada la toma de muestra de los materiales pétreos se los transporto al laboratorio de suelos y hormigones para sus respectivos ensayos.

Se realiza ensayos de granulometrías de cada uno de los materiales ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, cisco y arena), para lo cual:

- Se tomó 10000 gramos para el agregado de $\frac{1}{2}$, 2000 gramos para el $\frac{3}{8}$ y cisco y 1000 gramos para la arena,
- Luego de esto se procedió a lavar por el tamiz 0.075 mm o n°200, posterior a esto se coloca en el horno por a secar a 110 °C
- Una vez seco los materiales se procede a realizar el ensayo por cada uno de los tamices.

Para el material de $\frac{1}{2}$ se procede a tamizar el material por el tamiz 4.75 mm o N° 4 y se toma el material retenido por este el cual se lava y se coloca en agua por 24 horas, posterior a esto se procede a realizar el ensayo tomando cierta cantidad del material en remojo, se seca con una franela, se pesa en aire luego sumergido en el agua y por último se seca a 110m °C y se pesa totalmente seco. Para posterior calcular la gravedad especifica de volumen (Sd), gravedad especifica de volumen con superficie saturada seca (SSS), gravedad especifica aparente (Sa) y porcentaje de absorción (A).

Para el material de $\frac{3}{8}$ se repite el mismo procedimiento del material $\frac{1}{2}$.

Cuadro 3. 4 **Árido 1 - grava pasante tamiz 3/4"**

TAMIZ Nº.		MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS			Especificaciones (% Pasantes Acumulados) Arena-Hormigón ASTM C- 33
		Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	Pasante Corregido	
Abertura							
50. mm.	2 "						
38.1 mm.	1½ "						
25. mm.	1 "						
19. mm.	¾ "	0.00	0.00	0.0	100.0		
12.5 mm.	½ "	4,709.00	4,709.00	48.4	51.6		
9.5 mm.	⅜ "	3,075.00	7,784.00	80.0	20.0		
4.75 mm.	No. 4	1,703.00	9,487.00	97.5	2.5		
PASA No. 4							
2.36 mm.	No. 8	36.25	9,523.25	97.8	2.2		
1.18 mm.	No. 16	4.01	9,527.26	97.9	2.1		
0.6 mm.	No. 30	3.80	9,531.06	97.9	2.1		
0.3 mm.	No. 50	6.00	9,537.06	98.0	2.0		
0.15 mm.	No. 100	17.80	9,554.86	98.1	1.9		
0.075 mm.	No. 200	24.75	9,579.61	98.4	1.6		Rangos de Módulo de Finura de 2,15 a 3,38
FONDO		155.49		1.6			

Fuente: El investigador, (2018)

Cuadro 3. 5 Árido 2 - grava pasante tamiz 3/8"

TAMIZ Nº.		MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS			Especificaciones (% Pasantes Acumulados) Arena-Hormigón ASTM C-33
		Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	Pasante Corregido	
Abertura							
50, mm.	2 "						
38,1 mm.	1½ "						
25, mm.	1 "						
19, mm.	3/4 "	0,00	0,00	0,0	100,0		
12,5 mm.	1/2 "	0,00	0,00	0,0	100,0		
9,5 mm.	3/8 "	5,10	5,10	0,3	99,7		
4,75 mm.	No. 4	1.613,10	1.618,20	82,7	17,3		
PASA No. 4							
2,36 mm.	No. 8	263,85	1.882,05	96,1	3,9		
1,18 mm.	No. 16	8,90	1.890,95	96,6	3,4		
0,6 mm.	No. 30	2,35	1.893,30	96,7	3,3		
0,3 mm.	No. 50	2,00	1.895,30	96,8	3,2		
0,15 mm.	No. 100	5,15	1.900,45	97,1	2,9		
0,075 mm.	No. 200	7,70	1.908,15	97,5	2,5		Rangos de Módulo de Finura de 2,15 a 3,38
FONDO		49,50		2,5			
Masa Inicial Muestra:		2000	Masa Seca Muestra:		1957,65		Módulo de Finura de Ensayo = 5,66

Fuente: El investigador, (2018)

Para los materiales cisco y arena se tamiza por 4,75 mm o N° 4, luego de esto se realiza la prueba del cono (25 asentada EN TRES capa asentada de 8,8,9) para determinar si el material está en el punto para realizar el ensayo, se toma 500 g del material y se coloca en un matraz calibrado, y se procede a sacar todo el aire y agua dentro de la muestra, para luego enraizar y pesar, se seca el material con mucho cuidado y se coloca en una tara para su secado y luego en el horno a 110 °C. posterior a su secado se pesa para los cálculos respectivos de, gravedad específica de volumen Sd, gravedad específica de volumen con superficie saturada seca SSS, gravedad específica aparente Sa y porcentaje de absorción A.

Cuadro 3. 6 Árido 3 cisco

TAMIZ Nº.	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS			Especificaciones (% Pasantes Acumulados) Arena-Hormigón ASTM C-33
	Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	Pasante Corregido	
Abertura						
50, mm.	2 "					
38,1 mm.	1½ "					
25, mm.	1 "					
19, mm.	¾ "	0,00	0,00	0,0	100,0	
12,5 mm.	½ "	0,00	0,00	0,0	100,0	
9,5 mm.	⅜ "	0,00	0,00	0,0	100,0	
4,75 mm.	No. 4	108,50	108,50	5,6	94,4	
PASA No. 4						
2,36 mm.	No. 8	642,10	750,60	38,9	61,1	
1,18 mm.	No. 16	320,40	1.071,00	55,5	44,5	
0,6 mm.	No. 30	196,40	1.267,40	65,7	34,3	
0,3 mm.	No. 50	129,40	1.396,80	72,4	27,6	
0,15 mm.	No. 100	158,65	1.555,45	80,7	19,3	
0,075 mm.	No. 200	126,85	1.682,30	87,2	12,8	Rangos de Módulo de Finura de 2,15 a 3,38
FONDO		246,15		12,8		
Masa Inicial Muestra:		2000 gr.	Masa Seca Muestra:		1928,45 gr.	Módulo de Finura de Ensayo = 3,19

Fuente: El investigador, 2018

Cuadro 3. 7 Árido 4 arena

TAMIZ Nº.	MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS			Especificaciones (% Pasantes Acumulados) Arena-Hormigón ASTM C-33-99
	Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	Pasante Corregido	
Abertura						
50, mm.	2 "			100,0		
38,1mm.	1½ "			100,0		
25, mm.	1 "			100,0		
19, mm.	¾ "			100,0		
12,5mm.	½ "			100,0		
9,5 mm.	⅜ "	0,00	0,00	0,0	100,0	100
4,75mm.	No. 4	9,50	9,50	1,0	99,0	95 - 100
PASA No. 4						
2,36mm.	No. 8	24,00	33,50	3,4	96,6	80 - 100
1,18mm.	No. 16	77,50	111,00	11,2	88,8	50 - 85
0,6 mm.	No. 30	247,00	358,00	36,1	63,9	25 - 60
0,3 mm.	No. 50	342,00	700,00	70,6	29,4	5 - 30
0,15mm.	No. 100	242,00	942,00	95,0	5,0	0 - 10
0,075 mm.	No. 200	39,00	981,00	98,9	1,1	Rangos de Módulo de Finura de 2,15 a 3,45
FONDO		10,80	991,80			
Masa Inicial parte final :		1000	Masa Seca parte Fina :		991,80	Módulo de Finura de Ensayo = 2,17

Fuente: Navarrete,(2018)

3.9.3. DETERMINACIÓN DE LA MEZCLA DE LOS AGREGADOS

Se realizó el ensayo de abrasión al material de $\frac{1}{2}$, el cual se lo realizó con la graduación B, la cual consiste en obtener material obtenido de la granulometría, utilizando 2500 gramos ± 2 pasante del tamiz 19 mm o n° $\frac{3}{4}$ - retenidos en el 12,5 mm o n° $\frac{1}{2}$ y 2500 gramos ± 2 , pasante del tamiz 12,5 mm o n° $\frac{1}{2}$, retenido en el 9,5 mm o n° $\frac{3}{8}$, y se coloca en la máquina de los Ángeles y se da 500 vueltas. Una vez terminada se saca el material y se lo tamiza por el 1,70 mm o n° 12, se lava y se seca a 110 °C. Luego se secó y se procedió a pesar para su cálculo de coeficiente de desgaste. De acuerdo a la norma

El ensayo de masa unitaria o peso volumétrico, el cual consiste en tener los materiales ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, cisco y arena) totalmente secos, moldes metálicos con pesos y volúmenes conocidos para realizar el ensayo, el que consiste en añadir material de una forma constante hasta llenar el recipiente enrasando y pesando, repitiendo el procedimiento por 3 ocasiones para conocer la masa unitaria suelta; para la masa unitaria compactada se llena el recipiente en tres capas iguales se da 25 varilladas por capa.

Una vez realizados los ensayos a los materiales de $\frac{1}{2}$ (Árido 1), $\frac{3}{8}$ (Árido 2), cisco (Árido 3) y arena (Árido 4), se procede a la digitación y cálculo de resultados, de la siguiente manera:

- Se realiza la determinación de la mezcla de los agregados, (utilizando porcentajes de cada pasante de la granulometría obtenida y así realizar la graduación combinada para la mezcla). Los porcentajes de cada uno de los materiales a utilizar en este diseño son; $\frac{1}{2}$ =12%, $\frac{3}{8}$ =28%, cisco=45% y arena=15%.
- Una vez obtenidos los porcentajes de la mezcla en la granulometría se procede al cálculo de la gravedad específica combinada de los agregados, utilizando las gravedades específicas (S_d , S_a y A) de cada uno de los materiales.

Cuadro 3. 8 Mezcla de los agregados

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	12%	12.0	6.2	0.3	0.3	0.2	0.2
Árido No. 2	28%	28.0	28.0	4.9	1.1	0.9	0.7
Árido No. 3	45%	45.0	45.0	42.5	27.5	12.4	5.7
Árido No. 4	15%	15.0	15.0	14.9	14.5	4.4	0.2
GRANULOMETRÍA OBTENIDA		100.0	94.2	62.5	43.3	18.0	6.8
ESPECIFICACIÓN		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

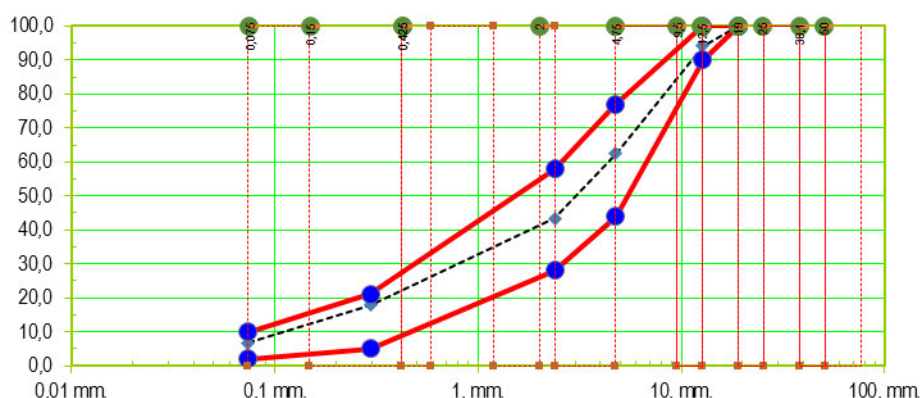


Figura 3. 1 Curva granulométrica de los agregados de cantera

Fuente: Navarrete, 2018

3.9.4. MEZCLA DE AGREGADOS PÉTREOS – ASFALTO

Se procede a moldear las briquetas teniendo en consideración lo siguiente.

- Los agregados se calienta entre 135°C y 160 °C
- El cemento asfáltico AC-20 se calienta entre 100 °C y 120 °C.
- Se mezclan los agregados de acuerdo al porcentaje del cemento asfáltico a utilizar, el cual se partió con el 5 % de asfalto y de ahí se fue subiendo 0.5 % por cada mezcla a realizar hasta llegar al 7% de

asfalto que es el máximo en este diseño para lo cual se tomó 3 briquetas por cada punto.

- Para tomar las briquetas se debe Limpiar y calentar el conjunto collar, anillo en el horno a una temperatura entre 95 y 150°C, montar fijamente sobre la placa el conjunto anillo y collar, colocar un papel filtro en el fondo del molde y se vierte dentro la mezcla recién fabricada evitando las segregaciones de material, con la espátula dar 15 golpes en el perímetro de la mezcla y 10 golpes en el centro, dar una forma ligeramente convexa en el centro para tener una superficie lisa. Colocar el martillo perpendicularmente a la base y aplicar los golpes de acuerdo a las especificaciones en este caso 75 golpes por cara.
- Una vez moldeadas las briquetas la norma estipula dejar por lo menos una noche a temperatura ambiente para ser ensayadas. (MTO,2002,p.204-398)

3.9.5. ANÁLISIS MARSHALL

Para cada contenido de asfalto considerado se debe incluir:

- Densidad Bulk
- Vacíos
- Vacíos de agregados mineral (VAM).
- VFA (vacíos llenos de asfalto)
- Estabilidad
- Flujo

Una vez moldeadas, frías y limpias las briquetas se procede a realizar los respectivos ensayos:

Densidad Bulk: el cual consiste en pesar las briquetas al aire, luego sumergirlas en agua por 30 min, pesar dentro del agua y luego con una franela secar y pesar con superficie saturada seca.

Estabilidad y Flujos. Calentar el baño de agua a una temperatura de $60^{\circ} \pm 2$ °C y sumergir los especímenes a ser ensayados por un período de no menor a 30 minutos ni mayor 40 minutos, las probetas deben estar espaciadas entre sí para que el agua circule libremente entre ellas. Se limpian las mordazas y engrasar las varillas guía para que se deslicen libremente, encerar el deformímetro y el medidor de estabilidad. Transcurrido el tiempo en el baño maría, sacar la briqueta y colocar en la mordaza llevar a la prensa, encerar deformímetro y aplicar la carga hasta que se produzca la rotura. Cuando se produce la primera parada instantánea, prescindiendo de cualquier posible avance en la estabilidad se hace la lectura de, al mismo tiempo se toma la lectura del deformímetro como de flujo, este valor expresa la disminución de diámetro que experimenta la probeta desde la carga cero hasta la carga de rotura. Se repite este procedimiento con todas las briquetas a ensayar. (MTO, 2002,p.204-398)

Rice: Este método determina la gravedad específica teórica máxima de mezclas asfálticas en estado suelto. El cual consiste en eliminar todo el aire incluido en la mezcla con la utilización de una bomba de vacíos para su extracción.

Una vez obtenidos los resultados de rice, densidad bulk, estabilidad y flujos, VAM, VFA se procede con los gráficos respectivos para conocer el porcentaje óptimo de asfalto a trabajar en este diseño.

3.9.6. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE ÓPTIMO DE ASFALTO

Con el porcentaje óptimo de asfalto definido partiendo de la curva de vacíos, la cual obtuvo 6,2%, se procede a obtener los otros resultados de las curvas tales como, Pesos Unitarios (densidad), Vacíos, Estabilidad, Vacíos de Agregado Mineral, Flujo y VFA. (MTO,2002,p.204-398)

Cuadro 3. 9 Diseño de Marshall para obtener el porcentaje óptimo de asfalto. “Reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido y su impacto ambiental en Manabí – Ecuador”.

Propiedades	% Asfalto - diseño	Valor obtenido	Exigencias (MTOP, 2002) y Garnica <i>et al.</i> (2004)
Estabilidad	6.20	2,546	> 1800 lb
Flujo	6.20	12.0	8 - 16 pulg/100
Peso unitario	6.20	2.281	N. A.
Vacíos en mezcla	6.20	4.0	3.0 - 5.0%
Vacíos en agregados	6.20	15.20	> 13%
Vacíos rellenos asfalto	6.20	71	65 - 75%

Fuente: El investigador, (2018)

En las figuras a continuación, se expresa los resultados obtenidos con 6,2% de asfalto en la mezcla, para las variables peso unitario, porcentaje de vacíos, VAM, VFA y flujo.

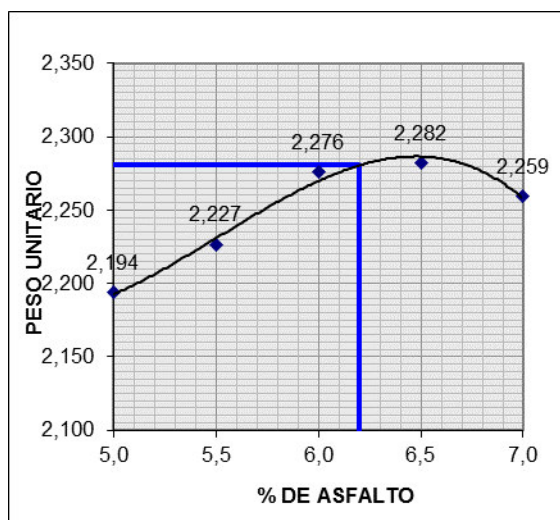


Figura 3. 2 Peso unitario o densidad Bulk en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete, (2018)

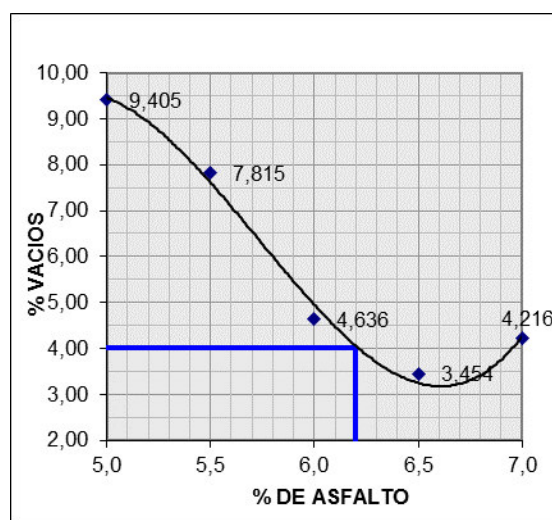


Figura 3. 3 Porcentaje de vacíos en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete, (2018)

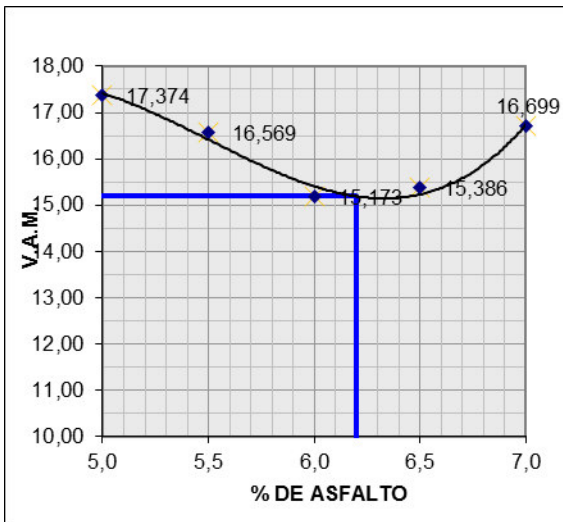


Figura 3. 5 Vacíos en agregados minerales en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete,(2018)

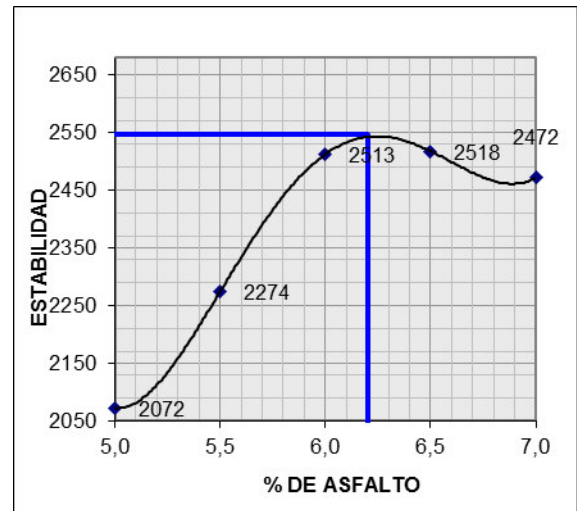


Figura 3. 4 Estabilidad en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete,(2018)

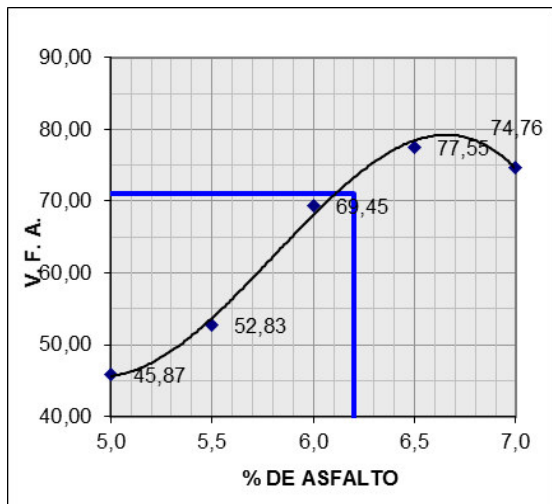


Figura 3. 7 Vacíos en rellenos de asfalto en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete,(2018)

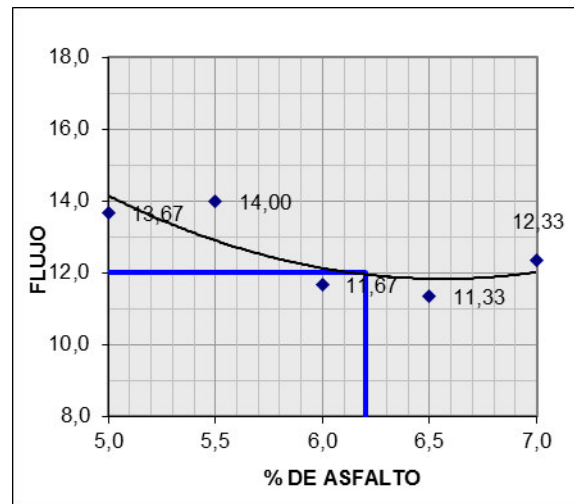


Figura 3. 6 Flujo en relación al porcentaje óptimo de asfalto

Fuente: Navarrete,(2018)

3.9.7. PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO

Fueron obtenidos del centro de deposición de desechos de pavimento asfáltico ubicado en las afueras del Cantón Bolívar, km 1 vía a Tosagua. Estos residuos fueron calentados hasta 130°C, de esta manera se procedieron a descomponer los materiales.

Una vez los materiales sueltos, se estableció la granulometría, contenidos de asfaltos, ensayos rice o gravedad específica teórica máxima las cuales fueron moldeadas para hacer briquetas y realizar las pruebas del análisis de Marshall.

Cuadro 3. 10 Composición física del pavimento envejecido

TAMIZ Nº.		MASA RETENIDA		PORCENTAJES ACUMULADOS			Especificaciones (% Pasantes Acumulados) Arena-Hormigón ASTM C-33
		Parcial gr.	Acumulada gr.	Retenido	Pasante	Pasante Corregido	
Abertura							
50. mm.	2 "						
38.1mm.	1½ "						
25. mm.	1 "						
19. mm.	¾ "	0.00	0.00	0.00	100.00		100
12.5mm.	½ "	56.00	56.00	3.02	96.98		90 - 100
9.5 mm.	3/8 "	42.50	98.50	5.30	94.70		
4.75mm.	No. 4	413.50	512.00	27.57	72.43		44 - 77
PASA No. 4							
2.36mm.	No. 8	422.00	934.00	50.30	49.70		28 - 58
1.18mm.	No. 16	288.00	1,222.00	65.81	34.19		
0.6 mm.	No. 30	160.00	1,382.00	74.42	25.58		
0.3 mm.	No. 50	100.00	1,482.00	79.81	20.19		5 - 21
0.15mm.	No. 100	170.50	1,652.50	88.99	11.01		
0.075 mm.	No. 200	134.00	1,786.50	96.20	3.80		2 - 10
FONDO		70.50		3.8			Rango M.F.: 2,15 a 3,38
Masa Inicial Muestra:		1857	Masa Seca Muestra: 1857.00		Módulo de Finura de Ensayo = 3.922		

Fuente: Navarrete, (2018)

En la figura 3.8, se observa la curva granulométrica del pavimento asfaltico envejecido. Se puede apreciar que dentro de la composición existe mayor cantidad de agregados fino, es por ello que se considera necesario enriquecerlo con la adición de los agregados pétreos.

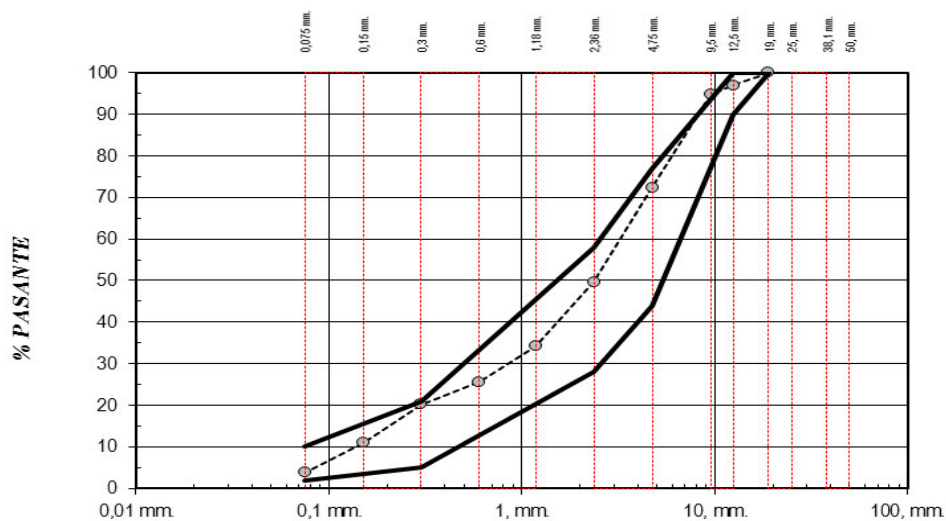


Figura 3. 8 Curva granulométrica del pavimento asfaltico envejecido

Fuente: El investigador, (2018)

3.9.7.1 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para la determinación del porcentaje máximo de material de pavimento asfáltico envejecido que podría ser reutilizado en las mezclas asfálticas, se realizaron mezclas con combinaciones de los agregados en porcentajes del 40%, 50%, 60% de pavimento asfáltico envejecido con relación al 100% del total con los nuevos agregados pétreos, se realizaron las curvas granulométricas para determinar cuáles de estas cumplen con las exigencias. (MOP 001-F-2002, capítulo 400, p.204-398)

3.9.8. ELASTÓMERO

Se obtuvieron del centro de acopio en Montecristi, perteneciente al complejo deportivo “Canchas Bladimir”. Los materiales modificadores utilizados son las partículas de elastómero triturado o pulido y los agregados, los dos materiales dispuestos en tamaño: pasante del tamiz No. 10 y retenido en el tamiz No. 40, se procede a agregar mediante proceso de vía seca, el polvo de neumático en diferentes porcentajes partiendo desde el 4% hasta el 16%.

3.9.9. PROCEDIMIENTO DE LA AGREGACIÓN DEL PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO Y DEL ELASTÓMERO

- El moldeo y ensayos de las briquetas para esta investigación se las realizo de la misma forma ya antes mencionada, solo con la inclusión del polvo de neumático y pavimento asfáltico envejecido.
- Los agregados pétreos fueron mezclados individualmente sin la adición de los residuos sólidos, manteniendo temperaturas con máximos y mínimos (160 °C – 80 °C).
- Para realizar las briquetas del tratamiento se realizó utilizando el 50% de pavimento asfáltico envejecido y 50% con agregados pétreos de material 1/2, 3/8, cisco y arena, además se adiciono el porcentaje de

asfalto y polvo de neumático hasta llegar al porcentaje óptimo de 6.2%.

Una vez establecido el porcentaje óptimo de asfalto en la mezcla que es el 6,2 %, se procede a agregar mediante proceso de vía seca, el polvo de neumático en diferentes porcentajes partiendo desde el 4% hasta el 16%.

3.9.10. UNIDAD EXPERIMENTAL

Cuadro 3. 11 Características Unidades experimentales

Forma	Rectangular
Número de unidades experimentales	39
Tamaño de la muestra $V= h\pi r^2$	6.35 cm de alto x 10.16 cm de ancho
Tratamientos	13
Repeticiones	3
Distanciamiento de las unidades experimentales	0.2 x 0.1 m
Número de unidades por sitio	1
Población total del estudio	39
Unidades de análisis	1 unidad experimental
Área total	25.16 m

Fuente: El investigador, (2018)

3.9.11. VARIABLES PARA EVALUAR LOS MEZCLAS ASFÁLTICAS

El cumplimiento de las exigencias en el método de Marshall se encuentra en el anexo 1, permitiendo obtener información sobre las características físicas y mecánicas de mezclas asfálticas en caliente con la ayuda de figuras de estabilidad Marshall, flujo, porcentaje de vacíos (VTM), porcentaje de vacíos del agregado mineral (VMA), porcentaje de vacíos en rellenos de asfalto (VFA). (MOP 001-F-2002, capítulo 400, p.204-398)

3.9.11.1. DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO

La densidad Bulk es la relación entre la masa de un volumen unitario total de un agregado, el cual incluye el volumen de las partículas

individuales y el volumen de vacíos entre las partículas, y fue determinado de acuerdo al manual de especificaciones del Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (MTOP, 2002, p.204-398)

3.9.11.2. ESTABILIDAD

Está dirigida a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. Es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante el ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador del cuadrante, que fueron determinados de acuerdo a las especificaciones del Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002. (MTOP, 2002, p.204-398).

3.9.11.3. FLUJO

El flujo representa la deformación de la briqueta que está indicada por la disminución en el diámetro vertical de briqueta, y es medida en centésimas de pulgadas. Sera determinada de acuerdo al Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002. (MTOP, 2002, p.204-398)

3.9.11.4. VACÍOS EN LA MEZCLA

El porcentaje de vacíos se calculó a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación, de acuerdo a las especificaciones del Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002 (MTOP, 2002, p.204-398).

3.9.11.5. VACÍOS EN AGREGADOS MINERAL

Sera calculado con base al peso específico total del agregado y se expresara como un porcentaje del volumen total de la mezcla

compactada. Que fue determinada de acuerdo a las especificaciones del Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002 (MTOP, 2002, p.204-398)

3.9.11.6. VACÍOS EN RELLENOS DE ASFALTO

Los vacíos en rellenos de asfalto, fueron obtenidos al restar los vacíos de aire, y luego dividiendo por los vacíos de aire, y expresando el valor final como un porcentaje, fueron determinados de acuerdo a las especificaciones del Manual de Especificaciones MTOP--001-F-2002. (MTOP, 2002, p.204-398).

3.9.12. VARIABLES COMPLEMENTARIAS

3.9.12.1. IDENTIFICACIÓN DE FACTORES AMBIENTALES

El impacto ambiental detallado en la presente investigación para la utilización de residuos de elastómero y asfalto envejecido, se realizó mediante una fase de revisión donde relaciona la causa (Acción considerada) y su efecto sobre el medio ambiente (Factores ambientales) mediante una interacción entre ambas.

Los factores ambientales determinados dentro de esta investigación, fueron considerados según lo estipulado en plataforma del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA) del Ministerio del Ambiente - Ecuador, mientras que la causa fue determinada de acuerdo a las acciones consideradas por las actividades que se desarrollan durante el proceso para la obtención del asfalto modificado.

La identificación de los impactos ambientales se determinó de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 3.12 Factores ambientales – Causa y Obtención de asfalto modificado

Factores Ambientales		Causa (Acción considerada)- Obtención de asfalto modificado
Componente Ambiental	Aspecto Ambiental	
Aire	Calidad del aire	Generación de material particulado (polvo), por el proceso de la trituración de neumático.
	Ruido y Vibraciones	Incremento a los Niveles de ruido y vibraciones en el área de influencia por el uso de equipos y maquinarias.
	Emisiones Atmosfericas	Emisiones Atmosféricas producidas por el uso de equipos y maquinarias durante el proceso de obtención del asfalto modificado.
Socioeconómico	Desarrollo económico local	Contracción de mano de obra local durante el desarrollo de las actividades
	Económico	Disminución de precios
	Salud	Afectación a la salud pública por la generación de material particulado
Cultural	Estético Paisajístico	Nivel de calidad del paisaje
Relleno sanitario	Vida útil del relleno sanitario	Incremento de la vida útil del relleno sanitario, por la disminución del almacenamiento de neumáticos usados.

Fuente: El investigador, (2018)

Conjuntamente se realizó revisión bibliográfica con el objetivo de considerar y constatar los impactos ambientales ocasionados por el uso y el inadecuado manejo de residuos de elastómeros detallados en investigaciones realizadas por otros autores.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Para la identificación de las actividades se consideró las acciones que se desarrollarán durante la obtención del asfalto modificado. Se identificaron las actividades, las mismas que para efectos de la identificación de impactos, han sido agrupadas en comunes, respecto a su incidencia sobre el medio ambiente. Analizada las características del proyecto, se han determinado las diferentes actividades, de tal modo que sean lo más representativas posible del proyecto a ejecutarse.

Cuadro 3. 14. Actividades para la elaboración de mezclas asfálticas

Cód.	Actividades
A-1	Trituración <u>mecánica</u> de NFU - obtención del polvo de caucho
A-2	Obtención de asfalto envejecido
A-3	Obtención de materiales pétreos
A-4	Transporte de materiales hacia los centros de acopio
A-5	Mezcla de materiales
A-6	Tendido de mezcla asfáltica modificada sobre las vías

Fuente: El investigador, (2018)

3.9.12.2. CALIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS (EVALUACIÓN)

La calificación y cuantificación de los impactos ambientales se determinó mediante lo estipulado en la guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental publicada por Conesa, 2010.

La **caracterización de los impactos ambientales** se la ejecutó valorando la importancia y magnitud de cada impacto previamente identificado.

La **importancia del impacto de una acción sobre un factor** se refiere a la trascendencia de dicha relación, al grado de influencia que de ella se deriva en términos de la sumatoria de la calidad ambiental, para lo cual se utilizó la información desarrollada en la caracterización ambiental, aplicando una metodología basada en evaluar las características de Extensión, Duración y Reversibilidad de cada interacción, e introducir factores de ponderación de acuerdo a la importancia relativa de cada característica.(CONESA,2010,p.220-293)

Finalmente, se proporcionó el carácter o tipo de afectación de la interacción analizada. Las características consideradas para la **valoración de la importancia**, se las definió de la manera siguiente:

Extensión: Se refiere al área de influencia del impacto ambiental en relación con el entorno del proyecto.

Duración: Se refiere al tiempo que dura la afectación y que puede ser temporal, permanente o periódica, considerando, además las implicaciones futuras o indirectas.

Reversibilidad: Representa la posibilidad de reconstruir las condiciones iniciales, una vez producido el impacto ambiental.

El cálculo del **Valor de Importancia de cada impacto**, se realizó utilizando la siguiente ecuación:

$$Imp = We \times E + Wd \times D + Wr \times R$$

Dónde:

Imp = Valor calculado de la Importancia del impacto ambiental

E = Valor del criterio de Extensión

We = Peso del criterio de Extensión

D = Valor del criterio de Duración

Wd = Peso del criterio de Duración

R = Valor del criterio de Reversibilidad

Wr = Peso del criterio de Reversibilidad

Se debe cumplir que:

$$\mathbf{We + Wd + Wr = 1}$$

Para el presente caso se ha definido los siguientes valores para los pesos o factores de ponderación:

- o Peso del criterio de Extensión = **We** = 0.40
- o Peso del criterio de Duración = **Wd** = 0.40
- o Peso del criterio de Reversibilidad = **Wr** = 0.20

La **valoración de las características de cada interacción**, se ha realizado en un rango de 1 a 10, pero sólo evaluando con los siguientes valores y en consideración con los criterios expuestos en el cuadro siguiente:

Cuadro 3.15 Criterios de puntuación de la importancia y los valores asignados

Características de la Importancia del Impacto ambiental	Puntuación de acuerdo a la magnitud de la característica				
	1.0	2.5	5.0	7.5	10.0
EXTENSIÓN	Puntual	Particular	Local	Generalizada	Regional
DURACIÓN	Esporádica	Temporal	Periódica	Recurrente	Permanente
REVERSIBILIDAD	Completamente Reversible	Medianamente Reversible	Parcialmente Irreversible	Medianamente Irreversible	Completamente Irreversible

Fuente: Conesa,(2010)

El **impacto ambiental se categorizó** de acuerdo con sus niveles de importancia y magnitud, sea positivo o negativo. Para globalizar estos criterios, se realizó la media geométrica de la multiplicación de los valores de importancia y magnitud, respetando el signo de su carácter. El resultado de esta operación se denomina Valor del Impacto y responde a la ecuación:

$$\text{Valor del Impacto} = \pm \sqrt{\text{Imp} \times \text{Mag}}$$

En virtud a la metodología utilizada, un impacto ambiental puede alcanzar un Valor del Impacto máximo de 10 y mínimo de 1. Los valores cercanos a 1, denotan impactos intrascendentes y de poca influencia en el entorno, por el contrario, valores mayores a 6.5 corresponden a impactos de elevada incidencia en el medio, sean éstos de carácter positivo o negativo.

El cálculo de la Importancia, Magnitud y el respectivo Valor del impacto para cada interacción identificada, se realizó con la ayuda de un cuadro resumen de datos y resultados. (CONESA, 2010, p.220-293)

Finalmente, con la magnitud del Valor del Impacto, se construyeron las Matrices causa-efecto de Resultados del Valor del Impacto, correspondiente. En estas matrices, Adicionalmente se pudo apreciar los niveles de impactos

por factores ambientales y por acciones consideradas. (CONESA, 2010, p.220-293)

3.9.12.3. CATEGORIZACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.

La categorización de los impactos ambientales identificados y evaluados, se ha realizado en base a lo estipulado en la guía metodológica para la evaluación de impacto ambiental publicada por CONESA, 2010 donde se especifica que, según el valor del impacto, determinado en el proceso de predicción existen 4 categorías de impactos:

- ✓ Severos
- ✓ Moderados
- ✓ Compatibles, y
- ✓ Benéficos

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se puede definir de la siguiente manera:

Impactos Severos: Son aquellos de carácter negativo, cuyo valor del impacto es mayor o igual a 7,0 y corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente. (CONESA, 2010, p.30)

Impactos Moderados: Son aquellos de carácter negativo, cuyo valor del impacto es menor a 7,0 pero mayor o igual a 4,5; cuyas características son: factibles de corrección, de extensión local y duración temporal. (CONESA, 2010, p.220-293)

Compatibles: Corresponden a todos los impactos de carácter negativo, con valor del impacto menor a 4,5. Pertenecen a esta categoría los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la

ejecución del Plan de Manejo Ambiental PMA, pueden ser reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual. (CONESA, 2010, p.220-293)

Benéficos: Corresponden a los impactos de tipo benéfico, ventajoso, positivos o favorables producidos durante la ejecución del proyecto, y que contribuyen a impulsar el desarrollo socio económico. (CONESA, 2010, p.220-293)

Cuadro 3. 16. Caracterización de impacto

Categoría	Rango
Severo	Mayor o igual a 7.0
Moderado	Menor a 7.0 pero mayor o igual a 4.5
Compatible	Menor a 4.5
Beneficioso	

Fuente: Conesa,(2010)

3.9.12.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

Se procedió a realizar el análisis económico, en base a los análisis de precios unitarios de cada uno de los tratamientos. En el análisis de precios unitarios se consideraron los costos directos (mano de obra, equipos, materiales) considerando los materiales están puesto en sitio. A su vez, se consideró el jornal real horario vigente desde enero del 2018 de acuerdo al manual de costos en la construcción de la Cámara de Construcción de Quito (CCQ, 2004, p. 8).

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MEZCLAS ASFÁLTICAS CON PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO Y ADICION DE ELASTOMEROS Y AGREGADOS PETREOS

4.1.1. DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO

En el cuadro 4.1, se observa los valores promedios de la variable densidad Bulk. El análisis de varianza no determino diferencias estadísticas para el factor G (granulometría), factor E (elastómero), interacción (G x E) y en la comparación factorial versus testigo.

4.1.2. PORCENTAJE DE VACÍOS EN LA MEZCLA

En el cuadro 4.1, se observa los valores promedios de la variable porcentaje de vacíos en la mezcla, el análisis de varianza no determino diferencias estadísticas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y en la comparación factorial versus testigo, a excepción del factor G (granulometría).

La prueba de significancia determino dos rangos de similitud estadística en el factor G (Granulometría), donde el mejor porcentaje de vacíos en la mezcla correspondió a G1 (granulometría fina) con 4,26% de vacíos, seguido de G2 (Granulometría media). MTOP (2002) señala que 5% es el valor máximo exigido en porcentaje de vacíos por lo tanto la granulometría gruesa con 5% no cumple con las exigencias. Coincidiendo con Garzón y Yanca (2013) quienes mencionan que el porcentaje permitido de vacíos en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 %.

4.1.3. ESTABILIDAD

En el cuadro 4.1, se observa los valores promedios de la variable estabilidad, el análisis de varianza determino diferencias estadísticas significativas para el

factor G (granulometría), factor E (elastómero), interacción (G x E) y la comparación factorial versus testigo.

En la prueba de significancia realizada en el factor G (Granulometría), estableció dos rangos de similitud estadística, siendo G2 (granulometría media) quien obtuvo mayor estabilidad con 2880,86 lb; en cambio G3 (granulometría gruesa) con 2640,34 lb obtuvo la estabilidad más baja. Asimismo, en la prueba de significancia realizada al factor E (Elastómero), determino tres rangos de similitud estadística, donde E3 (elastómero 12%) se destacó con mayor estabilidad con 3018,18 lb; y E4 (elastómero 16%) con 2472,87 lb obtuvo la estabilidad más baja.

En la prueba de significancia realizada a la interacción (G x E), se establecieron 4 rangos de similitud estadística, donde G2E3 (granulometría media – 12% de elastómero) y G1E3 (granulometría fina – 12% de elastómero) con 3119,73 lb y 3042,36 lb respectivamente, se destacaron con la mayor estabilidad, mientras que G3E4 (granulometría gruesa – elastómero 16%) obtuvo la estabilidad más baja con 2310,61 lb.

En la comparación factorial versus testigo, se establecieron tres rangos de similitud estadística, destacándose el factor G con 2790,10 lb, seguido del factor E con 2640,10 lb y en último lugar el testigo con 2605,67 lb de estabilidad. Sandoval y Delgado, (2005) mencionan que un pavimento estable es capaz de mantener su forma bajo las cargas repetitivas.

Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de los que exigen las condiciones de tránsito. El MTOP (2002) exige estabilidades mayores a 1800 lb, de esta forma todos los tratamientos cumplen con las exigencias para el diseño de Marshall.

Cuadro 4. 1 Densidad bulk, porcentaje de vacíos en la mezcla y estabilidad.

TRATAMIENTOS	DENSIDAD BULK	% DE VACÍOS EN LA MEZCLA	ESTABILIDAD Lb
FACTOR G	NS	**	**
G1 Granulometría Fina	2282,17	4,26 a	2849,09 a
G2 Granulometría media	2274,67	4,58 a b	2880,86 a
G3 Granulometría gruesa	2272,50	5,00 b	2640,34 b
FACTOR E	NS	NS	**
E1 4% elastómero	2270,11	4,73	2785,78 b
E2 8% elastómero	2274,89	4,60	2883,15 b
E3 12% elastómero	2276,56	4,46	3018,59 a
E4 16% elastómero	2284,22	4,64	2472,87 c
INTERACCIÓN	NS	NS	**
G1E1	2282	4,15	2890,00 a b
G1E2	2284,67	4,27	2953,57 a b
G1E3	2279,33	4,49	2042,36 a
G1E4	2282,67	4,13	2510,42 d e
G2E1	2267,33	5,00	2870,94 a b c
G2E2	2275,67	4,42	2935,18 a b
G2E3	2281,67	4,18	3119,73 a
G2E4	2274	4,72	2597,57 c d
G3E1	2261	5,05	2596,39 c d
G3E2	2264,33	5,12	2760,70 b c d
G3E3	2268,67	4,72	2893,68 a b
G3E4	2296	5,07	2310,61 e
FACTORIAL VS RESTO	NS	NS	**
Testigo absoluto	2286,67	4,21	2605,67 c
Granulometría	2278,11	4,61	2790,10 a
Elastómero	2290,30	4,60	2640,10 b
CV	0,87	9,75	3,38
P	0,6711	0,044	<0,0001

* Diferencia significativa entre los tratamientos.

** Diferencia altamente significativa entre los tratamientos.

Letras en común no son estadísticamente diferentes

Fuente: Navarrete, (2018)

4.1.4. FLUJO

En el cuadro 4.2, se observa los valores promedios de la variable flujo, el análisis de varianza no determino diferencias estadísticas para la interacción

(G x E), en cambio, se evidenciaron diferencias estadísticas para el factor G (granulometría), factor E (elastómero) y la comparación factorial versus testigo.

La prueba de significancia realizada al factor G, estableció dos rangos de similitud estadística donde G2 (granulometría media) y G1 (granulometría fina) con 14,42 pulg/100 y 14,83 pulg/100 respectivamente, destacan sobre la granulometría gruesa con 15,17 pulg/100.

En la prueba estadística realizada al factor E, se establecieron dos rangos de similitud estadística, siendo E1 (elastómero 4%), E2 (elastómero 8%) y E3 (elastómero 4%), con 14,44 pulg/100, 14,56 pulg/100 y 14,89 pulg/100 respectivamente, los que destacaron con buenos valores de flujo en comparación al 15,33 pulg/100 de E4 (elastómero al 16%).

La prueba de significancia realizada a la comparación de la factorial versus el testigo, estableció dos rangos de similitud estadística siendo el testigo quien obtuvo el mejor valor de flujo con 13 pulg/100, seguido de los factores G y E con 14,81 pulg/100 en ambos casos.

De esta manera, las mezclas asfálticas con material reutilizable solo cumplen las exigencias para tráfico liviano y medio. Coincidiendo con el MTOP (2002) quien establece que el mínimo debe ser 8 pulgadas/100 para todos los tipos de tráfico, tales como, muy pesado, pesado, medio y liviano. El valor de flujo máximo exigido para los tráficos muy pesado y pesado será 14 pulgadas/100; en cambio para los tráficos medio y liviano puede extenderse hasta el máximo de 16 pulg/100.

4.1.5. VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES

En el cuadro 4.2, se observa los valores promedios de la variable vacíos en agregados minerales, el análisis de varianza no determino diferencias estadísticas significativas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y

comparación factorial versus testigo, en cambio, determino diferencias estadísticas para el factor G (granulometría).

La prueba de significancia realizada al factor G se estableció dos rangos de similitud estadística, destacando al factor G3 (granulometría gruesa) con 15,82% de vacíos en agregados minerales, mientras que G1 (granulometría fina) y G2 (granulometría media) con 15,40% y 15,12% respectivamente, obtuvieron valores bajos en porcentaje de vacíos en agregados minerales.

Las exigencias del MTOP (2002) no establece valores máximos a considerar, por ende, se refuta con la afirmación de Unicauca (s,f) quien afirma que, cuando mayor sea el VAM (vacíos en agregados minerales), más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. De tal forma existen valores mínimos (13% exigencias del MTOP, 2002) para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

4.1.6. VACÍOS EN RELLENOS DE ASFALTO

En el cuadro 4.2, se observa los valores promedios de la variable vacíos en rellenos de asfalto, el análisis de varianza no determino diferencias estadísticas para el factor E (elastómero), interacción (G x E) y comparación factorial versus testigo, en cambio, se evidenciaron diferencias estadísticas para el factor G (granulometría).

La prueba de significancia realizada al factor (G) estableció dos rangos de similitud estadística, en cual se destaca a G3 (granulometría gruesa) con 68,47%, seguido de G2 (granulometría media) con 70,36% y por ultimo a G1 (granulometría fina) 71,80%. Coincidiendo con las exigencias del diseño de Marshall, el cual establece un valor mínimo de 65%, y el máximo de 75%. (MTOP, 2002, p.132)

Cuadro 4. 2 Flujo, vacíos en agregados minerales y vacíos en rellenos de asfalto.

TRATAMIENTOS	FLUJO Lb/100	% Vacíos en agregados minerales	% Vacíos en rellenos de asfalto
FACTOR G	*	**	**
G1 Granulometría Fina	14,83 a b	15,12 b	71,80 a
G2 Granulometría media	14,42 a	15,40 b	70,36 ab
G3 Granulometría gruesa	15,17 b	15,82 a	68,47 b
FACTOR E	*	NS	NS
E1 4% elastómero	14,44 a	15,57	69,66
E2 8% elastómero	14,56 a b	15,39	70,17
E3 12% elastómero	14,89 a b	15,33	70,96
E4 16% elastómero	15,33 b	15,49	70,14
INTERACCIÓN	NS	NS	NS
G1E1	14,67	15,12	72,57
G1E2	14,33	15,03	71,67
G1E3	15,00	15,22	70,59
G1E4	15,33	15,10	72,67
G2E1	14,00	15,67	68,13
G2E2	14,00	15,36	71,27
G2E3	14,67	15,15	72,47
G2E4	15,00	15,43	69,55
G3E1	14,67	15,92	68,29
G3E2	15,33	15,78	67,57
G3E3	15,00	15,63	69,83
G3E4	15,67	15,94	68,18
FACTORIAL VS RESTO	**	NS	NS
Testigo absoluto	13,00 a	14,96	71,92
Granulometría	14,81 b	15,45	70,21
Elastómero	14,81 b	15,59	70,23
CV	4,42	2,57	3,04
P	0,0001	0,041	0,038

* Diferencia significativa entre los tratamientos

** Diferencia altamente significativa entre los tratamientos

Letras en común no son estadísticamente diferentes

Fuente: Navarrete,(2018)

4.2. PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO

4.2.1. DENSIDAD BULK O PESO UNITARIO

En el cuadro 4.3 se observa que el valor promedio de la densidad Bulk es de los valores promedios de la variable densidad Bulk es de 2151gr/cm³ lo que demuestra que el material conserva sus propiedades para volver a ser reutilizado

4.2.2. PORCENTAJE DE VACÍOS EN LA MEZCLA

En el cuadro 4.3, se observa los valores promedios de la variable porcentaje de vacíos en la mezcla, es de 6,37 y que según las exigencias MTOP(2002) no se cumple por lo que debe estar comprendido entre el intervalo del 3% al 5%, coincidiendo con Garzón y Yanchar (2013) quienes mencionan que el porcentaje permitido de vacíos en muestras de laboratorio para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 %.

4.2.3. ESTABILIDAD

En el cuadro 4.3, se observa los valores promedios de la variable estabilidad, se destacó con una estabilidad de 3381lb, cumpliendo con las especificaciones de estabilidad que exige El MTOP (2002) mayores a 1800 lb, de esta forma se cumplen con las exigencias para el diseño de Marshall.

4.2.4. FLUJO

En el cuadro 4.3, se observa los valores promedios de la variable flujo, es de 15,5 pulg/100, cumpliendo con las exigencias del MTOP (2002) quien establece que el mínimo debe ser 8 pulgadas/100 para todos los tipos de tráfico, tales como, muy pesado, pesado, medio y liviano. El valor de flujo máximo exigido para los tráficos muy pesado y pesado será 14 pulgadas/100;

en cambio para los tráficos medio y liviano puede extenderse hasta el máximo de 16 pulg/100.

4.2.5. VACÍOS EN AGREGADOS MINERALES

El valor obtenido de vacíos en agregado mineral es de 19,62% como se observa en el cuadro 4.3, las exigencias del MTOP (2002) no establece valores máximos a considerar, por ende, se refuta con la afirmación de Unicauca (s,f) quien afirma que, cuando mayor sea el VAM (vacíos en agregados minerales), más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. De tal forma existen valores mínimos (13% exigencias del MTOP, 2002) para VAM los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanta más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla.

4.2.6. VACÍOS EN RELLENOS DE ASFALTO

En el cuadro 4.3 se observa los valores promedios de la variable vacíos en rellenos de asfalto, con 67,37%. cumple con las exigencias del diseño de Marshall, el cual establece un valor mínimo de 65%, y el máximo de 75% (MTOP, 2002, p.204-398).

De todas las variables en análisis se puede observar que la variable de vacíos en mezclas no cumple con las exigencias MTOP(2002), así como la variable de vacíos en agregado mineral el porcentaje es alto

Como se muestra en el cuadro 4.3 los valores promedio de las exigencias del diseño de Marshall, para el pavimento asfáltico envejecido, no cumplen con las exigencias propuestas por MTOP (2002) y Garnica *et al.* (2004)

Cuadro 4. 3 Diseño Marshall del pavimento asfaltico envejecido

Propiedades	% Asfalto - diseño	Valor obtenido	Exigencias (MTO, 2002) y Garnica <i>et al.</i> (2004)
Densidad Bulk	5,70	2151	
Estabilidad	5,70	3381	> 1800 lb
Flujo	5,70	15,5	8 - 16 pulg/100
Peso unitario	5,70	2,174	>2000
Vacíos en mezcla	5,70	6,37	3.0 - 5.0%
Vacíos en agregados	5,70	19,62	> 13%
Vacíos rellenos asfalto	5,70	67,37	65 - 75%

Fuente: Navarrete,(2018)

El porcentaje de asfalto del pavimento asfaltico envejecido se lo obtuvo mediante el método de centrifugado para determinación de contenido de asfalto en mezclas, en el cuadro 4.4 se muestran los valores del contenido de asfalto en las muestras.

Cuadro 4. 4 Porcentaje de asfalto del pavimento asfaltico envejecido

	Peso Seco de la Muestra Asfáltica:	1000,00	gramos
	Peso de la Muestra Seca después de la Extracción de Asfalto:	945,00	gramos
	Contenido de Asfalto (C. - A.):	55,00	gramos
	Peso del Filtro:	21,00	gramos
	Peso del Filtro Seco después de Extracción de Asfalto:	23,00	gramos
(e-d)	Material Fino Retenido en el Filtro:	2,00	gramos
(b+f)	Peso Total de la Muestra Seca después de la Extracción:	947,00	gramos
(c+f)	Contenido Total de Asfalto (C - A.):	57,00	gramos
(h/a)*100	Contenido de Asfalto (%):	5,70	%

Fuente: Navarrete,(2018)

4.2.7. COMBINACIONES DE PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO CON AGREGADOS PETREOS PARA EL DISENO DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

En los cuadros 4.5, 4.6 y 4.7 se observa cada una de las curvas granulométricas para determinar cuáles de estas cumplen con las exigencias de acuerdo a las Especificaciones generales para la construcción de caminos y puentes MOP 001-F-2002, capítulo 400 Estructura del pavimento. Llegando a establecer que la curva con el 50% de material reciclado y con la adición del 50% de materiales pétreos se comporta mejor con relación a las otras curvas con porcentajes de 40% y 60% de material reciclado.

Cuadro 4. 5 Graduación granulométrica centrada del pavimento asfaltico al 52 % envejecido enriquecido con agregados pétreos al 48%

GRADUACIÓN COMBINADA PARA LA MEZCLA 52% P.A.E. y 48%AGREGADOS PETREOS							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	10%	10.0	4.8	0.2	0.2	0.1	0.1
Árido No. 2	16%	16.0	16.0	2.3	0.7	0.5	0.4
Árido No. 3	16%	16.0	16.0	15.3	10.2	4.8	2.0
Árido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
Reciclado	52%	52.0	50.4	37.7	25.8	10.5	2.0
GRANULOMETRÍA OBTENIDA		100.0	93.2	61.4	42.7	17.6	4.6
ESPECIFICACIÓN		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: Navarrete,(2018)

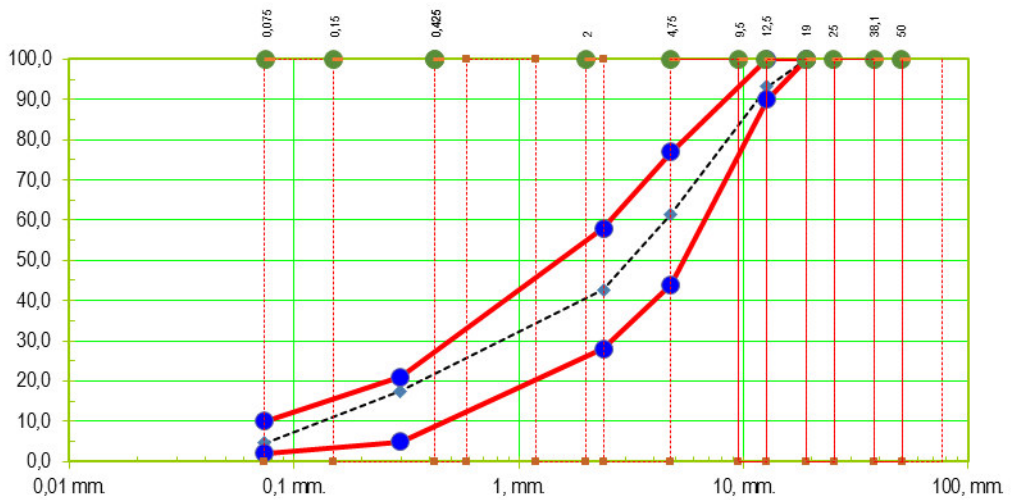


Figura 4.1 Curva granulométrica centrada del pavimento asfáltico envejecido al 52% enriquecido con agregados pétreos al 48%

Fuente: El investigador,(2018)

Cuadro 4. 6 Graduación granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 52% enriquecido con agregados pétreos 48%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Árido No. 1	8%	8.0	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1
Árido No. 2	8%	8.0	8.0	1.2	0.3	0.3	0.2
Árido No. 3	26%	26.0	26.0	24.9	16.6	7.8	3.3
Árido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
Reciclado	52%	52.0	50.4	37.7	25.8	10.5	2.0
GRANULOMETRÍA OBTENIDA		100.0	94.2	69.8	48.8	20.3	5.6
ESPECIFICACIÓN		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRÍA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

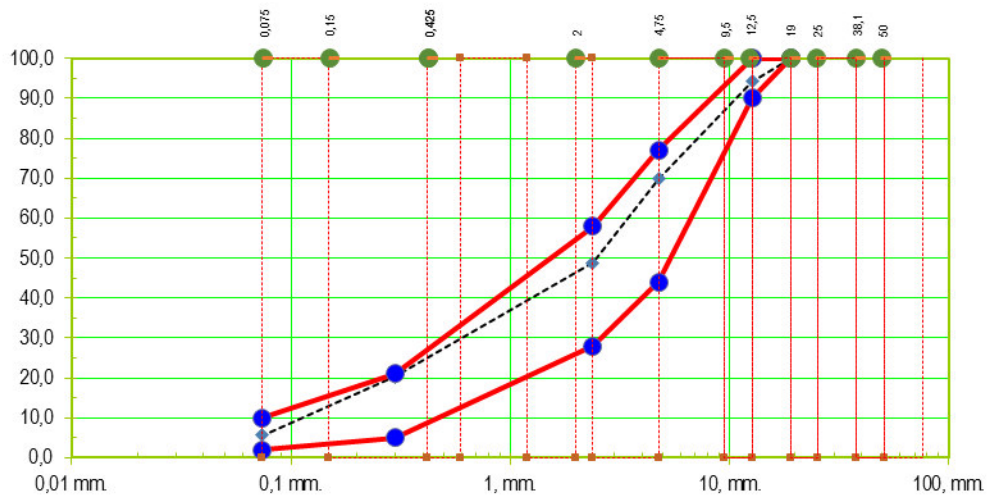


Figura 4. 1 Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 52% con agregados pétreos al 48%

Fuente: El investigador,(2018)

Cuadro 4. 7 Graduación granulométrica gruesa del pavimento asfáltico envejecido al 52% enriquecido con agregados pétreos 48%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	12%	12.0	5.7	0.2	0.2	0.2	0.1
Arido No. 2	22%	22.0	22.0	3.2	0.9	0.7	0.5
Arido No. 3	14%	14.0	14.0	13.4	9.0	4.2	1.8
Arido No. 4	2%	2.0	2.0	2.0	1.9	0.6	0.0
Reciclado	52%	52.0	50.4	37.7	25.8	10.5	2.0
GRANULOMETRIA OBTENIDA		102.0	94.1	56.5	37.8	16.1	4.5
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

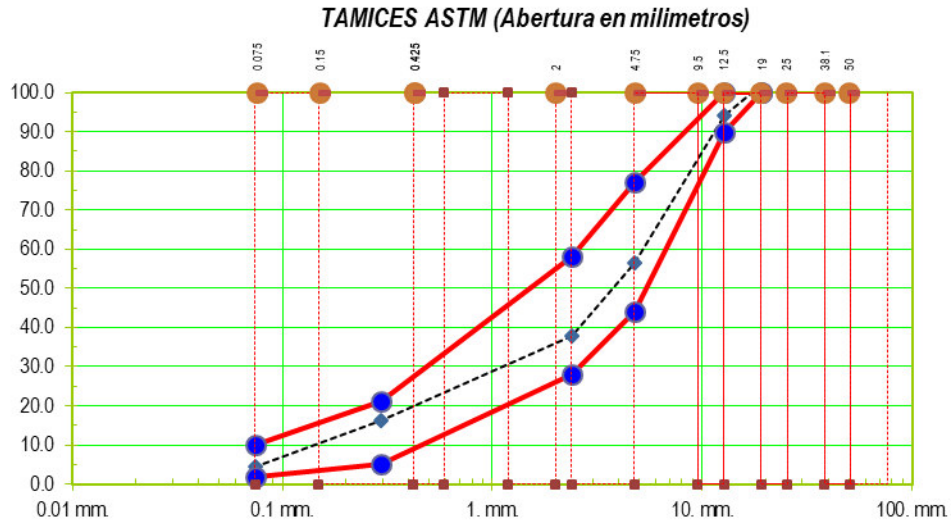


Figura 4. 2 Curva granulométrica gruesa del pavimento asfáltico envejecido al 52% con aareados pétreos al 48%

Fuente: El investigador,(2018)

4.3. ANÁLISIS ECONÓMICO

En el cuadro 4.5, muestra el análisis económico por metro cubico de cada uno de los tratamientos. La mezcla asfáltica convencional (Testigo absoluto) obtuvo precio total por m³ de \$52,93 dólares estadounidenses y determino que, en comparación con todos los tratamientos investigado que se les añadió material reutilizable obtuvieron menor costo de producción, donde se destacaron los tratamientos G1E1 (granulometría fina y 4% de elastómero) y G2E1 (Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 4% de elastómero) con \$45,04 y \$45,07 dólares estadounidenses, respectivamente.

Cuadro 4. 8 Análisis económico

Tratamiento	Rubro o Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (dolar)	Precio Total* (dólar)
G1E1	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría fina y 4% de elastómero	m ³	1	45,04	45,04
G1E2	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría fina y 8% de elastómero	m ³	1	46,72	46,72
G1E3	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría fina y 12% de elastómero	m ³	1	48,41	48,41
G1E4	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría fina y 16% de elastómero	m ³	1	50,09	50,09
G2E1	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 4% de elastómero	m ³	1	45,07	45,07
G2E2	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 8% de elastómero	m ³	1	46,75	46,75
G2E3	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 12% de elastómero	m ³	1	48,44	48,44
G2E4	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 16% de polvo de caucho	m ³	1	50,12	50,12
G3E1	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría gruesa y 4% de polvo de caucho	m ³	1	45,17	45,17
G3E2	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría gruesa y 8% de polvo de caucho	m ³	1	46,85	46,85
G3E3	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría gruesa y 12% de polvo de caucho	m ³	1	48,54	48,54
G3E4	Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría gruesa y 16% de polvo de caucho	m ³	1	50,22	50,22
T0	Mezcla asfáltica convencionales	m ³	1	52,93	52,93

*Precio total, valido solo para costos en planta.

Fuente: El investigador,(2018)

4.4. IMPACTO AMBIENTAL

Mediante la generación de asfalto modificado con residuos sólidos de elastómeros y asfalto envejecido, se logrará obtener un pavimento sustentable, mitigando el impacto ambiental, reduciendo el consumo de energía y recursos naturales; conjuntamente mediante el análisis económico realizado en la presente investigación, se evidencia que los costos de

producción de asfalto modificado son menor que los costos de las mezcla asfáltica convencional.

A través de una identificación de impacto ambiental se estima que el impacto generado por los neumáticos fuera de uso (NFU), afecta al ecosistema, debido que estos residuos poseen una lenta descomposición al ser almacenados en un relleno sanitario, y no es conveniente realizar la incineración de neumáticos ya que al incinerarlo se emitirían sustancias tóxicas que se liberan mediante el humo hacia a la atmósfera, afectando de esta manera la calidad del aire y la calidad de vida de las personas, concordando con Días *et al.*, (2011) quienes mediante una investigación establecen que la disposición final de las llantas usadas ha llegado a representar un problema técnico, económico, ambiental y de salud pública; ya que los NFU son difíciles de compactar en un relleno sanitario, haciendo este proceso costoso y presentando además el inconveniente es que ocupan mucho espacio.

Otro impacto ambiental generado por el mal uso de los NFU, es provocado por la cantidad de residuos que son abandonados o depositados en diversas áreas, sin tener en consideración que se convierten en hábitats para la generación de agentes patógenos, causando así enfermedades y alteraciones a la salud de los seres humanos, coincidiendo con López y Torres (2015) quienes indican que las llantas usadas provocan contaminaciones visuales en el espacio público, generación de enfermedades por quema a cielo abierto, contaminantes de referencia al aire, proliferación de mosquitos y roedores.

El riesgo por incendios es también un impacto negativo causado por el inadecuado manejo de los neumáticos usados (residuos sólidos de elastómeros); ya que en la mayoría de las ocasiones los neumáticos son almacenados sin las medidas de bioseguridad necesaria para controlar este tipo de eventos, concordando con Guillén y Magallanes (2014) quienes indican en su investigación, que la acumulación de neumáticos constituye un peligro de incendio, lo cual también representa un problema de salud pública

por desprender gran cantidad de gases y humos con un alto contenido de sustancias tóxicas que se forman debido a procesos ineficaces de combustión. Así mismo se determina que el impacto visual es otro componente negativo, ya que el inadecuado manejo de estos residuos provoca el deterioro paisajístico.

El uso de asfalto modificado con los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido, generará consigo impactos positivos, ya que mediante la reutilización de este producto, se reducirán al máximo los impactos ambientales negativos generados por la inadecuada gestión integral de estos residuos, coincidiendo con Dueñas y Calume (2017) quienes establecen en su investigación que el uso de asfalto modificado permitirá disminuir el impacto ambiental negativo que producen las llantas usadas.

De esta manera los materiales utilizados para la obtención de la mezcla de asfalto modificado, son residuos sólidos que comúnmente no son aprovechado de la mejor manera; por tal razón ante la reutilización de estos residuos se contribuirá a reducir los impactos ambientales negativos y generar nuevas culturas para el desarrollo sostenible en el área de pavimentos.

Por lo descrito anteriormente se determina que los principales impactos positivos/negativos que se generaran con la reutilización de estos residuos se detallan en la siguiente matriz causa- efecto:

4.4.1. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Cuadro 4.9 Identificación de impactos

FACTORES AMBIENTALES			ACTIVIDADES						
COMPONENTE	CÓDIGO	ASPECTO AMBIENTAL	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	NUMERO DE ACCIONES
			Trituración mecánica de NFU - obtención del polvo de caucho	Obtención de asfalto envejecido	Obtención de materiales pétreos	Transporte de materiales hacia los centros de acopio	Mezcla de materiales	Tendido de mezcla asfáltica modificada sobre las vías	
AIRE	A1	Calidad del aire	X		X	X			3
	A2	Ruido y Vibraciones	X	X	X	X		X	5
	A3	Emisiones Atmosfericas		X	X	X	X	X	5
SOCIOECONÓMICO	So1	Desarrollo económico local	X	X	X	X	X	X	6
	So2	Economico						X	1
	So3	Salud	X			X			2
CULTURAL	C1	Estético Paisajístico	X	X				X	3
RELLENO SANITARIO	R1	Vida útil del relleno sanitario	X						1
NUMERO DE FACTORES AFECTADOS:			6	4	4	5	2	5	26

Fuente: El investigador, (2018)

4.4.2. VALORIZACIÓN DE IMPACTOS

Cuadro 4.10 Valorización de impactos

INTERACCIÓN CAUSA - EFECTO		CARACTER O AFECCION ±	CARACTERISTICAS DEL IMPACTO AMBIENTAL			IMPORTANCIA CALCULADA Imp	MAGNITUD DEL IMPACTO Mag	VALOR DEL IMPACTO VI	SEVERO	MODERADOS	COMPATIBLE	BENEFICIOSO	
Acción Código	Factor Código		Extensión E	Duración D	Reversibilidad R								
A-1	A1	-	Negativo	1.00	2.50	5.00	3.20	6.00	-4.38				
A-1	A2	-	Negativo	2.50	2.50	5.00	3.50	5.00	-4.18			1	
A-1	So1	+	Positivo	5.00	7.50	2.50	5.00	8.00	6.32				1
A-1	So3	-	Negativo	2.50	2.50	2.50	2.50	7.00	-4.18			1	
A-1	C1	+	Positivo	5.00	5.00	2.50	4.00	8.00	5.66				1
A-1	R1	+	Positivo	7.50	7.50	2.50	5.50	9.00	7.04				1
A-2	A2	-	Negativo	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	-5.48				
A-2	A3	-	Negativo	7.50	5.00	5.00	5.50	6.00	-5.74		1		
A-2	So1	+	Positivo	5.00	7.50	2.50	5.00	9.00	6.71		1		
A-2	C1	+	Positivo	7.50	7.50	5.00	6.50	9.00	7.65				1
A-3	A1	-	Negativo	2.50	2.50	2.50	2.50	6.00	-3.87				
A-3	A2	-	Negativo	2.50	2.50	2.50	2.50	6.00	-3.87			1	
A-3	A3	-	Negativo	2.50	2.50	2.50	2.50	7.00	-4.18			1	
A-3	So1	+	Positivo	5.00	5.00	2.50	4.00	8.00	5.66				1
A-4	A1	-	Negativo	5.00	2.50	2.50	3.00	7.00	-4.58				
A-4	A2	-	Negativo	5.00	2.50	2.50	3.00	7.00	-4.58		1		
A-4	A3	-	Negativo	5.00	2.50	5.00	4.00	7.00	-5.29		1		
A-4	So1	+	Positivo	5.00	5.00	5.00	5.00	9.00	6.71				1
A-4	So3	-	Negativo	5.00	2.50	5.00	4.00	6.00	-4.90		1		
A-5	A3	-	Negativo	5.00	2.50	5.00	4.00	4.00	-4.00			1	
A-5	So1	+	Positivo	5.00	2.50	5.00	4.00	7.00	5.29				1
A-6	A2	-	Negativo	5.00	1.00	2.50	2.40	7.00	-4.10				
A-6	A3	-	Negativo	7.50	5.00	5.00	5.50	7.00	-6.20				
A-6	So1	+	Positivo	7.50	7.50	7.50	7.50	9.00	8.22				1
A-6	So2	+	Positivo	10.00	7.50	5.00	7.00	8.00	7.48				1
A-6	C1	+	Positivo	7.50	7.50	5.00	6.50	8.00	7.21				1
SUMA								0	7	8	11		

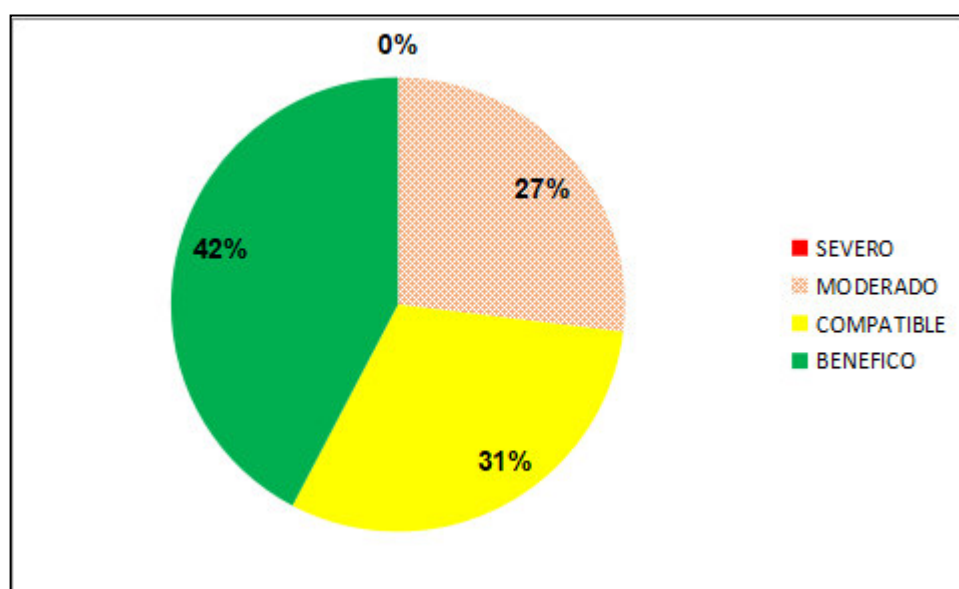
TOTAL
26

Fuente: El investigador, (2018)

4.4.3. ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS

Se concluye que no hay impactos ambientales severos; los moderados, están alrededor del 27 por ciento; los compatibles están alrededor del 31 por ciento, estos son de fácil corrección, considerados de forma general, y por último los impactos positivos están en 42 por ciento, los cuales son importantes por la generación de empleo y disminución de costos en la obtención de asfalto modificado.

Figura 4. 3 Análisis de impactos



Fuente: El investigador, (2018)

4.4.4. DESCRIPCIÓN DE IMPACTOS

4.4.4.1. AIRE

Calidad del aire: Durante el proceso de tratamiento de residuos de elastómeros y asfalto envejecido, se puede generar cierta cantidad de material particulado, que si no es manejado adecuadamente pueden incidir en la calidad del aire y salud pública de los habitantes del sector.

Ruido y vibraciones: El incremento de los niveles de ruido se puede dar por los equipos y maquinarias utilizados durante el proceso de obtención del asfalto modificado.

Calidad del aire: Realizando el adecuado manejo de los NFU y evitando la quema de estos residuos, se logrará disminuir los gases que normalmente se emiten por la incineración de neumáticos usados y la inadecuada gestión de los mismos; sin embargo se puede generar cierta cantidad de emisiones gaseosas a la atmosfera, debido al uso de equipos y maquinarias durante las actividades realizadas.

4.4.4.2. SOCIOECONÓMICO

Generación de mano de obra local: Mediante la adecuada Gestión de los residuos de elastómeros y asfalto envejecido se crearán nuevas oportunidades laborales para las personas del área de influencia donde se realizará a gestión.

Económico: La reutilización de estos residuos permitirán disminuir costos para la creación de nuevos asfalto, que serán utilizados en las vías del Cantón Bolívar; ya que los materiales a utilizar son residuos que en la mayoría de las ocasiones son desechados en los rellenos sanitarios y escombreras, sin darle reuso alguno, lo cual se lo considera como pérdida de recursos económicos. Por tal razón para obtener el máximo aprovechamiento de estos residuos, se obtendrá asfalto modificado mediante un proceso adecuado.

Salud: Debido a las actividades que se realicen durante la obtención del asfalto modificado, se puede generar cierta cantidad de material particulado que pueden incidir en la calidad del aire y salud pública de los habitantes del sector.

4.4.4.3. CULTURAL

Estético Paisajístico: La gestión integral de los residuos sólidos de elastómeros y asfalto envejecido, permitirá que no se acopien estos residuos en cualquier área de la ciudad, garantizando así el mejoramiento de la calidad paisajística.

4.4.4.4. RELLENO SANITARIO

Incremento de la vida útil del relleno sanitario: Se reducirá el volumen de neumáticos fuera de uso en los rellenos sanitarios, de tal manera se ocupará menos espacios, que puede ser utilizado para otros residuos, por tal razón se incrementa la vida útil de un relleno sanitario.

Tomando en cuenta los impactos positivos y negativos que se pueden generar durante la obtención del asfalto modificado, con residuos sólidos de elastómeros y asfalto envejecido, es necesario realizar una propuesta ambiental, con la finalidad de realizar la adecuada gestión de los residuos sólidos a utilizar.

4.5 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A partir del análisis estadístico realizado, la reutilización de elastómero y pavimento asfáltico envejecido, influye positivamente en las propiedades de las mezclas asfálticas modificadas por lo que se obtuvo diferencias estadísticas significativas y altamente significativas en la mayoría de sus parámetros como se muestra en los cuadros 4.1 y 4.2, además se evidencia que influye positivamente, en el ámbito ambiental, por lo que se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza la hipótesis nula.

CAPITULO 5: IMPACTOS

5.1. PROPUESTA DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA REUTILIZACIÓN DE ELASTÓMERO Y PAVIMENTO ASFÁLTICO ENVEJECIDO, EN EL DESARROLLO SOSTENIBLE Y AMBIENTAL, EN LA CIUDAD DE CALCETA CABECERA CANTONAL DEL CANTÓN BOLÍVAR PERTENECIENTE A LA PROVINCIA DE MANABÍ.

El plan de gestión ambiental propuesto para la reutilización de Elastómero y Pavimento Asfáltico envejecido, se realizó de acuerdo a lo establecido en el Acuerdo Ministerial 098 del Ministerio del Ambiente donde se establece la gestión integral de neumático usados en el Ecuador. La propuesta se basa específicamente en proponer la adecuada gestión (recolección, almacenamiento, transporte y disposición final) de los residuos a utilizar durante las actividades de reutilización de Elastómero y Pavimento Asfáltico envejecido.

Cuadro 5. 1 Recolección de residuos sólidos de Elastómero y asfalto envejecido

Línea estratégica: Recolección de residuos sólidos de Elastómero y asfalto envejecido				
Objetivo: Realizar la adecuada recolección de los residuos sólidos (Elastómero y asfalto envejecido) con la finalidad de lograr el adecuado aprovechamiento y reutilización.				
Meta: Recolectar el 80% de los neumáticos usados y asfalto envejecido generados en las diferentes áreas y lugares del Cantón Bolívar				
Acciones Propuestas	Frecuencias	Responsables	Indicadores	Medio de verificación
Diagnosticar	1 sola vez	GAD Municipal	% de	Informe de

la cantidad y calidad de residuos sólidos de Elastómero generados del Cantón Bolívar		del Cantón Bolívar	cantidad y calidad de residuos sólidos de elastómero generados	diagnóstico de residuos de elastómero
Diagnosticar las áreas de generación y la cantidad de asfalto envejecido para su respectiva reutilización	1 vez cada que se vaya a reutilización de este residuo	GAD Municipal del Cantón Bolívar	No. De áreas para el aprovechamiento de asfalto envejecido	Registro fotográfico e informe de cantidad de asfalto envejecido para reciclar
Identificar las áreas donde se realizará la recolección de los residuos	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	No. De áreas de recolección	Registro fotográfico
Campañas de recolección de neumáticos usados con la comunidad	Cada vez que se planifique realizar la reutilización	GAD Municipal del Cantón Bolívar	No. De campañas realizadas	Registro fotográficos

Recolectar los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido generados en el Cantón Bolívar.	Cada vez que se planifique realizar la reutilización	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Cantidad de residuos sólidos recolectados	Bitácora de cantidad de residuos sólidos recolectados
--	--	----------------------------------	---	---

Fuente: El investigador,(2018)

Cuadro 5. 2 Transporte de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido

Línea estratégica: Transporte de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido				
Objetivo: Realizar el transporte de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido a centros de acopios para su posterior almacenamiento temporal.				
Meta: Transportar el 100% de los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido recolectados en el cantón Bolívar hacia un centro de acopio temporal.				
Acciones Propuestas	Frecuencias	Responsables	Indicadores	Medio de verificación
Determinar rutas de transporte	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	No. De rutas establecidas - Coordenadas geográficas	Mapa de rutas
Determinar los horarios de transporte para los residuos de elastómero y asfalto	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Horario establecido para el transporte	Verificación In situ

envejecido				
Transportar los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido hacia el centro de acopio.	Cada vez que se planifique realizar la reutilización	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Cantidad de residuos sólidos transportados	Registro fotográficos - verificación in-situ

Fuente: El investigador,(2018)

Cuadro 5. 3 Acopio de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido

Línea estratégica: Acopio de residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido				
Objetivo: Almacenar adecuadamente los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido				
Meta: Almacenar el 100% de los residuos transportados				
Acciones Propuestas	Frecuencias	Responsables	Indicadores	Medio de verificación
Identificar el lugar donde se almacenarán los residuos transportados	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	1 Área destinada para el acopio temporal de estos residuos	Registro fotográfico - verificación in-situ
Diseñar el área de acopio temporal	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	100% Diseño de construcción	Planos de diseño

El centro de acopio deberá ser construido en un área intervenida, con la finalidad de evitar alteraciones a las características del ecosistema.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	100% Diseño de construcción	Planos de diseño
Construir el área de acopio temporal.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	100% área de acopio construida	Registro fotográfico - verificación in-situ
Implementar las medidas establecida en la normativa ambiental vigente, con la finalidad de preservar las características iniciales y evitar daños o pérdidas en los residuos recolectados, transportados y	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	100% de medidas aplicadas	Informe de cumplimiento de medidas aplicadas según la normativa ambiental vigente

almacenados				
-------------	--	--	--	--

Fuente: El investigador,(2018)

Cuadro 5. 4 Tratamiento y disposición Final

Objetivo: Disponer de un tratamiento eficiente para la reutilización de los residuos sólidos de elastómero y asfalto envejecido.				
Meta: Mediante el tratamiento se pretende lograr el máximo aprovechamiento de los residuos sólidos (elastómero y asfalto envejecido), con la finalidad de minimizar posibles impactos ambientales causados por el inadecuado manejo de los mismos				
Disminuir los sitios contaminados con neumáticos fuera de uso y asfalto envejecido.	Cada vez que se realice la reutilización	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Áreas libres de neumáticos y asfalto envejecido.	Registro fotográfico y verificación in-situ
Contar con una planta de tratamiento de residuos de elastómeros y asfalto modificado, con la finalidad de	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Planta de tratamiento de residuos sólidos de elastómeros y asfalto modificado	Registro fotográfico y verificación in-situ

realizar la adecuada gestión de los mismos				
La planta de tratamiento de residuos sólidos de elastómeros y asfalto modificado, deberá estar ubicada lejos del área poblada del cantón, con la finalidad de precautelar la salud pública de los habitantes del sector.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Planta de tratamiento de residuos sólidos de elastómeros y asfalto modificado fuera del área poblada	Registro fotográfico y verificación in-situ
Mediante la trituración mecánica se obtendrá el polvo de caucho para su posterior tratamiento y reutilización.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	% de neumáticos triturados	Informe de la cantidad de neumáticos triturados

Una vez obtenido el polvo de caucho, se deberá cubrir adecuadamente este material, con la finalidad de evitar dispersión a la atmósfera.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	100% del material cubierto adecuadamente.	Registro fotográfico y verificación in-situ.
Disponer el respectivo tratamiento de los residuos sólidos de elastómeros y la mezcla adecuada con asfalto envejecido, con la finalidad de aprovechar al máximo estos residuos y lograr su reutilización.	1 sola vez	GAD Municipal del Cantón Bolívar	Cantidad de asfalto modificado obtenido mediante un proceso de reutilización	Informe de cantidad de residuos reciclados - informe de cantidad de asfalto modificado mediante el proceso de reutilización
Realizar análisis de	Cada vez que se requiera	GAD Municipal del	Nº de monitoreo	Informe de monitoreo

<p>calidad del aire ambiente, mediante laboratorios acreditados y comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en la normativa ambiental vigente. (Acuerdo Ministerial 097 - A.)</p>		Cantón Bolívar	realizados	realizado y comparado con los límites permisibles establecidos.
<p>Utilizar el asfalto modificado en rehabilitaciones viales del cantón Bolívar</p>	<p>Cada que se requiera rehabilitaciones viales en el cantón Bolívar</p>	<p>GAD Municipal del Cantón Bolívar</p>	<p>No. De vías rehabilitadas</p>	<p>Registro fotográficos-verificación <i>In situ</i> e Informe de vías rehabilitadas</p>

Fuente: El investigador,(2018)

5.2. DESARROLLO DE LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS DE ELASTÓMERO Y ASFALTO ENVEJECIDO DEL CANTÓN BOLÍVAR

5.2.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer medidas de gestión ambiental para el adecuado manejo integral de Residuos Sólidos de Elastómero y pavimento asfáltico envejecido, estableciendo mecanismos óptimos para el manejo y tratamiento de los mismos.

5.2.2. RECOLECCIÓN

La recolección de los residuos sólidos de Elastómero y pavimento asfáltico envejecido, se realizará mediante un camión recolector específicamente en la ciudad de Calceta. La recolección de estos residuos deberá cubrir en su totalidad las áreas generadoras de neumáticos usados y pavimento asfáltico envejecido, procurando que la permanencia del residuo en el sitio de generación sea el menor tiempo posible, con la finalidad de evitar fuentes de contaminación a recursos naturales. Se deberá llevar un registro de los residuos recolectados con la finalidad de saber la cantidad total de residuos a reutilizar.

5.2.3. TRANSPORTE

Una vez recolectados los residuos sólidos a reutilizar, serán transportados a un lugar que preste las condiciones necesarias para ser acopiados, con la finalidad de caracterizar y procesar el material hasta cumplir con los criterios fundamentales para su tratamiento y disposición final. El transporte se realizará en horarios diurnos o matutinos.

5.2.4. ALMACENAMIENTO

Una vez recolectados, pesados y transportados los residuos se descargarán y se clasificarán acorde a su tamaño y el tipo, posteriormente se almacenarán en un centro de acopio destinado específicamente para este fin. El centro de acopio deberá disponer un cerramiento adecuado, con la finalidad de proteger los residuos de posibles agresiones externas, deberá contar con superficies planas, que permitan su adecuada limpieza evitando la formación de ambientes que generen microorganismos en general. Conjuntamente deberá contar con la suficiente área para almacenar los residuos recolectados según la frecuencia determinada. De esta manera el centro de acopio deberá ser construido en un lugar que no genere impactos negativos ni molestias al área de influencia.

5.2.5. TRATAMIENTO, ELIMINACIÓN Y DISPOSICIÓN FINAL

El tratamiento de estos residuos se lo realizará mediante una planta de tratamiento para neumáticos fuera de uso y pavimento asfáltico envejecido, la cual contará con un laboratorio de asfalto donde se efectuará el diseño de mezclas asfálticas con la reutilización de residuos sólidos.

El tratamiento que recibirán los residuos sólidos de elastómeros recolectados durante el proceso de gestión, es la trituración mecánica (Olivares, 2016). Este método se aplicará debido que durante el proceso no se necesitan agentes químicos, por tal razón no afectaría al medio ambiente en comparación con otros métodos.

El neumático pasará primeramente por una máquina trituradora primaria, debido que esta máquina permite triturar el neumático entero; posteriormente los restos de estos residuos obtenidos de este primer proceso pasarán a un triturado secundario o también denominado rallador con la finalidad de refinar los trozos de neumático ásperos hasta convertirse en virutas. Una vez que el material ha

pasado por la maquinaria secundaria (rallador) el acolchado de caucho obtenido de este proceso, se someterá al granulador con cinta de vibración, donde con la ayuda de un separador magnético sobre la cinta, se logrará separar otros materiales del caucho (nylon, poliéster, Alambre de acero, entre otros) resultando el caucho granulado limpio. Finalmente para obtener el producto final para la reutilización de este residuo se someterá como último paso al equipo de fresado, es decir el caucho granulado se colocará en un molino con la finalidad de reducir el tamaño de la partícula y obtener como producto final el polvo de caucho.

Una vez obtenido el polvo de caucho, se realizará la mezcla ideal con asfalto envejecido tal y como se detalla en el experimento de la presente investigación, con el objetivo de obtener como producto final asfalto modificado y utilizarlo en rehabilitaciones viales del Cantón Bolívar.

CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- El pavimento asfáltico envejecido se puede reutilizar de acuerdo a los análisis realizados hasta en un 52%, para el diseño de nuevas mezclas asfálticas y el 48% con nuevos agregados pétreos del volumen total de la mezcla.
- La adición de 4%, 8% y 12% de elastómero, así como las granulometrías media y fina, en el diseño de mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, contribuyeron a obtener buen comportamiento con la reutilización de elastómero y pavimento asfáltico, por ende puede ser utilizado a nivel de campo en mezclas asfálticas modificadas.
- El costo de producción en planta de la mezcla asfáltica convencional por m³ es de \$52,93 dólares estadounidenses y en comparación con todos los tratamientos investigados que se les añadió material reutilizable obtuvieron menor costo de producción, donde se destacaron los tratamientos G1E1 (granulometría fina y 4% de elastómero) y G2E1 (Mezcla asfáltica con reciclado, granulometría media y 4% de elastómero) con \$45,04 y \$45,07, considerándose como una ventaja por su costo.
- Mediante la reutilización de los residuos sólidos de elastómeros y pavimento asfáltico envejecido se contribuirá a disminuir y mitigar los impactos negativos al medio ambiente, ya que se recolectará un gran porcentaje de neumático fuera de uso y se reutilizará asfalto envejecido, con lo cual se evitará por un lado la quema de neumáticos que es dañino para el ecosistema y la salud pública, y por el otro, disminuir la demanda de materiales necesarios para la fabricación de nuevos pavimentos asfálticos y así mitigar, prevenir y minimizar posibles impactos negativos causados por la generación e inadecuado manejo de estos residuos sólidos, contrarrestando los impactos negativos y potenciando impactos positivos, beneficiando mediante esta gestión a los habitantes del sector.

- La propuesta del plan de gestión ambiental influye positivamente en el ecosistema de la ciudad de Calceta, y se involucra directamente con las tres grandes alternativas de tecnologías limpias para la industria en general, donde se busca reducir residuos en el origen, originando cambios en los productos y cambios en los procesos productivos, sustituyendo materias primas e insumos, innovando en tecnologías y en gestión de operaciones. Con el aliciente de que las mezclas asfálticas modificadas con material reutilizado a nivel general, resultan viable económicamente teniendo en comparación el costo de producir el pavimento asfáltico convencional.

En base a las conclusiones, se recomienda lo siguiente:

- Evaluar a nivel de campo la combinación de 4%, 8% y 12% en fajas granulométricas fina y media, para carreteras con tráfico liviano y medio.
- Construir una planta procesadora de materiales y residuos de NFU, con la inclusión de la planta productora de mezclas asfálticas modificadas.
- Utilizar el tratamiento G2E3 (granulométrica media, con 12% de elastómero) siendo \$3,40 dólares estadounidenses mayor al precio unitario de G1E1 (granulometría fina, con 4% de elastómero), sabiendo que se utiliza 8% más de polvo de neumáticos fuera de uso y con el atenuante que es \$4,49 dólares estadounidenses menor al costo de producción de una mezcla asfáltica convencional.
- Realizar la adecuada gestión integral de los residuos sólidos de elastómeros y asfalto envejecido, logrando de esta manera minimizar y mitigar los posibles impactos negativos.
- Presentar este estudio a los gobiernos locales y provinciales, así como a las entidades encargadas de la construcción y mantenimiento de las redes vial del Ecuador.
- Plantear a partir de esta investigación nuevas líneas que contribuyan a la construcción sustentable de vías con mezclas asfálticas modificadas para diferentes tipos de tráfico así como al mantenimiento de las mismas.

- Formular investigaciones direccionadas a la producción de impactos ambientales de consecuencias irreversibles, al manejo de los recursos naturales que impactan en la calidad de vida de la población y en la sostenibilidad de los procesos productivos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguado, L y Gonzales, M. 2010. Reciclado de neumáticos para la fabricación de láminas impermeabilizantes en la construcción. Obtenido de Escuela Politecnica de Madrid: <http://oa.upm.es>
- Alcantara, V. 2015. Fabricante mexicano de materias primas apuesta por el reciclaje de llantas. Tecnología del plástico, 2.
- Anonimo. 2014. Residuos. Obtenido de Fundación vida sostenible: <http://www.vidasostenible.org/>
- Arroyave, J y Garces, L. 2007. Tecnologías ambientales sostenibles. La salle, 79-86.
- Babatin, D. 2017. Evaluación de la afectación en la calidad del aire por el incidente de quema accidental de llantas usadas en la localidad de fontibonbogotá en el año 2014
- Barrezueta, H. 2015. Reforma del libro VI del texto unificado de legislación secundaria. Quito: Corporación de estudios y publicaciones.
- Bertalot, E. 2017. Una mirada al reciclaje de neumáticos fuera de uso. SLTCaucho nº19, 1-19.
- BIR (Bureau Of International Recycling). 2016. Neumáticos. Obtenido de La industria : <http://www.bir.org/>
- Burbano, G. 2012. Obtención del Porcentaje óptimo de asfalto para el diseño de mezclas densas en caliente, con cemento asfáltico normal y modificado mediante el método de marshall, empleando agregados petreos de la cantera de San Francisco, departamento de putumayo y asfalto de barranquera de barrancabermeja.
- Bustos, G. 2010. Pliego de prescripciones tecnicas generales para obras de carreteras y puentes. Madrid: LITEAM.
- Calahorra, M. Giménez, Z. Herrera, R. Martínez,J.y Salazar, L. 2016. Análisis de ciclo de vida de mezcla asfáltica con/sin caucho: Estudio de caso. Bogotá, Colombia
- Cano, E. Cerezo, L y Urbina, M. 2008. Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso actualización. Madrid. <http://www.recuperaresiduosencementeras.org/>
- Cardona, L y Sánchez, L. 2011. Aprovechamiento de llantas usadas. Medellin Colombia. <http://udem.edu.co/>
- Castaño, F.; Herrera, J.; Gómez, J. y Reyes, F. 2009. Análisis cualitativo del flujo de agua de infiltración para el control del drenaje de una estructura de pavimento flexible en la ciudad de Bogotá D.C
- Cantera, S. 2018. KIA apoya empresa de reciclaje de llantas. El Universal.

- Castro, G. 2007. Alternativas de reciclaje de neumáticos en desuso. Buenos Aires: Departamento de Ingeniería De la Universidad de Buenos Aires.
- Castro, G. 2008. Materiales y compuestos para la industria del neumático.
- Castro, V. 2015. Estudio de factibilidad de creación de una empresa recicladora de neumáticos desechados, para la producción de caucho modificador de asfalto, en la provincia de Guayas. Ecuador.
- CEDEX (Centro de estudios y experimentación de obras públicas). 2011. Reciclado de pavimentos asfálticos. Madrid: Cedex.
- Conesa, V. 2010. Guía Metodológica para la evaluación de impacto ambiental. 4ta edición. Madrid (España),220-293
- Cuattrocchio, A. Botasso, H. Rebollo, O. y Soengas, C. 2006. El uso de caucho de cubiertas en mezclas asfálticas. <https://lemac.frlp.utn.edu.ar>
- CCQ (Cámara de Construcción de Quito) 2004.
- Cruz, C. (2012). Plan de negocios de reciclado de llantas usadas como oportunidad de negocios, en la utilización de productos innovadores. Quito-Ecuador
- Delarze, P. 2008. Reciclaje de neumáticos y su aplicación en la construcción.
- Díaz, C. y Castro, L. 2017. Implementación del grano de caucho reciclado (gcr) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles En Bogotá. Bogotá.
- Dpto. Medio Ambiente. CCOO . Aragón.2002. Informe sobre el Proyecto de Instalación de una Planta de Incineración de Neumáticos mediante Termólisis en la localidad de Alloza (Teruel) promovido por PRENASA. <http://studylib.es/doc>
- Dueñas, A y Calume, S. 2017. Recopilación y análisis sobre el uso del grano de caucho modificado (gcm) para la utilización por vía seca en el diseño de carpetas asfálticas en bogotá. Bogotá.
- Expok (Comunicación de Sustentabilidad y RSE). 2016. Reutilización y reciclaje de neumáticos, la alternativa de Bridgestone. Expok.
- Expreso. 2016. El reciclaje de llantas viejas genera artesanía y sustento. Diario Expreso, pág. 4.
- Fernández, W. 2016. Modificación Del Concreto Asfáltico (Mdc-19) Con La Sustitución Del Llenante Mineral Por Calamina Y La Incorporación Del Aditivo "Husil". Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Distrital: <http://hdl.handle.net/11349/5384>
- Franco, M. 2015. Análisis del acuerdo n.020 del ministerio del ambiente del ecuador para definir la prefactibilidad del desarrollo de un plan de reciclaje de neumáticos fuera de uso. Quito Ecuador. <http://.puce.edu.ec/>

- Gaete, R y Solminihaç, H. 2012. Estudio de la resistencia al deslizamiento en pavimentos asfálticos en Chile. Revista de Ingeniería de Construcción , 41-76. Obtenido de Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Garnica, P; Delgado, H; Gómez, J; Alonso, S; Alarcón, H. 2004. Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. Sanfandila: Secretaria de comunicaciones y transportes.
- Garnica, Paul; Delgado, Horacio. 2005. Análisis comparativo de los métodos marshall y superpave para compactación de mezclas asfálticas. Sanfandila: Secretaria de Comunicaciones y Transportes.
- Garzon, M y Yancha, A. 2013. Modulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresion. Quito : UCE.
- Grytsenko, A., Pozdniakova, Y., & Vnukova, N. 2016. Estimation of possibility of tyre utilization products. Obtenido de Biblioteca Universia: <http://biblioteca.universia.net>
- Gutierrez, M. 2013. Diseño del plan de gestión integral de residuos sólidos para bimbo de colombia s.a planta yumbo, valle del cauca colombia.
- Hernandez, C. 2013. Plan tecnológico del proceso de reciclado de llantas.Santiago <http://ri.uaq.mx/bitstream/>
- Hohr, R y Ripa, J. 2016. Que país produce mas basura. Diario El Pais, pág. 23.
- Jimenez, M. 2011. Asfalto espumado. PITRA, 1-5. Obtenido de Programa de Infraestructura del Transporte: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/>
- Jimenez, M; Sibaja, D; Molina, D. 2009. Mezclas asfálticas en frio en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones . Infraestructura vial , 18-29.
- JRS Consultores. 2017. Relatorio De Impacto Ambiental (R.I.M.A.) Intersud S.A. Recepción, trituración y destino final de los Neumáticos Fuera de Uso (NFU). Distrito: Areguá; Departamento: Central
- Lacamara, M. 2014. Brasil estrena el asfalto ecológico. Obtenido de Twenergy: <https://twenergy.com>
- Lecitra, M. 2010. Reducir, Reutilizar y Reciclar: El problema de los residuos sólidos urbanos. Obtenido de Grupo de estudios internacionales contemporaneos : <https://geic.files.wordpress.com/>
- López, J y Torres, J.2015. alternativas para el manejo de llantas usadas en la ciudad de bogotá d.c
- López, F. Álvarez,T.y Alguacil, F. 2012. Aprovechamiento energético de residuos: el caso de los neumáticos fuera de uso
- Luján, J.(s/f).contaminación ambiental y posibles daños a la salud causados por la quema de neumáticos en la vía pública. Argentina
- MAE (Ministerio del Ambiente). 2004. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental . En Ambiente, Sistema integrado de legislación Ecuatoriana. Quito : Lexis S.A.

- MAE (Ministerio del Ambiente). 2016. 1 500 000 Unidades de neumáticos fuera de uso se recuperaron en Ecuador en dos años. Obtenido de Noticias del Ministerio del Ambiente Ecuador: <http://www.ambiente.gob.ec>
- MAE (Ministerio del Ambiente). 2015. Acuerdo Ministerial 061 que Reforma el Texto Único De Información Secundaria del Ministerio del Ambiente . Quito . Ministerio del Ambiente Ecuador: <http://www.ambiente.gob.ec>
- MAE (Ministerio del Ambiente). 2015. Acuerdo Ministerial 098 Instrutivo para la gestión integral de neumáticos usados. Ecuador
- Magallaganes, C y Guillem, I.2014. EXPERIENCIAS EN EL TRATAMIENTO DE NEUMÁTICOS FUERA DE USO EN IBEROAMÉRICA. Perú
- Matute, D y Ramos, R. 2015. Análisis de las emisiones producidas en la quema de combustibles líquidos obtenidos en el proceso de pirólisis de caucho vulcanizado. Cuenca -Ecuador.
- Meza, M. y Patarroyo, S. 2016. Plan de negocio dirigido a la recuperación de neumáticos usados y comercialización de grano de caucho reciclado (gcr) en la ciudad de Bogota.
- Mendoza, C. Del Castillo, J y Magri, K. 2011.Problemática del manejo de llantas usadas generadas por el parque automotor en la ciudad de Cartagena
- Miranda, R. 2010. Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/>
- Miro, R. 2006. Nuevas mezclas para capas de rodadura y su influencia en el Confort y la seguridad. Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Monzón, F. 2013. Diseño de emulsión asfáltica para el puerto Yurimaguas. Lima-Perú.
- Mora, P y Mesias, M. 2013. Propuesta económica, técnica y operativa para la creación de una empresa recicladora de llantas desechadas de vehículos para producir polvo de caucho y comercializarlo en la ciudad de quito: Caso práctico aplicación en el asfalto.
- Morales, P.; Chávez, O. y López, L. 2009. Efectos de la alta compactación de la capa de base en pavimentos flexibles. Managua, Nicaragua
- Navarrete, M. 2009. Estudio de la utilización como combustible alternativo y plan de disposición final de los neumáticos desechados en la ciudad de Riobamba. Obtenido de Repositorio de la Escuela Superior Politécnica e Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- Navarro, N y Muñoz, G. 2013. Confeción y seguimiento de tramos de prueba de mezclas asfálticas con incorporación de polvo de caucho Nacional de neumáticos fuera de uso mediante vía seca. Santiago de Chile: Universidad De Chile.
- Nikolaevna, N y Sanabria, L. 1997. Las mezclas asfálticas con aditivos de azufre elemental. Escuela Colombiana de Ingeniería , 130-143.

- BIBLIOGRAPHY Noguera, M., & Rincon, H. (2008). ¿Como determinar costos en la industria de la construcción *Vision Gerencial*, 126-144.
- Notimex. 2017. Se recolectaron casi 40 toneladas de llantas; serán recicladas. Moreles Habla.
- Ocampos, E. Villalba, M. Ruiz H. y Vera, C. 2016. Valoración económica de los daños ocasionados por los neumáticos fuera de uso en la Ciudad de Pedro Juan Caballero. <https://anaisonline.uems>.
- BIBLIOGRAPHY Ochoa, L., Igartua, M., Hernandez, R., y Gascon, A. (2006). Granulación por fusión en mezcladores granuladores de alta velocidad. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 40-47.
- Olivares, D. (2016). Planta de reciclaje de neumáticos de caucho Comercialización de miga de caucho. Antofagasta.
- OPS (Organización Panamericana de la salud). 2012. Manejo de desechos sólidos. Organización Mundial de la salud.
- OPS, O. P. (2002). Estado del arte del manejo de llantas usadas en las Américas. Lima: Oficina Sanitaria Panamericana.
- Paiva, G y Ramos, G. 2014. Reciclado de pavimentos asfálticos y su reutilización para el diseño de mezcla de asfalto en caliente. Pimentel: Universidad Señor de Sipan.
- Quezada, D. 2001. Recolección y utilización de neumáticos desechados como combustible alternativo en fábricas de cemento. Chile.
- Ramirez, N. 2006. Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco. Chile. <http://www.tesis.uchile.cl>
- Ramirez, A.; Ladino, I. y Rosas, J. 2014. Diseño de mezcla asfáltica con asfalto caucho tecnología gap graded para la ciudad de Bogotá. Bogotá.
- Ramos, P. ; Alvarez, C. y Ramos, P. 2002. Calidad ambiental, Editorial Universidad de Salamanca, Salamanca, España.
- Reisman, J. Pechan, E y Associates, I. 1997. Emisiones al aire de la combustión de llantas usadas
- Restrepo, H y Stephens, S. 2015. Estudio de las ventajas económicas del reciclaje en frío IN SITU de pavimentos asfálticos. Obtenido de Repositorio Universidad de Medellin : <http://repository.udem.edu.co>
- Reyes, F; Daza, C; Rondon, H. 2012. Determinación de las fracciones Sara de asfaltos colombianos envejecidos al medio ambiente empleando cromatografía líquida en columna. *Revista EIA*, 47-56.
- Reyes, F; Madrid, M; Salas, S. 2007. Mezclas asfálticas modificadas con un elastomero y un plastomero. *Revista de la Pontificia Universidad Javeriana* , 25-34.

- Reyes, O y Argoti, P. 2015. Empleo de elastómero para mejorar mezclas asfálticas. Revista Artemisa Unicauca Colombia , 1.
- Reyes, O y Camacho, J. 2006. The temperature of compacting and energy influence in dynamics properties of an asphalt mixture. . Revista Facultad de Ingenieria Universidad de Antioquia, 121-130.
- Romero, P; Bonifaz, H; Revelo, M. 2014. Diseño de mezclas asfálticas en caliente modificadas con elastómero y teraftalato de polietileno reciclados con ligante asfáltico AC-20. Repositorio ESPE, 20-25.
- Rondón, H. y Reyes, F. (2015). Pavimentos – Materiales, Construcción y Diseño. Bogotá: Editorial ECOE.
- Rondón, H. Rodríguez, E. Reyes, F. Real, C. Figueroa, A y Montealegre, T. 2007. Estado del conocimiento del estudio sobre mezclas asfálticas modificadas en Colombia .
- Sanabria, L; Garzon, G; Maldonado, J. 2010. Caracterización y evaluación del asfalto producido con los crudos Castilla y Gavan. Sciences Engineering Medicine , 66-89.
- Sandoval, C y Delgado, H. 2005. Análisis comparativo de los métodos de Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas. Sanfandila : Instituto Mexicano del Transporte.
- Sánchez, R. 2012. Segunda vida de los neumáticos usados . Revista Química Viva - Número 1: <http://www.redalyc.org>
- Santos, D. 2017. Evaluación de las propiedades mecánicas de una mezcla de concreto hidráulico para pavimento rígido con la inclusión de hormigón asfáltico recuperado tipo "rap". HYPERLINK "<http://revistas.unisimon.edu.co>" <http://revistas.unisimon.edu.co>
- Segura, A. 2016. estudio del comportamiento físico y mecánico de mezclas asfálticas; con materiales reutilizables en la construcción como escoria de acero. Colombia.
- SG (Statista Group). 2016. Ranking de los mayores fabricantes de neumáticos a nivel mundial según el volumen de ventas en 2016 (en miles de millones de dólares). Boston: Statista.
- Taller virtual. 2012. Que son los neumáticos radiales. Obtenido de Actualidad Motor: <https://www.actualidadmotor.com>
- Telégrafo. 2014. 30 mil llantas usadas tienen una nueva vida. Diario el Telégrafo, pág. 5.
- Terán, L. 2015. Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina cashapamba con metodología. Quito. Ecuador
- Unicauca. s.f. Análisis volumétrico de mezclas asfálticas compactadas en caliente. Obtenido de Insituto Nacional de vías : <ftp://ftp.unicauca.edu.co/>
- Universal. 2017. Bridgestone celebrara su quinto "Llantaton". El Universal.

- UPCB (Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech). s.f. Introducción al reciclado de pavimentos asfálticos. Obtenido de Repositorio UPC: <https://upcommons.upc.edu>
- Varea, A; Vargas, M; Barrezueta, L. 1995. Bosques, Árboles y Comunidades Rurales. FAO.
- Vargas, X y Reyes, F. 2010. Fenómeno de envejecimiento de los asfaltos . Revista de Ingeniería e Investigación UNAL, 27-44.
- Vazquez, I. 2017. La energía del cambio. Obtenido de La energía del cambio: <http://www.laenergíadelcambio.com>
- Vega, D. (2016). Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico. Universidad Técnica de Ambato, 1-114.
- Victoria, C y Ortiz, J. 2015. Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos . Revista Adifinidad LXXIII, 119-124.
- Vignart, J. (2010). Reciclado y posterior aplicación industrial y comercial. Buenos aires. Argentina.
- Yung, Y. 2013. Caracterización, diseño y verificación de una mezcla asfáltica drenante en caliente modificada con grano de llanta triturado y fibra kaltex. Colombia.
- Yung, Y.; Cordoba, J; Rondón,H. 2016. Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR): <http://www.redalyc.org>
- Zuñiga, R. 2015. Mezcla asfáltica en caliente. Obtenido de Viabilidad: <http://www.vialidad.cl/>
- Zarini, A. 2011. Alternativas de reutilización y reciclaje de neumáticos en desuso. Buenos Aires: Instituto Tecnológico de Buenos Aires.

ANEXOS

Anexo 1. TOMA DE MUESTRAS DE PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO (CENTRO DE ACOPIO km1 Calceta - Tosagua)



Observación de reciclados



Toma de muestras



Centro de acopio de pavimento asfáltico
envejecido

Anexo 2. RECICLADO DE PAVIMENTO ASFALTICO ENVEJECIDO



Reciclado del pavimento asfáltico envejecido, calle 10 de Agosto ciudad de Calceta



Acopio de pavimento asfáltico envejecido para posterior desalojo



Inspección de los reciclados de pavimento asfáltico envejecido



Remoción de reciclados de pavimento asfáltico envejecido

Anexo 3. TOMA DE MUESTRAS DE AGREGADOS EN CANTERA URUZCA



Toma de muestras de agregados

Anexo 4. PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ENSAYOS DE LABORATORIO A LOS DIFERENTES MATERIALES



Planta de asfalto y hormigones
Caja Fuego



Coordenada de la planta mediante
GPS

Anexo 5. PREPARACIÓN PARA ENSAYO DE HUMEDAD NATURAL DE LOS DIFERENTES AGREGADOS



Muestras en laboratorio



Preparado para ensayos



Peso para humedad natural arena



Peso para humedad natural 3/8



Peso para humedad natural 1/2



Secado en horno 24° hasta 110°

Anexo 6. ENSAYO GRANULOMÉTRICOS DE LOS AGREGADOS



Pesado de CISCO



Lavado por tamiz #200



Secado con horno 110° C



Ensayo granulométrico, preparación muestras



Tamizado para granulometría

Anexo 7. ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE FINOS Y GRUESOS



Ensayo cono en finos



Material en picnómetro



Eliminación de aire en fino



Gravedad específica de gruesos,
peso sumergido



Peso superficie saturada seca
luego de 24 horas

Anexo 8. ENSAYO DE MASA UNITARIA O PESO VOLUMÉTRICO (SUELTO Y COMPACTADO)



Ensayo de masa unitaria suelta



Ensayo de masa unitaria compactada



Masa unitaria de gruesos compactada

Anexo 9. ENSAYO DE RESISTENCIA ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)



Máquina de los ángeles para ensayo de abrasión



Contador número de vueltas, máquina de los ángeles



Tamiz # 12, luego del procedimiento en la máquina de los ángeles



Material luego de máquina de los ángeles

Anexo 10. DISEÑO DE ASFALTO NORMAL



Materiales para mezcla 1/2, 3/8, cisco y arena



Asfalto líquido AC-20



Mezcla de materiales con asfalto



Colocación de materiales en briquetas

Anexo 11. FRABICACION DE BRIQUETAS



Fabricación de briquetas



Muestra de briquetas



Fabricación de briquetas



Briquetero (Pedestal + martillo)

Anexo 12. BRIQUETAS MOLDEADAS



Briquetas obtenidas



Briquetas para ensayo Marshall



Colocación de briquetas
en agua por 30 min.



Densidad Bulk, peso
sumergido

Anexo 13. ENSAYO DE DENSIDAD BULK



Peso en aire



Peso superficie saturada en seco



Peso aire briquetas



Inmersión en agua briquetas



Preparación para ensayo Marshall



Rotura de briquetas,
estabilidad, flujo

Anexo 14. BAÑO DE MARIA



Colocación de briquetas a baño maría



Briquetas en agua a 60°C



Termómetro 60° en agua

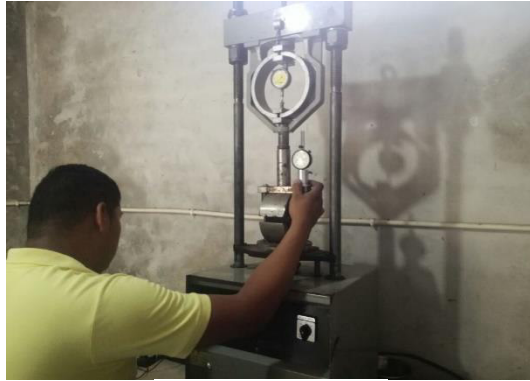
Anexo 15. ENSAYO MARSHALL



Preparación para ensayo Marshall

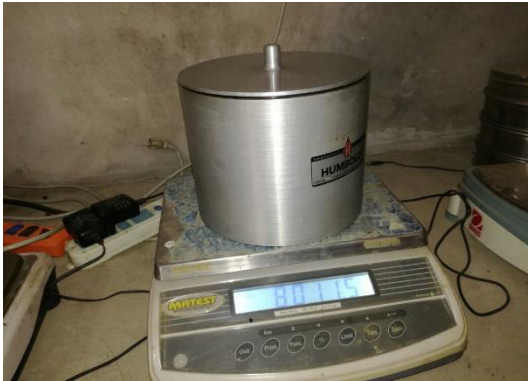


Rotura briqueta



Ensayo Marshall

Anexo 16. ENSAYO RICE



Calibración de molde para ensayo rice



Adición de asfalto en molde



Molde más muestra



Bomba de vacío



Pesado molde más muestra



Extracción aire ensayo Rice (densidad máxima mezcla asfáltica)

Anexo 17. PREPARACION DEL ASFALTO RECLICADO



Muestras de pavimento asfáltico envejecido reciclado



Limpieza de materiales



Calentamiento de material reciclado



Desmenuzando de mezcla



Material desmenuzado de suciedad



Material reciclado calentado para molde de briqueta

Anexo 18. FABRICACION DE BRIQUETAS DEL ASFALTO RECICLADO



Temperatura en reciclado



Moldeo de briquetas



Briquetas recicladas

Anexo 19. DENSIDAD BULK DE BRIQUETAS DEL RECICLADO



Gravedad específica



Briquetas sumergidas en agua



Observación de briquetas
recicladas

Anexo 20. CONTENIDO DE ASFALTO DEL RECICLADO



Preparación de asfalto para contenido de asfalto (gasolina, filtro, muestra)



Pesado de filtros



Pesado de muestras



Colocación gasolina



Colocación filtro



Extracción de asfalto



Método centrifugado



Extracción en centrifuga



Molde fuera de centrifuga



Retirar material del molde para pesado

Anexo 21. GRANULOMETRIA DE EXTRACCION DE ASFALTO



Granulometría de extracción



Retenida tamiz 1/2



Serie de tamices



1/2 retenida

Anexo 22. ENSAYO RICE DEL RECICLADO



Pesado de material



Colocación en molde más agua



Extracción en bomba de vacío



Muestra después de ensayo

23. BAÑO DE MARIA PARA RECICLADO



Briquetas moldeadas de reciclado



Baño maría



Briquetas para rotura

Anexo 24. PREPARACION DE BRIQUETAS RECICLADO MÁS POLVO DE NEUMÁTICO



Polvo neumático



Tamizado de polvo



Pesado a utilizar



Material para mezclas



Muestras en horno



Adición de polvo neumático en reciclado

Anexo 25. ENSAYO MARSHALL



Máquina MARSHALL

Anexo 26. Tabla del diseño de Marshall donde se obtuvo el porcentaje óptimo de asfalto

MEZCLA No.	% DE ASFALTO	PESO (EN GRAMOS)			VOLUMEN	PESO ESPECIFICO			% ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN (% DEL TOTAL)			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD (libras)			FLUJO 0.01 "
		SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK "	EFFECTIVO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO					CARGA DIAL	MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1		1,113.0	1,115.0	605.0	510	2.182										1.00	514	1,938	1,938	15.0
2		1,109.0	1,112.0	610.0	502	2.209										1.04	532	2,002	2,082	13.0
3		1,180.0	1,184.0	645.0	539	2.189										0.93	630	2,363	2,197	13.0
Promedio:	5.00					2.194	2.612	2.421	1.32	82.63	9.40	7.97	17.37	3.68	45.87				2,072	13.7
1		1,054.0	1,057.0	588.0	469	2.247										1.19	522	1,965	2,338	14.0
2		1,034.0	1,036.0	570.0	466	2.219										1.19	522	1,967	2,341	15.0
3		1,025.0	1,027.0	564.0	463	2.214										1.19	477	1,802	2,144	13.0
Promedio:	5.50					2.227	2.627	2.415	1.52	83.43	7.82	8.75	16.57	3.98	52.83				2,274	14.0
1		1,092.0	1,095.0	620.0	475	2.299										1.14	695	2,602	2,966	11.0
2		1,112.0	1,113.0	621.0	492	2.260										1.09	550	2,069	2,255	12.0
3		1,075.0	1,076.0	602.0	474	2.268										1.14	540	2,032	2,316	12.0
Promedio:	6.00					2.276	2.613	2.387	1.31	84.83	4.64	10.54	15.17	4.69	69.45				2,513	11.7
1		1,107.0	1,110.0	628.0	482	2.297										1.14	666	2,496	2,845	11.0
2		1,131.0	1,131.0	633.0	498	2.271										1.04	607	2,279	2,370	12.0
3		1,199.0	1,201.0	675.0	526	2.279										0.96	650	2,436	2,339	11.0
Promedio:	6.50					2.282	2.606	2.364	1.20	84.61	3.45	11.93	15.39	5.30	77.55				2,518	11.3
1		1,186.0	1,187.0	665.0	522	2.272										1.00	616	2,312	2,312	12.0
2		1,108.0	1,110.0	619.0	491	2.257										1.09	637	2,389	2,605	12.0
3		1,167.0	1,169.0	650.0	519	2.249										1.00	667	2,499	2,499	13.0
Promedio:	7.00					2.259	2.620	2.358	1.40	83.30	4.22	12.48	16.70	5.60	74.76				2,472	12.3

Fuente: El Investigador, (2018)

Anexo 28. Tabla del diseño de Marshall del pavimento asfáltico envejecido con polvo de neumático y agregados pétreos (curva granulométrica centrada)

MEZCLA No.	% POLVO DE NEUMÁTICO	% DE ASFALTO	PESO (EN GRAMOS)			VOLUMEN	PESO ESPECÍFICO			% ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN (% DEL TOTAL)			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD (libras)			FLUJO 0.01"
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA		"BULA"	EFFECTIVO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO					CARGA DIAL	MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1			1,196.0	1,199.0	672.0	527	2.269										0.96	790.00	2,949	2,831	14.0
2			1,193.0	1,196.0	669.0	527	2.264										0.96	820.00	3,059	2,937	14.0
3			1,223.0	1,226.0	687.0	539	2.269										0.93	820.00	3,059	2,845	14.0
Promedio:	4.00	6.20					2.267	2.622	2.387	1.43	84.33	5.00	10.68	15.67	4.77	68.13				2,871	14.0
1			1,138.0	1,141.0	639.0	502	2.267										1.04	810.00	3,022	3,143	13.0
2			1,196.0	1,199.0	674.0	525	2.278										0.96	790.00	2,949	2,831	15.0
3			1,196.0	1,198.0	674.0	524	2.282										0.96	790.00	2,949	2,831	14.0
Promedio:	8.00	6.20					2.276	2.614	2.381	1.33	84.64	4.42	10.94	15.36	4.87	71.25				2,935	14.0
1			1,157.0	1,158.0	654.0	504	2.296										1.04	820.00	3,059	3,181	15.0
2			1,190.0	1,192.0	670.0	522	2.280										1.00	860.00	3,206	3,206	14.0
3			1,198.0	1,200.0	672.0	528	2.269										0.96	830.00	3,096	2,972	15.0
Promedio:	12.00	6.20					2.281	2.614	2.381	1.33	84.85	4.18	10.97	15.15	4.87	72.41				3,120	14.7
1			1,195.0	1,195.0	664.0	531	2.250										0.96	700.00	2,619	2,514	15.0
2			1,198.0	1,200.0	677.0	523	2.291										0.96	710.00	2,656	2,549	15.0
3			1,177.0	1,179.0	663.0	516	2.281										1.00	730.00	2,729	2,729	15.0
Promedio:	16.00	6.20					2.274	2.622	2.387	1.43	84.57	4.72	10.71	15.43	4.77	69.42				2,598	15.0

Fuente: El Investigador,(2018)

Anexo 29. Tabla del diseño de Marshall del pavimento asfáltico envejecido con polvo de neumático y agregados pétreos (curva granulométrica fina)

MEZCLA No.	% POLVO DE NEUMÁTICO	% DE ASFALTO	PESO (EN GRAMOS)			VOLUMEN	PESO ESPECÍFICO			% ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN (% DEL TOTAL)			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD (libras)			FLUJO 0.01"
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK"	EFFECTIVO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO					CARGA DIAL	MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1			1,205.0	1,206.0	678.0	528	2.282										0.96	780.00	2,912	2,796	15.0
2			1,224.0	1,226.0	691.0	535	2.288										0.96	820.00	3,059	2,937	15.0
3			1,211.0	1,212.0	680.0	532	2.276										0.96	820.00	3,059	2,937	14.0
Promedio:	4.00	6.20					2.282	2.614	2.381	1.33	84.87	4.15	10.97	15.13	4.87	72.56				2,890	14.7
1			1,223.0	1,223.0	689.0	534	2.290										0.96	820.00	3,059	2,937	14.0
2			1,199.0	1,201.0	679.0	522	2.297										1.00	810.00	3,022	3,022	14.0
3			1,206.0	1,208.0	676.0	532	2.267										0.96	810.00	3,022	2,902	15.0
Promedio:	8.00	6.20					2.285	2.622	2.387	1.43	84.97	4.27	10.76	15.03	4.77	71.58				2,954	14.3
1			1,189.0	1,190.0	664.0	526	2.260										0.96	850.00	3,169	3,042	15.0
2			1,197.0	1,198.0	675.0	523	2.289										0.96	830.00	3,096	2,972	15.0
3			1,211.0	1,211.0	682.0	529	2.289										0.96	870.00	3,242	3,113	15.0
Promedio:	12.00	6.20					2.279	2.622	2.387	1.43	84.78	4.49	10.73	15.22	4.77	70.50				3,042	15.0
1			1,213.0	1,215.0	684.0	531	2.284										0.96	690.00	2,582	2,479	15.0
2			1,228.0	1,229.0	691.0	538	2.283										0.93	730.00	2,729	2,538	15.0
3			1,209.0	1,210.0	680.0	530	2.281										0.96	700.00	2,619	2,514	16.0
Promedio:	16.00	6.20					2.283	2.614	2.381	1.33	84.90	4.13	10.98	15.10	4.87	72.67				2,510	15.3

Fuente: El Investigador, (2018)

Anexo 30. Tabla del diseño de Marshall del pavimento asfáltico envejecido con polvo de neumático y agregados pétreos (curva granulométrica gruesa)

MEZCLA No.	% POLVO DE NEUMÁTICO	% DE ASFALTO	PESO (EN GRAMOS)			VOLUMEN	PESO ESPECÍFICO			% ASFALTO ABSORBIDO	VOLUMEN (% DEL TOTAL)			VACIOS EN AGREGADOS MINERALES	% DE ASFALTO EFECTIVO	V.F.A. %	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD (libras)			FLUJO 0.01"
			SECA EN AIRE	S.S.S. EN AIRE	EN AGUA		"BULK"	EFFECTIVO	MAXIMO MEDIDO		AGREGADOS	VACIOS EN AIRE	ASFALTO					CARGA DIAL	MEDIDA	CORREGIDA	
a	b	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u
1			1,199.0	1,202.0	672.0	530	2.262										0.96	720.00	2,692	2,585	15.0
2			1,206.0	1,209.0	676.0	533	2.263										0.96	700.00	2,619	2,514	14.0
3			1,201.0	1,204.0	672.0	532	2.258										0.96	750.00	2,802	2,690	15.0
Promedio:	4.00	6.20					2.261	2.614	2.381	1.33	84.08	5.05	10.87	15.92	4.87	68.30				2,596	14.7
1			1,210.0	1,212.0	678.0	534	2.266										0.96	780.00	2,912	2,796	15.0
2			1,197.0	1,200.0	672.0	528	2.267										0.96	760.00	2,839	2,725	15.0
3			1,189.0	1,192.0	666.0	526	2.260										0.96	770.00	2,876	2,761	16.0
Promedio:	8.00	6.20					2.264	2.622	2.387	1.43	84.22	5.12	10.66	15.78	4.77	67.57				2,761	15.3
1			1,226.0	1,228.0	689.0	539	2.275										0.93	840.00	3,132	2,913	16.0
2			1,212.0	1,215.0	680.0	535	2.265										0.96	810.00	3,022	2,902	15.0
3			1,201.0	1,203.0	673.0	530	2.266										0.96	800.00	2,986	2,866	14.0
Promedio:	12.00	6.20					2.269	2.614	2.381	1.33	84.37	4.72	10.91	15.63	4.87	69.82				2,894	15.0
1			1,209.0	1,211.0	675.0	536	2.256										0.93	640.00	2,399	2,231	15.0
2			1,234.0	1,236.0	690.0	546	2.260										0.93	680.00	2,546	2,367	16.0
3			1,223.0	1,226.0	686.0	540	2.265										0.93	670.00	2,509	2,333	16.0
Promedio:	16.00	6.20					2.260	2.614	2.381	1.33	84.06	5.07	10.87	15.94	4.87	68.18				2,311	15.7

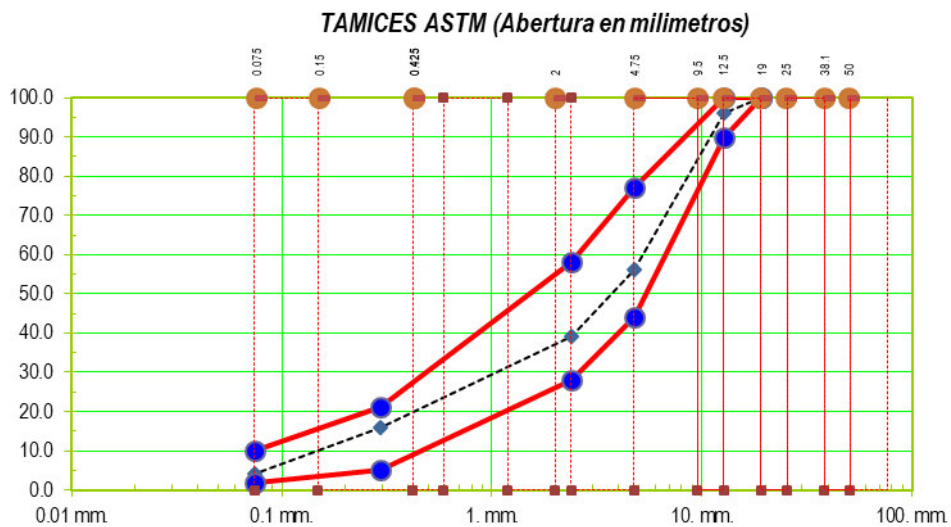
Fuente: El Investigador,(2018)

Anexo 31. Graduación granulométrica centrada del pavimento asfáltico al 40 % envejecido enriquecido con agregados pétreos al 60%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	5%	5.0	2.4	0.1	0.1	0.1	0.1
Arido No. 2	32%	32.0	32.0	4.7	1.3	1.0	0.8
Arido No. 3	13%	13.0	13.0	12.4	8.3	3.9	1.7
Arido No. 4	10%	10.0	10.0	9.9	9.7	2.8	0.1
Reciclado	40%	40.0	38.8	29.0	19.9	8.1	1.5
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	96.2	56.1	39.3	15.8	4.2
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 32. Curva granulométrica centrada del pavimento asfáltico envejecido al 40% enriquecido con agregados pétreos al 60%



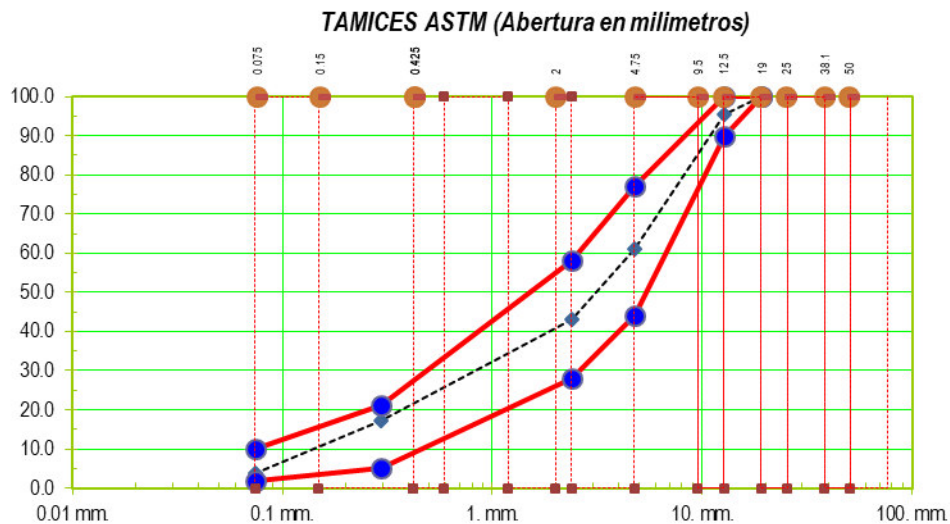
Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 33. Graduación granulométrica centrada del pavimento asfáltico al 60 % envejecido enriquecido con agregados pétreos al 40%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	5%	5.0	2.4	0.1	0.1	0.1	0.1
Arido No. 2	20%	20.0	20.0	2.9	0.8	0.6	0.5
Arido No. 3	7%	7.0	7.0	6.7	4.5	2.1	0.9
Arido No. 4	8%	8.0	8.0	7.9	7.8	2.2	0.1
Reciclado	60%	60.0	58.2	43.5	29.8	12.1	2.3
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	95.6	61.1	43.0	17.1	3.8
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 34. Curva granulométrica centrada del pavimento asfáltico envejecido al 60% enriquecido con agregados pétreos al 40%



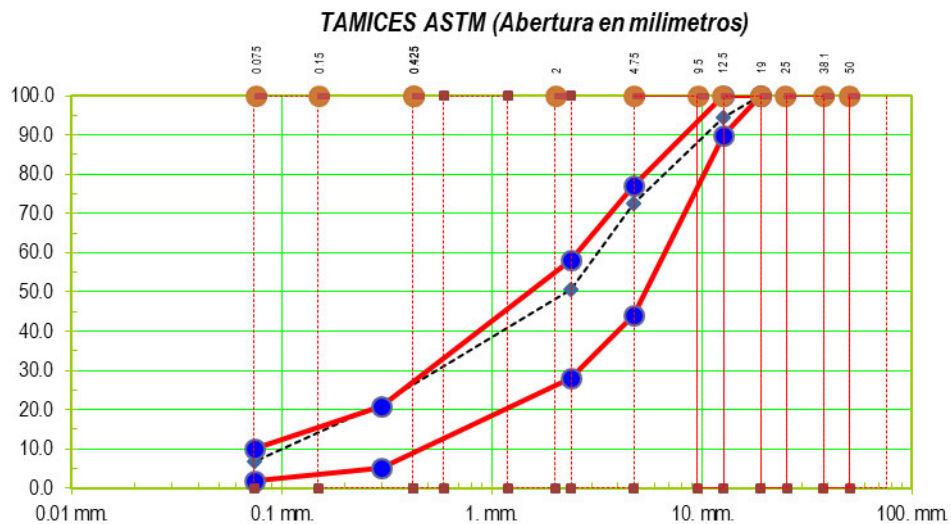
Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 35. Graduación granulométrica fina del pavimento asfaltico al 40 % envejecido enriquecido con agregados pétreos al 60%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE	PORCENTAJES	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
MATERIAL	PARA MEZCLA	3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	8%	8.0	3.8	0.1	0.1	0.1	0.1
Arido No. 2	8%	8.0	8.0	1.2	0.3	0.3	0.2
Arido No. 3	38%	38.0	38.0	36.3	24.3	11.3	4.8
Arido No. 4	6%	6.0	6.0	5.9	5.8	1.7	0.1
Reciclado	40%	40.0	38.8	29.0	19.9	8.1	1.5
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	94.6	72.6	50.5	21.4	6.7
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 36. Curva granulométrica fina del pavimento asfaltico envejecido al 40% con agregados pétreos al 60%



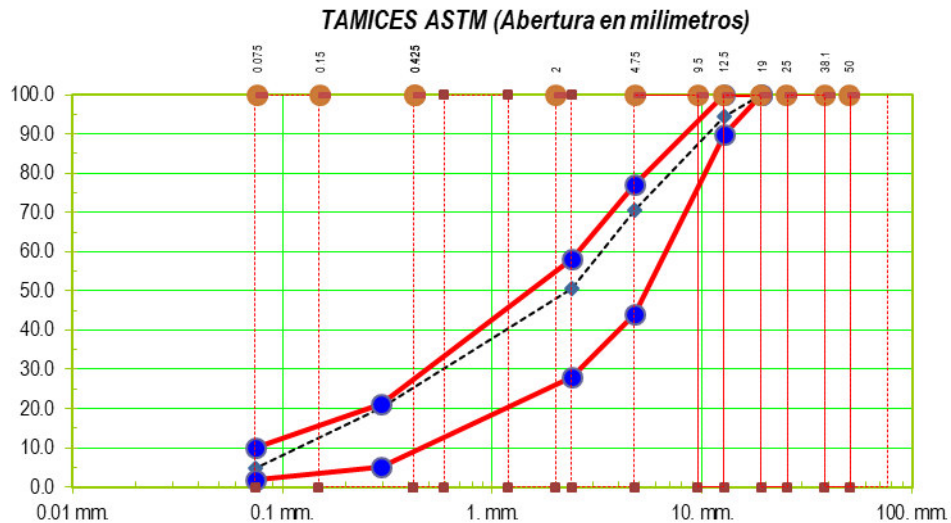
Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 37. Graduación granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 60% enriquecido con agregados pétreos 40%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	7%	7.0	3.3	0.1	0.1	0.1	0.1
Arido No. 2	6%	6.0	6.0	0.9	0.2	0.2	0.1
Arido No. 3	17%	17.0	17.0	16.3	10.9	5.1	2.2
Arido No. 4	10%	10.0	10.0	9.9	9.7	2.8	0.1
Reciclado	60%	60.0	58.2	43.5	29.8	12.1	2.3
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	94.5	70.6	50.8	20.2	4.8
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 38. Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 60% con agregados pétreos al 40%



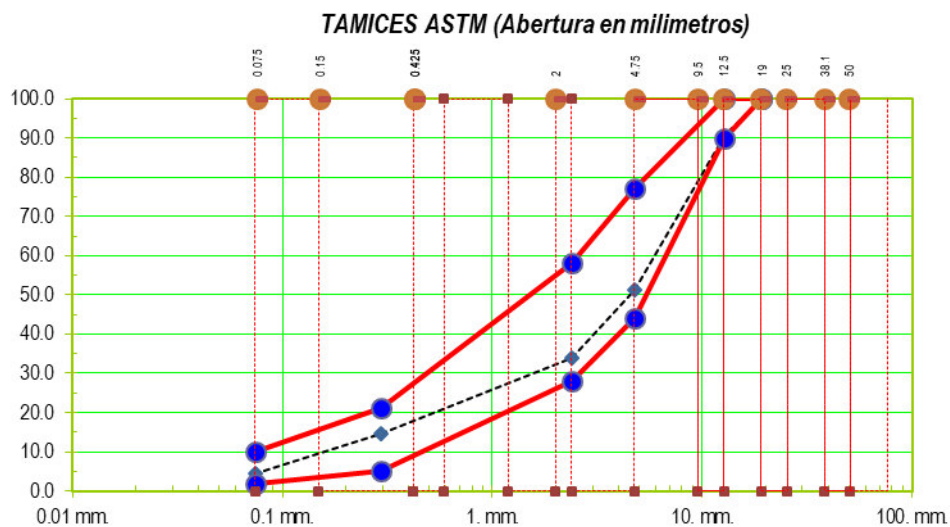
Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 39. Curva granulométrica gruesa asfáltico envejecido al 40% enriquecido con agregados pétreos al 60%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	16%	16.0	7.6	0.3	0.2	0.2	0.2
Arido No. 2	25%	25.0	25.0	3.7	1.0	0.8	0.6
Arido No. 3	17%	17.0	17.0	16.3	10.9	5.1	2.2
Arido No. 4	2%	2.0	2.0	2.0	1.9	0.6	0.0
Reciclado	40%	40.0	38.8	29.0	19.9	8.1	1.5
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	90.4	51.1	34.0	14.7	4.5
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 40 Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 40% con agregados pétreos al 60%



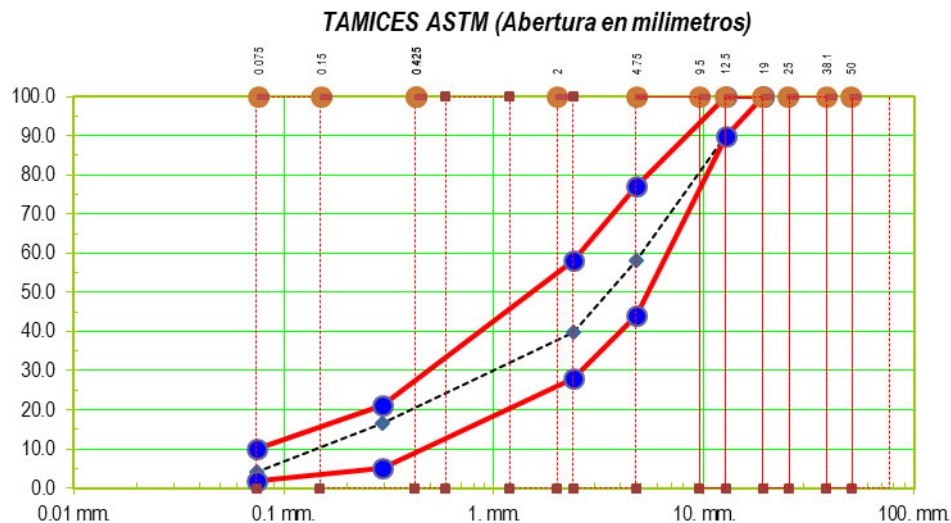
Fuente: El investigador,(2018)

Anexo 40. Curva granulométrica gruesa asfáltico envejecido al 60% enriquecido con agregados pétreos al 40%

GRADUACION COMBINADA PARA LA MEZCLA							
TIPO DE MATERIAL	PORCENTAJES PARA MEZCLA	PORCENTAJES PASANTES EN TAMICES					
		3/4"	1/2"	No. 4	No. 8	No. 50	No. 200
Arido No. 1	15%	15.0	7.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Arido No. 2	12%	12.0	12.0	1.8	0.5	0.4	0.3
Arido No. 3	10%	10.0	10.0	9.6	6.4	3.0	1.3
Arido No. 4	3%	3.0	3.0	3.0	2.9	0.8	0.0
Reciclado	60%	60.0	58.2	43.5	29.8	12.1	2.3
GRANULOMETRIA OBTENIDA		100.0	90.3	58.0	39.9	16.5	4.0
ESPECIFICACION		100	90 - 100	44 - 77	28 - 58	5 - 21	2 - 10
GRANULOMETRIA ESPERADA		100.0	95.0	60.5	43.0	13.0	6.0

Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 41. Curva granulométrica fina del pavimento asfáltico envejecido al 60% con agregados pétreos al 40%



Fuente: El investigador, (2018)

Anexo 42. Análisis estadístico de los factores en estudios

42-A. Densidad Bulk - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DB	36	0.36	0.00	0.87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.		4916.61	13	378.20	0.97	0.5101
Repetición		1645.06	2	822.53	2.10	0.1461
Granulometría		617.56	2	308.78	0.79	0.4668
Elastómero		927.33	3	309.11	0.79	0.5125
Granulometría*Elastómero		1726.67	6	287.78	0.74	0.6266
Error		8610.28	22	391.38		
Total		13526.89	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=20.28860

Error: 391.3763 gl: 22

Granulometría	Medias	n	E.E.
1	2282.17	12	5.71 A
2	2274.67	12	5.71 A
3	2272.50	12	5.71 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=25.89651

Error: 391.3763 gl: 22

Elastómero	Medias	n	E.E.
4	2284.22	9	6.59 A
3	2276.56	9	6.59 A
2	2274.89	9	6.59 A
1	2270.11	9	6.59 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=58.75771

Error: 391.3763 gl: 22

Granulometría	Elastómero	Medias	n	E.E.
3	4	2296.00	3	11.42 A
1	2	2284.67	3	11.42 A
1	4	2282.67	3	11.42 A
1	1	2282.00	3	11.42 A
2	3	2281.67	3	11.42 A
1	3	2279.33	3	11.42 A
2	2	2275.67	3	11.42 A
2	4	2274.00	3	11.42 A
3	3	2268.67	3	11.42 A
2	1	2267.33	3	11.42 A
3	2	2264.33	3	11.42 A
3	1	2261.00	3	11.42 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-B. Densidad Bulk - Factorial vs testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
DB	39	0.34	0.00	0.86

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4809.08	14	343.51	0.90	0.5740
Repetición	1248.15	2	624.08	1.63	0.2176
Tratamiento	3560.92	12	296.74	0.77	0.6711
Error	9209.85	24	383.74		
Total	14018.92	38			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=58.56874

Error: 383.7436 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
12	2296.00	3	11.31 A
13	2286.67	3	11.31 A
2	2284.67	3	11.31 A
4	2282.67	3	11.31 A
1	2282.00	3	11.31 A
7	2281.67	3	11.31 A
3	2279.33	3	11.31 A
6	2275.67	3	11.31 A
8	2274.00	3	11.31 A
11	2268.67	3	11.31 A
5	2267.33	3	11.31 A
10	2264.33	3	11.31 A
9	2261.00	3	11.31 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-C. Estabilidad - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EST	36	0.91	0.85	3.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1892812.43	13	145600.96	16.58	<0.0001
Repetición	131.61	2	65.80	0.01	0.9925
Granulometría	409717.29	2	204858.64	23.33	<0.0001
Elastómero	1453691.23	3	484563.74	55.19	<0.0001
Granulometría*Elastómero	29272.30	6	4878.72	0.56	0.7605
Error	193162.81	22	8780.13		
Total	2085975.24	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=96.09601

Error: 8780.1279 gl: 22

Granulometría	Medias	n	E.E.
2	2880.86	12	27.05 A
1	2849.09	12	27.05 A
3	2640.34	12	27.05 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=122.65757

Error: 8780.1279 gl: 22

Elastómero	Medias	n	E.E.	
3	3018.59	9	31.23	A
2	2883.15	9	31.23	B
1	2785.78	9	31.23	B
4	2472.87	9	31.23	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=278.30312

Error: 8780.1279 gl: 22

Granulometría	Elastómero	Medias	n	E.E.	
2	3	3119.73	3	54.10	A
1	3	3042.36	3	54.10	A
1	2	2953.57	3	54.10	A B
2	2	2935.18	3	54.10	A B
3	3	2893.68	3	54.10	A B
1	1	2890.00	3	54.10	A B
2	1	2870.94	3	54.10	A B C
3	2	2760.70	3	54.10	B C D
2	4	2597.57	3	54.10	C D
3	1	2596.39	3	54.10	C D
1	4	2510.42	3	54.10	D E
3	4	2310.61	3	54.10	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42- D. Estabilidad - Factorial vs testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
EST	39	0.90	0.84	3.44

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1988695.48	14	142049.68	15.62	<0.0001
Repetición	1822.28	2	911.14	0.10	0.9050
Tratamiento	1986873.19	12	165572.77	18.21	<0.0001
Error	218276.81	24	9094.87		
Total	2206972.28	38			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=285.13036

Error: 9094.8670 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
7	3119.73	3	55.06	A
3	3042.36	3	55.06	A B
2	2953.57	3	55.06	A B
6	2935.18	3	55.06	A B
11	2893.68	3	55.06	A B
1	2890.00	3	55.06	A B C
5	2870.94	3	55.06	A B C D
10	2760.70	3	55.06	B C D E
13	2605.67	3	55.06	C D E
8	2597.57	3	55.06	D E
9	2596.39	3	55.06	D E
4	2510.42	3	55.06	E F
12	2310.61	3	55.06	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42- E. Flujo - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FLU	36	0.52	0.24	4.25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	9.19	13	0.71	1.84	0.0997
Repetición	0.22	2	0.11	0.29	0.7515
Granulometría	3.39	2	1.69	4.41	0.0244
Elastomero	4.31	3	1.44	3.74	0.0260
Granulometría*Elastomero	1.28	6	0.21	0.55	0.7611
Error	8.44	22	0.38		
Total	17.64	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.63537

Error: 0.3838 gl: 22

Granulometría	Medias	n	E.E.	
3	15.17	12	0.18	A
1	14.83	12	0.18	A B
2	14.42	12	0.18	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.81099

Error: 0.3838 gl: 22

Elastomero	Medias	n	E.E.	
4	15.33	9	0.21	A
3	14.89	9	0.21	A B
2	14.56	9	0.21	A B
1	14.44	9	0.21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.84010

Error: 0.3838 gl: 22

Granulometría	Elastomero	Medias	n	E.E.
3	4	15.67	3	0.36 A
3	2	15.33	3	0.36 A
1	4	15.33	3	0.36 A
3	3	15.00	3	0.36 A
2	4	15.00	3	0.36 A
1	3	15.00	3	0.36 A
3	1	14.67	3	0.36 A
1	1	14.67	3	0.36 A
2	3	14.67	3	0.36 A
1	2	14.33	3	0.36 A
2	2	14.00	3	0.36 A
2	1	14.00	3	0.36 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42- F. Flujo - Factorial vs testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
FLU	39	0.76	0.62	4.42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	31.44	14	2.25	5.39	0.0002
Repetición	0.67	2	0.33	0.80	0.4610
Tratamiento	30.77	12	2.56	6.15	0.0001
Error	10.00	24	0.42		
Total	41.44	38			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.92992

Error: 0.4167 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
12	15.67	3	0.37	A
4	15.33	3	0.37	A
10	15.33	3	0.37	A
3	15.00	3	0.37	A
8	15.00	3	0.37	A
11	15.00	3	0.37	A
1	14.67	3	0.37	A
7	14.67	3	0.37	A
9	14.67	3	0.37	A
2	14.33	3	0.37	A
5	14.00	3	0.37	A
6	14.00	3	0.37	A
13	12.00	3	0.37	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-H. Vacíos en la mezcla - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VM	36	0.55	0.29	9.61

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.31	13	0.41	2.11	0.0592
Repetición	0.39	2	0.19	1.01	0.3817
Granulometria	3.22	2	1.61	8.31	0.0021
Elastomero	0.34	3	0.11	0.59	0.6282
Granulometria*Elastomero	1.36	6	0.23	1.17	0.3568
Error	4.26	22	0.19		
Total	9.57	35			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.45117

Error: 0.1935 gl: 22

Granulometria	Medias	n	E.E.	
3	4.99	12	0.13	A
2	4.58	12	0.13	A B
1	4.26	12	0.13	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.57588

Error: 0.1935 gl: 22

Elastomero	Medias	n	E.E.
1	4.73	9	0.15 A
4	4.64	9	0.15 A
2	4.60	9	0.15 A
3	4.46	9	0.15 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.30663

Error: 0.1935 gl: 22

Granulometria	Elastomero	Medias	n	E.E.
3	2	5.12	3	0.25 A
3	4	5.07	3	0.25 A
3	1	5.05	3	0.25 A
2	1	5.00	3	0.25 A
2	4	4.72	3	0.25 A
3	3	4.72	3	0.25 A
1	3	4.49	3	0.25 A
2	2	4.42	3	0.25 A
1	2	4.27	3	0.25 A
2	3	4.18	3	0.25 A
1	1	4.15	3	0.25 A
1	4	4.13	3	0.25 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42- I. Vacíos en la mezcla – Factorial vs testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VM	39	0.54	0.27	9.75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5.57	14	0.40	2.00	0.0660
Repetición	0.20	2	0.10	0.51	0.6066
Tratamiento	5.37	12	0.45	2.24	0.0444
Error	4.78	24	0.20		
Total	10.35	38			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.33478

Error: 0.1993 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
10	5.12	3	0.26 A
12	5.07	3	0.26 A
9	5.05	3	0.26 A
5	5.00	3	0.26 A
8	4.72	3	0.26 A
11	4.72	3	0.26 A
3	4.49	3	0.26 A
6	4.42	3	0.26 A
2	4.27	3	0.26 A
13	4.21	3	0.26 A
7	4.18	3	0.26 A
1	4.15	3	0.26 A
4	4.13	3	0.26 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-H. Vacíos en agregados minerales - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VAM	36	0.54	0.27	2.53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3.92	13	0.30	1.98	0.0766
Repetición	0.29	2	0.15	0.97	0.3961
Granulometría	2.96	2	1.48	9.71	0.0009
Elastomero	0.30	3	0.10	0.66	0.5883
Granulometría*Elastomero	0.36	6	0.06	0.40	0.8730
Error	3.35	22	0.15		
Total	7.27	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.40030

Error: 0.1524 gl: 22

Granulometría Medias n E.E.

3	15.82	12	0.11	A
2	15.40	12	0.11	B
1	15.12	12	0.11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.51095

Error: 0.1524 gl: 22

Elastomero Medias n E.E.

1	15.57	9	0.13	A
4	15.49	9	0.13	A
2	15.39	9	0.13	A
3	15.33	9	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.15931

Error: 0.1524 gl: 22

Granulometría Elastomero Medias n E.E.

3	4	15.94	3	0.23	A
3	1	15.92	3	0.23	A
3	2	15.78	3	0.23	A
2	1	15.67	3	0.23	A
3	3	15.63	3	0.23	A
2	4	15.43	3	0.23	A
2	2	15.36	3	0.23	A
1	3	15.22	3	0.23	A
2	3	15.15	3	0.23	A
1	1	15.12	3	0.23	A
1	4	15.10	3	0.23	A
1	2	15.03	3	0.23	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-I. Vacíos en agregados minerales – Factorial vs testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VAM	39	0.54	0.27	2.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4.44	14	0.32	2.02	0.0625
Repetición	0.15	2	0.08	0.49	0.6216
Tratamiento	4.29	12	0.36	2.28	0.0415
Error	3.76	24	0.16		
Total	8.20	38			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.18383

Error: 0.1568 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.
12	15.94	3	0.23 A
9	15.92	3	0.23 A
10	15.78	3	0.23 A
5	15.67	3	0.23 A
11	15.63	3	0.23 A
8	15.43	3	0.23 A
6	15.36	3	0.23 A
3	15.22	3	0.23 A
7	15.15	3	0.23 A
1	15.12	3	0.23 A
4	15.10	3	0.23 A
2	15.03	3	0.23 A
13	14.96	3	0.23 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-J. Vacíos en rellenos de asfalto - Factor E, Factor G e Interacción E x G

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VFA	36	0.57	0.31	2.99

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	128.09	13	9.85	2.23	0.0467
Repetición	8.71	2	4.36	0.99	0.3886
Granulometría	69.90	2	34.95	7.92	0.0026
Elastómero	7.85	3	2.62	0.59	0.6261
Granulometría*Elastómero	41.62	6	6.94	1.57	0.2023
Error	97.08	22	4.41		
Total	225.16	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.15429

Error: 4.4126 gl: 22

Granulometría	Medias	n	E.E.
1	71.88	12	0.61 A
2	70.36	12	0.61 A B
3	68.47	12	0.61 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.74975

Error: 4.4126 gl: 22

Elastómero	Medias	n	E.E.
3	70.96	9	0.70 A
2	70.17	9	0.70 A
4	70.14	9	0.70 A
1	69.66	9	0.70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.23903

Error: 4.4126 gl: 22

Granulometría	Elastómero	Medias	n	E.E.
1	4	72.67	3	1.21 A
1	1	72.57	3	1.21 A
2	3	72.47	3	1.21 A
1	2	71.67	3	1.21 A
2	2	71.27	3	1.21 A
1	3	70.59	3	1.21 A
3	3	69.83	3	1.21 A
2	4	69.55	3	1.21 A
3	1	68.29	3	1.21 A
3	4	68.18	3	1.21 A
2	1	68.13	3	1.21 A
3	2	67.57	3	1.21 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

42-J. Vacíos en rellenos de asfalto – Factorial vs Testigo

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
VFA	39	0.55	0.28	3.04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	131.79	14	9.41	2.06	0.0580
Repetición	4.50	2	2.25	0.49	0.6173
Tratamiento	127.29	12	10.61	2.32	0.0384
Error	109.78	24	4.57		
Total	241.57	38			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.39440

Error: 4.5741 gl: 24


Tratamiento	Medias	n	E.E.
4	72.67	3	1.23 A
1	72.57	3	1.23 A
7	72.47	3	1.23 A
13	71.92	3	1.23 A
2	71.67	3	1.23 A
6	71.27	3	1.23 A
3	70.59	3	1.23 A
11	69.83	3	1.23 A
8	69.55	3	1.23 A
9	68.29	3	1.23 A
12	68.18	3	1.23 A
5	68.13	3	1.23 A
10	67.57	3	1.23 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 43. Base de datos

Repeticion	tratamiento	Granulometria	Elastomero	DB	EST	FLU	VM	VAM	VFA
1	1	1	1	2282	2796.00	15	4.15	15.12	72.57
1	2	1	2	2290	2936.74	14	4.04	14.82	72.76
1	3	1	3	2260	3042.36	15	5.29	15.93	66.81
1	4	1	4	2284	2479.03	15	4.06	15.04	73.03
1	5	2	1	2269	2831.11	14	4.91	15.60	68.52
1	6	2	2	2267	3143.32	13	4.79	15.69	69.48
1	7	2	3	2296	3181.46	15	3.58	14.62	75.49
1	8	2	4	2250	2514.24	15	5.71	16.30	65
1	9	3	1	2262	2584.66	15	4.99	15.86	68.57
1	10	3	2	2266	2795.90	15	5.06	15.73	67.84
1	11	3	3	2275	2913.18	16	4.47	15.41	71
1	12	3	4	2256	2231.02	15	5.26	16.11	67.32
2	1	1	1	2288	2937.00	15	3.91	14.91	73.78
2	2	1	2	2297	3022.43	14	3.76	14.57	74.21
2	3	1	3	2289	2971.94	15	4.10	14.88	72.43
2	4	1	4	2283	2537.99	15	4.13	15.11	72.64
2	5	2	1	2264	2936.74	14	5.15	15.81	67.43
2	6	2	2	2278	2831.11	15	4.32	15.28	71.72
2	7	2	3	2280	3205.80	14	4.25	15.22	72.05
2	8	2	4	2291	2549.45	15	4.02	14.81	72.84
2	9	3	1	2263	2514.24	14	4.97	15.85	68.64
2	10	3	2	2267	2725.49	15	5.01	15.69	68.06
2	11	3	3	2265	2901.53	15	4.85	15.75	69.18
2	12	3	4	2367	2367.45	16	5.08	15.95	68.16
3	1	1	1	2276	2937.00	14	4.39	15.34	71.35
3	2	1	2	2267	2901.53	15	5.02	15.69	68.03
3	3	1	3	2289	3112.78	15	4.08	14.86	72.54
3	4	1	4	2281	2514.24	16	4.19	15.16	72.35
3	5	2	1	2269	2844.96	14	4.93	15.61	68.43
3	6	2	2	2282	2831.11	14	4.14	15.11	72.62
3	7	2	3	2269	2971.94	15	4.70	15.62	69.87
3	8	2	4	2281	2729.03	15	4.43	15.17	70.82
3	9	3	1	2258	2690.28	15	5.19	16.04	67.67
3	10	3	2	2260	2760.70	16	5.29	15.93	66.81
3	11	3	3	2266	2866.32	14	4.83	15.72	69.3
3	12	3	4	2265	2333.35	16	4.88	15.77	69.07
1	13			2296	2671.00	11	3.82	14.6	73.89
2	13			2276	2674.00	12	4.64	15.3	69.78
3	13			2288	2472.00	13	4.16	14.9	72.1

Anexo 44. Análisis de Precios Unitarios

 GN						
MEZCLAS ASFALTICAS CON FRESADO Y ELASTOMERO				CODIGO:	G1E1	
UNIDAD: m3						
ESPECIFICACION				RENDIMIENTO :	0.0229	
EQUIPO HERRAMIENTAS						
DESCRIPCION		CANTIDAD	TARIFA	RENDIMIENTO	TOTAL	%
PLANTA ASFALTICA		1	113.24	0.0229	2.593	5.757
(A) TOTAL EQUIPO					2.593	5.757
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION		CANTIDAD	S.R.H.	RENDIMIENTO	TOTAL	%
OPERADOR DE PLANTA ASFALTICA		1	3.89	0.0229	0.089	0.198
(B) TOTAL MANO DE OBRA					0.089	0.198
MATERIALES						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL	%
ASFALTO AP-3 RC-250 (6.2%)		KG	70.20	0.30	21.060	46.757
ELASTOMERO (4% NFU)		KG	2.808	0.60	1.685	3.741
AGREGADO PASANTE 3/4		m3	0.08	9.47	0.758	1.682
AGRAGADO PASANTE 1/2		m3	0.08	10.33	0.826	1.835
AGRAGADO PASANTE No. 4		m3	0.26	9.87	2.566	5.697
ARENA DE RIO LAVADA		m3	0.06	8.95	0.537	1.192
RECICLADO (FRESADO)		m3	0.52	9.86	5.127	11.383
(C) TOTAL MATERIALES					32.559	72.287
TRANSPORTE						
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	DISTANCIA	TARIFA	TOTAL	%
AGREGADO PASANTE 3/4	m3	0.08	70	0.25	1.400	3.108
AGRAGADO PASANTE 3/8	m3	0.08	70	0.25	1.400	3.108
AGRAGADO PASANTE No. 4	m3	0.26	70	0.25	4.550	10.102
ARENA DE RIO LAVADA	m3	0.06	120	0.25	1.800	3.996
FRESADO DE PAVIMENTO ASFALTICO	m3	0.52	5	0.25	0.650	1.443
(D) TOTAL TRANSPORTE					9.800	21.758
COSTO DIRECTO				TOTAL (A)+(B)+(C)+(D)		100.000

Anexo 45. Matriz de Consistencia

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	VARIABLES CLASIFICACIÓN	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE INVESTIGACIÓN
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	<p>La Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech (s.f.) menciona que las capas superiores de los firmes bituminosos están constituidas por materiales de alta calidad, en especial los áridos, de manera que para aprovechar al máximo sus cualidades sería idóneo reciclar los mismos en capas similares.</p> <p>Las formas más comunes de incorporación del polvo de caucho reciclado dentro de las mezclas asfálticas son la vía húmeda y la vía seca (Navarro & Muñoz 2013)</p>	HIPÓTESIS GENERAL	Explicativo - Experimental
En el cantón Bolívar perteneciente a la Provincia de Manabí, se formula la siguiente pregunta o problema general ¿De qué manera contribuiría la reutilización de Elastómero y Pavimento Asfáltico envejecido, como alternativa ambiental para el diseño de mezclas asfálticas en la ciudad de Calceta cabecera cantonal del Cantón Bolívar perteneciente a la Provincia de Manabí - Ecuador?	Evaluar el impacto ambiental de la reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido como alternativa para el diseño de mezclas asfálticas en Manabí – Ecuador	Reutilización de residuos sólidos de elastómero y pavimento asfáltico envejecido		<p>El reciclado es, en unos casos, una alternativa al fresado y reposición de firmes o a la reconstrucción, y en otros, constituye un aprovechamiento de los materiales fresados, que de otra manera irían a vertederos (Centro de estudios y experimentación de obras públicas, 2011)</p> <p>El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Lacamara (2014) menciona que dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por Kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.</p>	
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	<p>El caucho procedente de los neumáticos usados puede utilizarse como parte del material ligante o capa selladora del asfalto (caucho asfáltico) o como árido (hormigón de asfalto modificado con caucho). Lacamara (2014) menciona que dependiendo del sistema adoptado se pueden emplear entre 1000 y 7000 neumáticos por Kilómetro de carretera de dos carriles, cifras tan elevadas colocan a la reutilización en pavimento asfáltico como una de las grandes soluciones para emplear los neumáticos fuera de uso.</p>	HIPÓTESIS ESPECIFICAS	
¿Qué características presentan las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido para ser reutilizado en las calles de la ciudad de Calceta provincia de Manabí?	Identificar las características que presentan las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido, para su reutilización en las calles de la ciudad de Calceta	Impacto ambiental en Manabí - Ecuador		Las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido tendrán que mejorar sus propiedades para ser aplicada en las calles de la ciudad de calceta	
¿Cuál sería la propuesta técnica del diseño de una mezcla asfáltica modificada de pavimento asfáltico envejecido con la adición de elastómero y agregados pétreos?	Determinar el comportamiento del pavimento asfáltico envejecido en diferentes dosificaciones de elastómeros y agregados pétreos para el diseño de mezclas asfálticas			La adición de elastómero y agregados pétreos al pavimento asfáltico envejecido influirá significativamente en el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas	
¿De qué manera influyen las dosificaciones de pavimento asfáltico envejecido con la adición de elastómero y agregados pétreos, en el costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas en la ciudad de Calceta provincia de Manabí?	Cuantificar el costo de producción que tiene la reutilización de pavimento asfáltico envejecido y elastómero, en relación al costo estimado de las mezclas asfálticas convencionales en la ciudad de Calceta			Las dosificaciones de pavimento asfáltico envejecido con la adición de elastómero y agregados pétreos mejoraran el costo de producción de las mezclas asfálticas modificadas en la ciudad de calceta provincia de Manabí	
¿Cuál sería el impacto ambiental que generan las mezclas asfálticas modificadas con pavimento asfáltico envejecido y elastómero, para el manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de Calceta provincia de Manabí?	Caracterizar el Impacto ambiental de las mezclas asfálticas con pavimento asfáltico envejecido y elastómero, para el adecuado manejo de los residuos sólidos en la Ciudad de Calceta		La reutilización de elastómero y pavimentos asfálticos envejecidos para el diseño de mezclas asfálticas repercutirá positivamente en el ámbito ambiental en la Ciudad de calceta provincia de Manabí		